

EUBIM 2022

Congreso Internacional BIM **11º** Encuentro de Usuarios BIM
BIM INTERNATIONAL CONFERENCE

BUILDING BIM TOGETHER

Valencia 18, 19, 20, 21 de mayo 2022

LIBRO DE ACTAS

Organizadores:



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Entidades Participantes:

GURV



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
D'ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ

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

DEPARTAMENTO DE
CONSTRUCCIONES
ARQUITECTÓNICAS



CAATIE VALENCIA

Colegio Oficial de
Aparejadores, Arquitectos Técnicos
e Ingenieros de Edificación de Valencia

CTAV COLEGIOTERRITORIAL
DE ARQUITECTOS DE VALENCIA



www.EUBIM.com

Congresos UPV

EUBIM2022. International BIM Conference EUBIM 2022. 11º 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
Amparo Ferrer Coll
Begoña Fuentes Giner
David Martínez Gómez
Inmaculada Oliver Faubel
Lorena Soria Zurdo
José Suay Orenge
David Torromé Belda
Vidal Santi-Andreu

© de los textos: los autores

© 2022, de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València.

www.lalibreria.upv.es Ref.: 6274_01_01_01

ISBN: 978-84-1396-044-9

DOI: <https://doi.org/10.4995/EUBIM2022.2022.15784>



EUBIM2022. International BIM Conference EUBIM 2022. 11º 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/EUBIM2022>



PRESENTACIÓN

EUBIM 2022: BUILDING BIM TOGETHER

¡Bienvenidos!, ¡bienvenidos!, ¡BIENVENIDOS! Tres saludos, correspondientes a tres años. Son muchos los abrazos, sonrisas, conversaciones y vida que se han quedado congelados, postergados para mejores momentos. Y ese momento ha llegado con EUBIM 2022: BUILDING BIM TOGETHER.

Tenemos tantas GANAS de compartir que nos "atropellamos al hablar" porque estamos repletos de información que ofrecer e insuficiente tiempo. Esperamos, como siempre, condensar y distribuir el conocimiento de manera eficiente mientras disfrutas del viaje.

Estos dos años, en el Comité Organizador hemos trabajado para realizar eventos online que suplieran el deseo de nuestro amado congreso pero todos sabemos que, a pesar de los esfuerzos, son limosnas. Hemos sacrificado la presencialidad del congreso y las reuniones mensuales del GURV pero volvemos con el impulso que nos caracteriza y una sonrisa de pura felicidad por poder compartir este evento mirándonos a los ojos. Además, este año celebraremos algo que nos fue imposible en 2021: ¡nuestro 10º ANIVERSARIO!

En esos dos años, hemos sufrido un revulsivo internacional y, como pasa en los proyectos, cada interviniente tenía una interpretación, una opinión y una solución (que cada cual entendía como brillante o loca dependiendo del lado del pensamiento con el que comulgara)

El coronavirus, igual que los proyectos, iba adaptándose para su supervivencia. Pero, queremos que nuestros proyectos sobrevivan o VIVAN, en mayúsculas (Esa diferencia entre la mediocridad y la exquisitez)

Cada persona tiene una manera de afrontar las situaciones. Algunos se dejan llevar por los dictámenes oficiales, otros no atienden a reglas, otros son muy restrictivos, otros tienen criterio propio, algunos son prácticos y otros empíricos. La raza humana es así, variopinta y tan buena y mala a partes iguales.

Lo que está claro es que algunos hechos suceden independientemente de nuestra voluntad. La postura y las acciones que tomamos en la realidad que nos rodea, es lo que nos define.

El C.O. os proponemos 3 palabras que nos definen: ANTICIPACIÓN, ADAPTACIÓN y EVOLUCIÓN. Como técnicos y personas influyentes en nuestro sector, año tras año, alimentamos estas capacidades (y muchas otras) para lograr el éxito.

La influencia, que puede ir desde el poder convencer a tu jefe para trabajar en BIM hasta el comunicar en redes con masas. El éxito, que puede ir desde conseguir que los obreros pasen los reportes digitalmente a que te concedan un premio en EUBIM, jeje.

Podríamos hablaros de lo bien que está el sector, su remontada y cómo las infraestructuras son las nuevas reinas, pero ya os lo dirán en muchas exposiciones.

Lo que queremos poner en valor es la capacidad de superación y trabajo que hemos tenido en este proceso. Detrás de los datos de las noticias, hay infinidad de personas que nos hemos esforzado y empeñado en que esto sucediera. Lo bueno llega cuando lo persigues.

Detrás de cada problema, somos quienes buscamos una solución o todas las necesarias. Encontramos imposibles. El sol artificial de China ha funcionado 17 minutos seguidos. Hace 20 años, era ciencia ficción pero gracias al trabajo de muchas personas, se ha convertido en ciencia. Esa realidad es para la mayoría el futuro. ¿Cuántos años lleváis escuchando que BIM es el futuro? Demasiados y es desquiciante pero, por otro lado, mientras haya alguien que piense en BIM y en el hecho de crear conocimiento, perdurará, evolucionará y madurará. Mejora continua, en definitiva, eso que tanto nos llena la boca pero que olvidamos a menudo.



En resumen, estamos a expensas de nuestro entorno, de acontecimientos positivos o negativos con capacidad de cambiar nuestra realidad de un día para otro y, con ello, nuestras prioridades y nuestra escala de valores. Un día te diriges al trabajo y otro estás encerrado o huyes de un conflicto bélico. Y no tienes capacidad de control.

Quizá no podamos hacer cosas muy importantes para mucha gente pero sí que tenemos capacidad de esfuerzo unitario para beneficio colectivo.

En cuanto a nuestra manera de afrontar el futuro y nuestro trabajo, debemos reflexionar sobre el impacto en la sociedad, en el planeta y el tipo de huella que queremos imprimir en ella. Nos debemos un mundo mejor, con toda la amplitud de concepto que ello implica.

En EUBIM seguiremos apostando por la tecnología como herramienta para un mañana próspero y divulgando el conocimiento a través del empirismo y las relaciones humanas.

Si estás aquí, ya formas parte de la comunidad eubimer. ¡Enhorabuena!

Desde el C.O. os recibimos con energías renovadas y los brazos abiertos. Agradecemos a cada uno de los implicados, de uno u otro modo, por hacer este congreso posible. Vosotros sois EUBIM, estáis en vuestra casa.

¡BIENVENIDOS!

El Comité Organizador de EUBIM 2022



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 Alfaro González - Universidad de Castilla-La Mancha
- Alberto Cerdán Castillo - Consultor BIM
- Eloi Coloma Picó - Universitat Politècnica de Catalunya
- 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
- Rafael Sánchez Grandía - Universitat Politècnica de València
- 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
- Amparo Ferrer Coll
- Begoña Fuentes Giner
- David Martínez Gómez
- Inmaculada Oliver Faubel
- Lorena Soria Zurdo
- 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 conciencia 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 GESTIÓN DE INFORMACIÓN EN EDIFICIOS A TRAVÉS DEL PROCESAMIENTO DE LENGUAJE NATURAL

Valderrama-Rodríguez, Jesús; Moya-Sala, Joaquim; Rueda-Delgado, Ramón y Romero-Coy, Manuel.....Pág.14

1.2 MODELADO DE CONDICIONES EXISTENTES LA ETSAM COMO CASO DE ESTUDIO DE TRABAJO BIM REAL EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Raposo-Grau, Javier Fco.a y Maldonado-Plaza, Estherb.....Pág.25

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

2.1 DEL TERRITORIO A LA VIVIENDA: UNA SOLUCIÓN BASADA EN DISEÑO PARAMÉTRICO E INDUSTRIALIZACIÓN

De Cárdenas-Domínguez Adame, José María; Mayoral-González, Eduardo; Pérez-López, Miguel Ángel; Sánchez-Palma, Álvaro y Gil-De Montes, Francisco.....Pág.38

2.2 AUTOMATIZACION DEL MODELADO BIM A PARTIR DE INFORMACION ESTRUCTURADA Y PARAMETRIZADA DE UN EDIFICIO

Bustinza Esparta, Jorge, Bellido Peña, Alvaro.....Pág.50

2.3 FABRICACIÓN BIM DE VIVIENDAS MODULARES AMPLIABLES EN CLT “MINIMAL HAUS” DE METRO7

Lostao-Chueca, Diego; Agustín-Hernández, Luis y Sancho-Mir, MiguelPág.61

2.4 ASENTANDO LAS BASES DEL METAVERSO PARA EL SECTOR ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN (AEC), INTEGRACIÓN DE MODELOS BIM EN REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA

Gómez-Rodríguez, Iván; Barrantes-Hernández, María Camila y Palos-Hernández, RafaelPág.71

3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

3.1 DIGITALIZACIÓN DE TÚNELES URBANOS CON REVIT

Moya Sala, Joaquim; Jardí Margalef, Agustí.....Pág.80

3.2 DEVELOPING A DECISION SUPPORT SYSTEM AND A BUILDING MANAGEMENT SYSTEM FOR BUILDING PORTFOLIO MANAGEMENT

Di Giuda, Giuseppe Martino; Tagliabue, Lavinia Chiara; Pellegrini, Laura; Meschini, Silvia; Seghezzi, Elena; Schievano, Marco y Marenzi, Giorgia Pág.91

3.3 RED DE ABASTECIMIENTO SILVOTA. INTEROPERABILIDAD DE SOFTWARES EN PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL

León-García, José Ignacio; Ureña Bolaños, Rosa, Salcedo-Serra, Javier Pág.104

3.4 EVALUACIÓN DE DAÑOS MEDIANTE MODELO MATEMÁTICO INTEGRADO EN HERRAMIENTA WEB

Otal-Simal, Rafaela y Pérez-González, Pedro-Enrique..... Pág.116



3.5 BIM EN EDIFICIOS DE CASI 1000 AÑOS

Abellán-Alemán, José María; Duque-Chasco, Jesús Ángel; Buendía-Peláez, Juan Ignacio y García-Navas, Manuel Pág.128

3.6 BIM MODEL CONTENT CHECKING: SHORT AND LONG TERM STRATEGIES FOR LARGE BUILDING PORTFOLIO OWNERS

Di Giuda, Giuseppe Martino; Tagliabue, Lavinia Chiara; Locatelli, Mirkoc; Pattini, Giulia; Paleari Francesco; Campi, Stefano y Tucci, Alessandro Pág.140

3.7 DIGITALIZACIÓN Y SOSTENIBILIDAD. PRIMEROS PASOS HACIA LA IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA ADMINISTRACIÓN REGIONAL VALENCIANA.

Matarredona-Desantes, Nuria; Ferreiro Chicote, Olimpia; Grisolia Peressini, Román; Ruiz Izanjar, Rafael; Tormo Jurado, Ester; Vaño Asensio, MªEmpar Pág.151

3.8 DIGITAL TWIN EN LOS SMART VILLAGE: PRIORIZANDO LAS INFRAESTRUCTURAS PARA ASEGURAR UN ENTORNO SOSTENIBLE MEDIANTE COBIE. PRÁDENA DEL RINCÓN, CASO DE ÉXITO

Guillermo-Ramírez, Carlos Gilberto..... Pág.167

FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM



GESTIÓN DE INFORMACIÓN EN EDIFICIOS A TRAVÉS DEL PROCESAMIENTO DE LENGUAJE NATURAL

Valderrama-Rodríguez, Jesús^a ; Moya-Sala, Joaquim^b , Rueda-Delgado, Ramón^c y Romero-Coy, Manuel^d

^aArquitecto por la Universidad de Sevilla y Director General en Apogea, jvalderrama@apogeaconsulting.com

^bDoctor Arquitecto por la Universidad Politècnica de Catalunya y Director de I+D+i en Apogea, qmoya@apogeaconsulting.com ^cDoctor Ingeniero en IA por la Universidad de Granada y Técnico de I+D+i en Apogea, rrueda@apogeaconsulting.com ^dDesarrollador Fullstack en Apogea, mromero@apogeaconsulting.com

Abstract

Could a non-expert user obtain information from a BIM Model simply by asking questions? And what about creating Voice User Interfaces to interact with it? Nowadays not all agents are experts in BIM, especially on site. And one of the great limitations when it comes to accelerating its adoption in the construction phase is facilitating access to information for all members. Using a virtual AI assistant non expert users can perform advanced queries to databases containing BIM information. This method allows for natural communication with databases which does not require technical knowledge.

In Apogea we've developed a tool to join other useful tools for AEC with Natural Language Processing using Codex from OpenAI. Extracting and loading BIM data into a database and, through a comfortable interface, taking advantage of the power of A.I., which translates automatically from natural language to complex SQL queries, is now perfectly possible. This technology opens the door to a wide range of possible future applications inside the metaverse. While we are focusing our development on obtaining information about the model, future applications can go far beyond this and change the way information is managed in BIM projects.

Keywords: BIM, NLP, AI, Construction, Database, Voice, UI, UX, VR, Metaverse

Resumen

¿Podría un usuario no experto obtener información de un modelo BIM simplemente haciendo preguntas? ¿Y crear interfaces de usuario de voz para interactuar con él? Actualmente no todos los agentes son expertos en BIM, especialmente en obra, y una de las grandes limitaciones a la hora de acelerar su adopción en fase de construcción es facilitar el acceso a la información a todos los integrantes. Con un asistente basado en inteligencia artificial, los usuarios no expertos pueden realizar consultas avanzadas a bases de datos BIM. Este método permite una comunicación natural con bases de datos que no requiere conocimientos técnicos.

En Apogea hemos desarrollado una herramienta para unir algunas tecnologías útiles para AEC con el procesamiento del lenguaje natural usando Codex de OpenAI. Ahora es perfectamente posible extraer y cargar datos BIM en una base de datos y, a través de una interfaz cómoda, aprovechar el poder de la IA, que se traduce automáticamente del lenguaje natural a consultas SQL complejas. Esta tecnología abre la puerta a posibles aplicaciones futuras dentro del metaverso. Si bien centramos nuestro desarrollo en obtener información del modelo, las aplicaciones futuras pueden ir más allá y cambiar la gestión de información en proyectos BIM.

Palabras clave: BIM, PLN, IA, Construcción, Database, Voz, Interfaz, UX, RV, Metaverso.

Introducción

Los modelos BIM permiten la asignación de grandes cantidades de datos a cada elemento constructivo y pueden ser de utilidad en las distintas fases del proyecto, por ejemplo en la fase de construcción para separar los elementos según la etapa en que van a ser construidos, o en la fase de mantenimiento para conocer la ubicación o características de instalaciones que no sean visibles.

Estos modelos producen una gran cantidad de información (Xu, 2014), por lo que es necesario establecer normas y procedimientos que aseguren su correcta definición y uso (Nawari, 2012). Para ello, tanto estándares (como por ejemplo GUBIMCLASS) como procedimientos (BIM Execution Plan), han sido desarrollados para ayudar a coordinar el proyecto desde la perspectiva de una base de datos compartida, y no un modelo geométrico.

Sin embargo esto da como resultado bases de datos extensas, y en ocasiones complejas, sobre un modelo BIM que no deja de ser un modelo dinámico y que han de ser administradas para poder llevar a cabo tanto la construcción como el resto de actividades de la vida útil del edificio. La correcta administración de ese modelo BIM implica en muchos casos la necesidad de hacer consultas complejas sobre la información contenida en el proyecto (Solihin, 2017). Éstas, además, han de visualizarse en un modelo tridimensional del edificio para dar una mayor comprensión e información contextual. Esto significa que por compleja que sea la base de datos, se debe mantener una vinculación con la geometría del proyecto y a su vez permitir la consulta de elementos en base a propiedades comunes que nada tienen que ver con la geometría. Aquí entran en juego las bases de datos relacionales y otros recursos tecnológicos que permitan representar la información en base a múltiples criterios, sin perder la correspondencia con el modelo geométrico.

Por otro lado, a pesar de contar con la tecnología apropiada para representar dicha información, no es una tarea trivial administrar el conjunto de datos; sobre todo a la hora de intentar extraer información del modelo. Para obtener información específica de una base de datos es necesario contar con un conocimiento avanzado sobre lenguajes de programación de consultas, como puede ser el lenguaje SQL. Aunque hoy en día las herramientas BIM tienen funcionalidades para hacer consultas, filtrar información o crear tablas, los técnicos (como por ejemplo en la obra) no conocen necesariamente ni la metodología ni las herramientas empleadas en la construcción del modelo, lo que implica que un nuevo profesional (técnico BIM o consultor de BD) colabore para extraer conocimiento útil del modelo. Con el objetivo de facilitar el acceso a la base de datos a usuarios no expertos este trabajo plantea desarrollar un asistente inteligente que permita interactuar con un gemelo digital y hacer consultas a la base de datos usando el lenguaje natural. En concreto, incorporamos técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) para construir un sistema que sea capaz de convertir las consultas realizadas por un usuario no experto a códigos de consulta avanzados, de modo que actúe como un consultor SQL. Adicionalmente, integramos distintas APIs del proveedor *Autodesk Forge* para almacenar y relacionar los resultados de las consultas realizadas con un gemelo digital (AUTODESK FORGE), de modo que el propio modelo de PLN, no sólo ha de ser capaz de interactuar con una base de datos, sino que también debe tener la capacidad de entender y formar funciones que el visor 3D va a ejecutar.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: la sección 2 describe la metodología seguida en este trabajo: el modelo BIM y PLN. La sección 3 introduce los experimentos llevados a cabo y los resultados obtenidos. Por último, la sección 4 concluye con una discusión y trabajos futuros.

2. Metodología

2.1. Modelo BIM

Un modelo BIM (*Building Information Modelling*) es una representación geométrica del edificio que está vinculada a una base de datos. Por ello un modelo BIM permite organizar la información de acuerdo a los elementos volumétricos del modelo, de forma que ese mismo modelo sirva a la vez de representación y base de datos (Eastman, 2011). Fundamentalmente esto se traduce en que un modelo BIM no se organiza simplemente bajo criterios de geometría como planos, rectas o puntos, sino que sigue una jerarquía de elementos constructivos, tales como muros, ventanas o forjados.

Es por ello que un modelo BIM no sólo supone un reto en cuanto a la complejidad de su representación, sino también en cuanto al tratamiento de sus datos, que deben ser coherentes y seguir determinadas nomenclaturas, así como estándares y consensos para que esa información pueda ser utilizada en las distintas etapas del ciclo de vida del edificio.

Se ha diseñado software especializado en producir este tipo de modelos, como sería el caso de *Autodesk REVIT*, que permiten construir una estructura organizada de geometría e información. Sin embargo hay una necesidad cada vez mayor de poder compartir estos modelos con clientes, operarios y otros actores que participan en el ciclo de vida del edificio, quienes necesitan acceder a la información que dichos modelos ofrecen (Wong, 2014). Por ello se están desarrollando sistemas que permiten compartir la información al subirla a la nube, y usar visores en la WEB para visualizarla. Estos sistemas, como *FORGE*, se están posicionando como una pieza fundamental en el momento de compartir información y coordinar los distintos agentes.

Es por ello que hemos considerado fundamental poder visualizar la información sobre dichas plataformas, de tal modo que ésta pueda llegar a todos los actores con la mayor facilidad. Esto supone una dificultad añadida a todo el proceso, en el que se debe exportar el modelo y los metadatos a formatos que puedan ser utilizados por dichas plataformas, y al mismo tiempo, no perder la vinculación entre ellos.

Pero la ventaja de esta aproximación es que la propuesta de este trabajo podrá beneficiar, no sólo al experto en BIM, sino también a los propios operarios, que ahora tendrán la capacidad de interactuar y hacer consultas al modelo usando el lenguaje natural.

2.2. Consultas en lenguaje natural y OpenAI

Construir un asistente que permita traducir consultas realizadas en lenguaje natural a un lenguaje de programación específico no es un problema nuevo y en la literatura podemos encontrar investigaciones relacionadas para tratar de dar solución a este problema, como puede ser el uso de ontologías (Atzeni, 2018) o Procesamiento del Lenguaje Natural (Lieberman, 2006). Mientras que la primera de ellas no resulta ser de utilidad para nuestro caso particular, ya que no existe un estándar en cuanto a la codificación de los datos procedentes de un modelo BIM, y dependerá de la nomenclatura que use el experto en cuestión, el uso de técnicas de Procesamiento de Lenguaje Natural (PLN) sí resultan un enfoque más adecuado para lograr un sistema que realmente entienda las necesidades del experto, y que se adapte al lenguaje técnico y específico que se utiliza dentro del sector de la construcción, siendo además robusto, para tratar adecuadamente las ambigüedades del propio lenguaje. El PLN (Chowdhary, 2020) es una rama de las ciencias de la computación y la Inteligencia Artificial (IA) que estudia las interacciones entre el lenguaje humano y la máquina. En concreto, se ocupa de investigar mecanismos eficaces que faciliten la comunicación y comprensión entre personas y máquinas por medio del lenguaje natural. Ésta ha sido un área de mayor interés desde el año 1980, pero es a partir de 2014 cuando se registran un mayor número de avances en esta materia (ver imagen 1). Esto puede deberse, en parte, a los grandes avances realizados en materia de hardware con el desarrollo de GPUs más potentes, junto con el desarrollo de redes neuronales más capaces, convirtiéndose el PLN como uno de los paradigmas de la Inteligencia Artificial de mayor interés, a fecha de publicación de este trabajo (Ming, 2018).

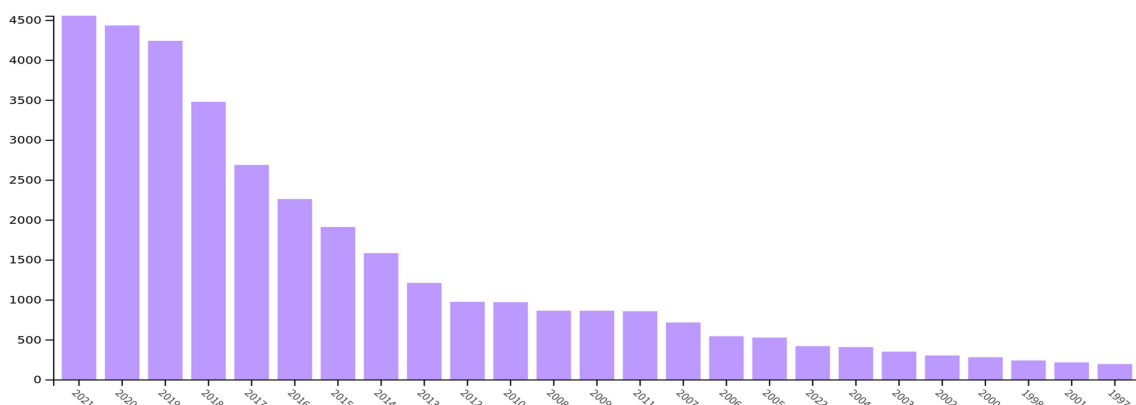


Fig. 1. Evolución a lo largo de la historia del número de publicaciones realizadas en materia de PLN, El número de publicaciones ha sido ordenado de mayor a menor. En el eje de abscisas se muestra el año de publicación y en el eje de ordenadas el número de publicaciones realizadas. Fuente: Web of Science (2022)

Es por ello que en literatura podemos encontrar diversas investigaciones donde el PLN es utilizado para resolver problemas de distinta índole, como el reconocimiento de voz (Kamath, 2019), el análisis de sentimientos (Nasukawa, 2003) o la generación de textos (Iqbal, 2020). En este último campo podemos encontrar cómo diferentes entidades centran sus esfuerzos en desarrollar un sistema que permita a usuarios no expertos desarrollar códigos de programación haciendo uso del lenguaje natural. Por mostrar algunos ejemplos, la empresa *OpenAI* ha desarrollado un sistema de PLN capaz de traducir texto en lenguaje natural a códigos de programación. Este sistema es conocido como Codex (Chen, 2021) y consiste en un modelo *transformer* (Vaswani, 2017) que ha sido entrenado exclusivamente con una cantidad masiva de códigos de programación, implementados en una docena de lenguajes. De este modo, *OpenAI* ha conseguido desarrollar una herramienta que permite a un usuario no experto en programación implementar algoritmos haciendo uso del lenguaje natural. Por otro lado, la entidad Hugging Face ha desarrollado un sistema similar a Codex (aunque de menor alcance) para traducir instrucciones en lenguaje natural a código escrito en el lenguaje de programación Python (Hugging Face, 2022). Por último, DeepMind ha desarrollado AlphaCode (Li, 2022) que a diferencia de Codex, su objetivo es el de resolver problemas descritos en lenguaje natural. Es decir, mientras que Codex es utilizado para traducir instrucciones concretas realizadas en lenguaje natural a sentencias de programación, AlphaCode toma como entrada la descripción de un problema y trata de implementar un algoritmo específico que lo resuelva.

No obstante, de entre los desarrollos a la vanguardia, cabe destacar que *OpenAI* y su modelo Codex resultan ser uno de los más consolidados ya que permite tanto su integración como asistente de programación con la herramienta github copilot (GITHUB COPILOT) o su uso directo desde su API. Es por ello que éste es el sistema utilizado en este trabajo.

Cabe destacar que el uso de Codex no es trivial y es necesario comprender en profundidad la herramienta, realizar unos ajustes previos de sus parámetros y definir el problema que deseamos resolver utilizando una sintaxis específica. A este proceso se le conoce como definir el **contexto** del problema y es uno de los factores clave que determinará el buen rendimiento del sistema. Tanto es así, que la propia herramienta de *OpenAI* limita este contexto a un máximo de 4096 tokens, entendiéndose un token como una palabra, lo que obliga a diseñar una arquitectura *ad-hoc* a nuestro problema.

2.2.1 Arquitectura del modelo

En nuestro problema, debemos construir un sistema basado en PLN que permita (i) generar sentencias SQL a partir de consultas realizadas en lenguaje natural para extraer información del modelo BIM, hospedado en una base de datos relacional y (ii) generar código javascript para interactuar con la API de Forge y representar sobre el modelo BIM los datos extraídos. Debido a la limitación en términos de tokens para entrenar un modelo usando Codex, hemos creado dos sistemas principales: uno para resolver las tareas relacionadas con consultas SQL y otro para interactuar con la API de Forge.

Para el primero de ellos, hemos de definir un contexto en el que se especifique que trabajamos con una base de datos relacional, cuáles son las tablas que la componen, el conjunto de atributos que integra e indicar que nuestro objetivo es el de hacer consultas en el lenguaje de programación SQL. Esta información debería ser suficiente para entrenar el modelo, sin embargo, debido a la complejidad que supone almacenar un modelo BIM en una base de datos relacional, hace que las consultas sean más complejas y que realizarlas de un modo convencional no sea suficiente.

Como comentamos en la sección 3, la base de datos relacional utilizada almacena un campo no relacional en el que se describe cada uno de los elementos del modelo BIM. A pesar de que el uso de campos no relacionales nos brinda una mayor flexibilidad a la hora de representar un modelo BIM, la realidad es que también supone una serie de inconvenientes; como que elementos similares del modelo pueden estar compuestos por diferentes atributos e incluso, aunque éstos hagan referencia a la misma información, pueden utilizar una nomenclatura diferente. Un ejemplo de esta casuística puede observarse en la imagen 2, donde se muestra cómo un elemento del modelo BIM que hace referencia al material de un elemento del modelo, en ocasiones la propiedad recibe el nombre “material estructural”, mientras que en otras se llama

simplemente “material”. Para resolver este problema, hemos entrenado un modelo adicional para eliminar las posibles ambigüedades que persisten en las consultas.

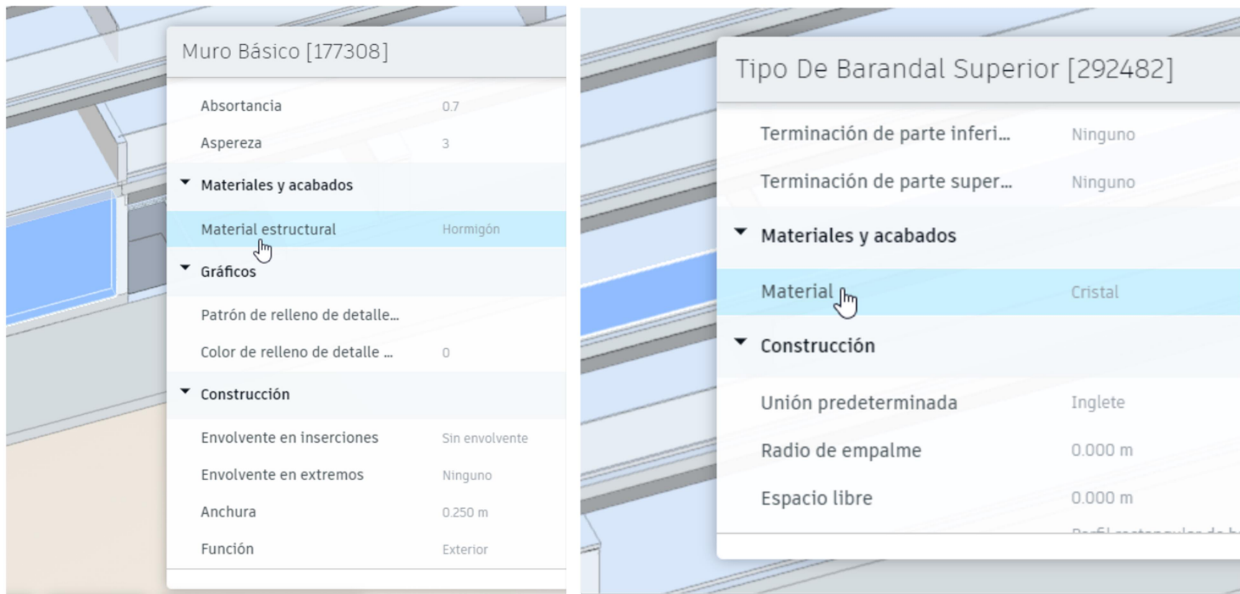


Fig. 2. Ejemplo de inconsistencias en la nomenclatura de los elementos del modelo BIM. A la izquierda se muestra cómo la propiedad del material recibe el nombre de “Material estructural” mientras que a la derecha, la propiedad es referenciada con el nombre “Material”.

Por último, entrenamos un modelo con Codex al que le mostramos cuáles son las llamadas a la API de Forge que deseamos utilizar en nuestro sistema y cómo se utilizan. Debido a la limitación de tokens, hemos entrenado el modelo para poder dar respuesta a las consultas relacionadas con seleccionar, ocultar y colorear elementos concretos del modelo BIM. Para facilitar las llamadas a la API, el sistema ha sido entrenado para dar como resultado una serie de códigos que indiquen qué función de la API ha de utilizarse. La codificación utilizada es la siguiente:

- **Seleccionar:** identificador, 0. Donde identificador hace referencia al resultado obtenido tras realizar la consulta a la BD y 0 indica que debe utilizarse la función “*select()*” de Forge.
- **Ocultar:** identificador, 1 (indica que debe utilizarse la función “*hide()*”).
- **Colorear:** identificador, color, 2. Identificador hace referencia al resultado obtenido de la BD, color indica qué color debe tomar el objeto en cuestión y 2 es el código que indica que ha de utilizarse la función “*setThemingColor()*” de Forge.

Para facilitar la comprensión al lector, mostramos en la imagen 3 un esquema de la arquitectura diseñada: el **primer sistema** descrito trata en primer lugar de **eliminar ambigüedades del lenguaje**. El **segundo sistema** actúa como un **clasificador** y decide si la consulta debe ser realizada a la base de datos (en consecuencia se utiliza el sistema entrenado para hacer consultas SQL) o si bien el usuario desea interactuar con el visor del modelo BIM implementado en Forge (utilizando por tanto el sistema de llamadas a la API de Forge).

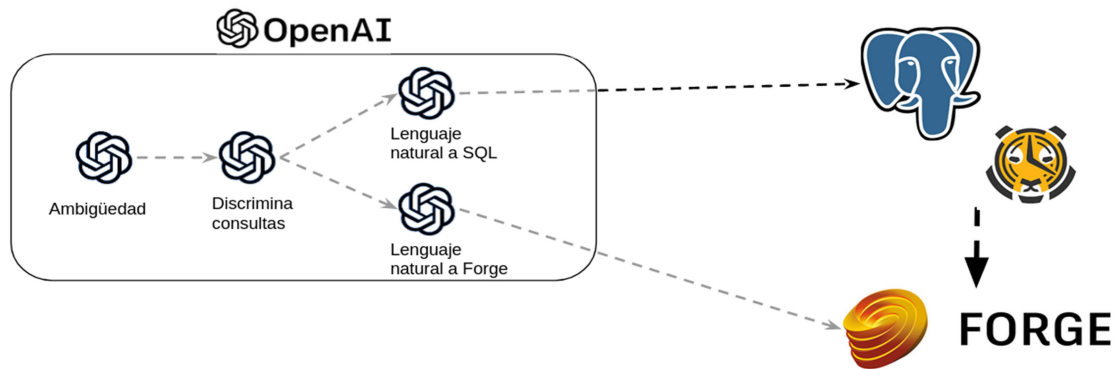


Fig. 3 Arquitectura del sistema de consultas basado en PLN. A la izquierda se muestra la relación entre los sistemas de PLN de OpenAI y cómo estos interactúan con la base de datos PostgreSQL y el visor de la API de Forge (a la derecha de la imagen).

A continuación se muestran dos ejemplos del funcionamiento del sistema, el primero de ellos sólo realiza una consulta a la base de datos y el segundo realiza de forma adicional una llamada a la API de Forge:

1. El usuario hace la consulta: *¿Qué muros tienen un volumen mayor a 20 m³?* El sistema elimina en primer lugar la ambigüedad de la consulta, dando lugar al siguiente resultado: *Selecciona los muros cuya propiedad volumen es mayor que 20.* A continuación, el segundo sistema infiere que la consulta ha de ser realizada a la base de datos y traslada dicha petición al sistema encargado de traducir sentencias en lenguaje natural a código SQL, obteniendo como resultado:

```
select elem->>'objectid' from bimModel, jsonb_array_elements(properties->'properties') elem, jsonb_path_query(elem, '$.**.Volume') w where elem->>'category'='Walls' and cast(regexp_replace(regexp_replace(w::text, '\\s((\\D+)|(\\D+\\d))\\s', ''), '\\s', '')) as float > '20'
```

2. El usuario realiza la consulta: *Colorea en rojo el salón.* El primer sistema elimina la ambigüedad y traduce la consulta a: *Selecciona el identificador de la habitación cuya propiedad nombre es igual a salón. Colorea el resultado en rojo.* A continuación, el sistema envía la primera consulta a la base de datos y la segunda consulta al sistema relativo a la API. Como resultado obtenemos el identificador de la habitación, el color con la que debe ser coloreada y el código 2, que indica que debemos utilizar la función `setThemingColor()` de la API.

En la siguiente sección se analizan diferentes casos de uso en los que, partiendo de una serie de consultas realizadas en lenguaje natural, el sistema es capaz de obtener los datos oportunos de la BD y representarlos gráficamente a través de la librería de Forge.

3. Experimentación

En esta sección describimos los experimentos realizados para validar la viabilidad de nuestro trabajo. Nuestro objetivo consiste en, dado un modelo BIM representado con la API de Forge y almacenado en una base de datos relacional, realizar consultas en lenguaje natural sobre el modelo BIM y mostrar al usuario los resultados obtenidos. Si las consultas realizadas pretenden visualizar los resultados sobre el propio modelo BIM, el sistema ha de ser capaz de generar la llamada oportuna a la API de Forge y visualizar la solución sobre el propio modelo.

El modelo BIM se ha obtenido de un fichero `.rvt` de ejemplo, ofrecido en la web oficial de *Autodesk Forge APIs* (REVIT SAMPLE PROJECT). Éste se ha traducido al formato `SVF` para poderse visualizar a través de Forge, mediante la API Data Management de Forge. El formato `SVF` guarda dos valores para identificar cada una de las geometrías (uno para el visor y otro para el propio elemento del modelo), que permiten poner en relación la geometría con los objetos que van vinculados a esta.

El conjunto de datos asociados a cada uno de estos elementos recibe el nombre de metadatos y deben ser almacenados en una base de datos. Para ello utilizamos la API de Forge *Model derivative*, con la que se pueden extraer los metadatos de cada uno de los elementos del modelo, y así, poder operar en relación a sus identificadores. Adicionalmente, resulta de interés poder emular la actividad de toma de datos y análisis propia de los gemelos digitales. Para ello, hemos generado un conjunto de datos sintéticos relacionados con la temperatura, humedad y CO₂ de cada estancia del edificio representado en el modelo, haciendo uso de la herramienta de generación *MOCKAROO*. En concreto, hemos generado 181000 registros que van desde el 1 de septiembre de 2020 hasta el 31 de agosto de 2021.

Bajo el pretexto de ofrecer herramientas de consulta que oscilan en torno a segmentos temporales, y ante la ingente cantidad de datos derivados, dada la naturaleza vocacional propia de *Gemelo Digital* en la herramienta, vimos necesario instaurar una arquitectura de datos relacional-mixta basada en aunar *PostgreSQL*, uno de los estándares más extendidos en la Industria a estos efectos, por cuestiones de rendimiento y comodidad de desarrollo, junto con *TIMESCALEDB*, una capa de servicio adicional de funcionalidades que permiten optimizar los usos de consultas de tipo *serie temporal*. Describimos la arquitectura como 'de datos relacional-mixta', puesto que otro desafío consiste en asentar, en el contexto de *PostgreSQL*, un sistema de interpretación de datos capaz de admitir cualesquiera sean las propiedades provenientes en los modelos, las cuales no son anticipables, difiriendo enormemente unas de otras en cada caso. Para esto podemos recurrir al tipo de datos *JSONB* (JSON Binary), que nos permite almacenar conjuntos de datos no serializados, sin tener además que leer por completo cada registro para obtener la información trascendental, ya que podemos iterar las distintas propiedades de manera procedural y acceder concretamente los puntos interesantes de manera mucho más eficaz, debido a la potencia que nos ofrecen las consultas específicas de este tipo de datos.

Con el objetivo de validar nuestra propuesta, hemos seleccionado un conjunto de consultas sobre el modelo que previamente hemos realizado sobre la base de datos para corroborar la calidad de los resultados obtenidos. En concreto, hemos diseñado las siguientes consultas:

1. What are the walls with volume greater than 20?
2. Sum the volume of all walls.
3. Select the rooms on the first floor.
4. Isolate the walls with volume greater than 10.
5. Select the rooms on the first floor. On that floor, what was the average temperature in autumn of 2020.
6. What was the temperature in 2020 monitored each day on the second floor?
7. What was the coldest floor in winter 2020.
8. Get all data sensors on the third floor.

Debido a la limitación de espacio de este trabajo, en esta sección sólo se muestran los resultados obtenidos para un conjunto de las consultas descritas. No obstante, animamos al lector a visitar el enlace de la referencia (Apogea, 2021) para ver la demo completa del trabajo realizado.

Nótese que no todas las consultas utilizadas en la experimentación han de interactuar con el modelo a través de la API de Forge, sino que algunas de ellas sólo pretenden extraer información de la base de datos haciendo uso del lenguaje natural. Un ejemplo de esto ocurre con la primera consulta, donde sólo queremos consultar el identificador de aquellos muros que tengan un volumen superior a 20 m³. El resultado de dicha consulta se muestra en la imagen 4. Por otro lado, la imagen 5 muestra el resultado de la tercera consulta aquí descrita, donde el sistema debe hacer uso de la API de Forge para interactuar con el modelo, en lugar de limitarse exclusivamente a mostrar por pantalla los resultados obtenidos de la base de datos en formato de texto. Por último, en la imagen 6 se muestra un ejemplo de consulta en la que los resultados deben ser mostrados tanto en el modelo BIM como en formato de texto para que el usuario conozca qué valores han sido extraídos de la base de datos. En dicha imagen, se puede comprobar cómo en la esquina inferior izquierda se muestran los valores de temperatura, humedad y CO₂ para una fecha determinada, mientras

que en el modelo BIM podemos observar cómo la tercera planta del edificio toma el color rojo, indicando según su tonalidad el nivel de temperatura registrado en la fecha seleccionada.

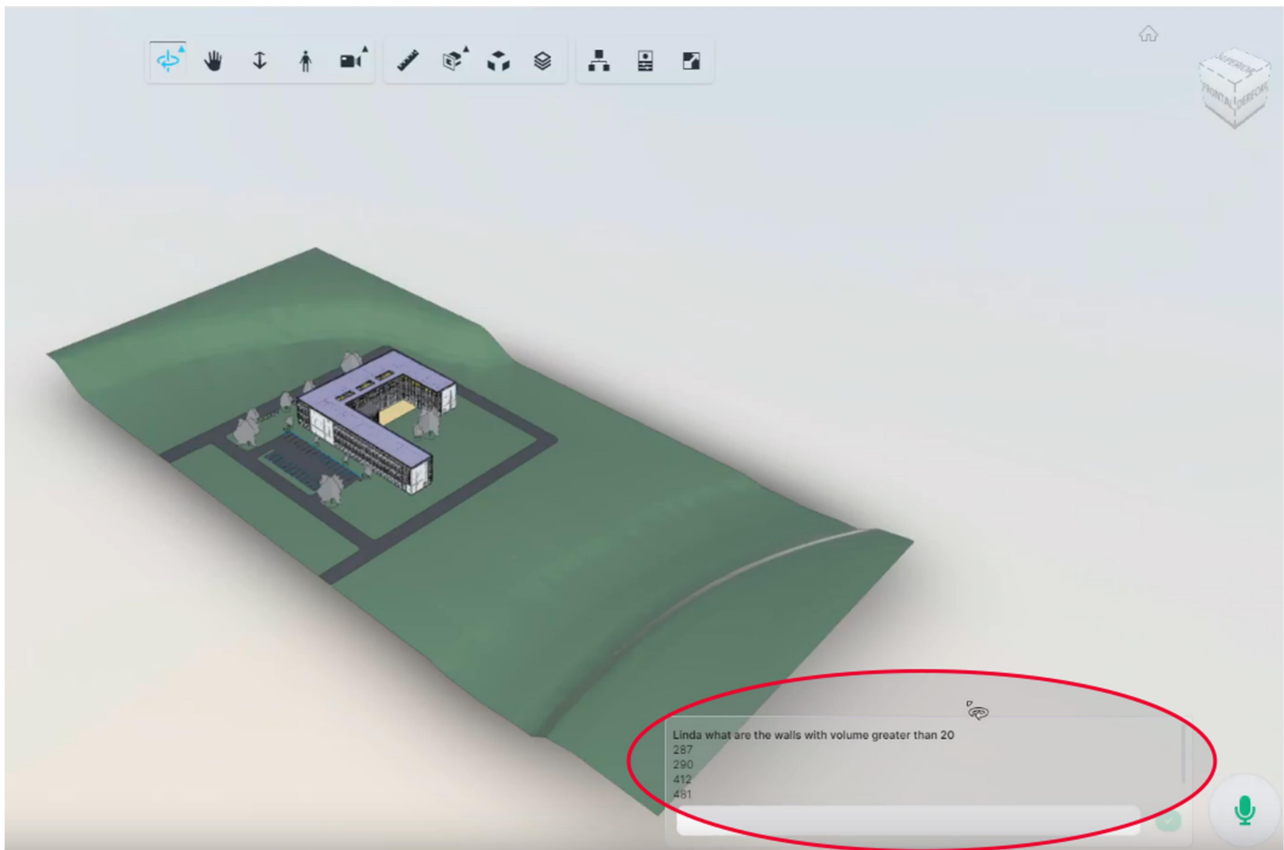


Fig. 4. Resultado obtenido tras realizar al modelo la consulta "What are the walls with volume greater than 20?"

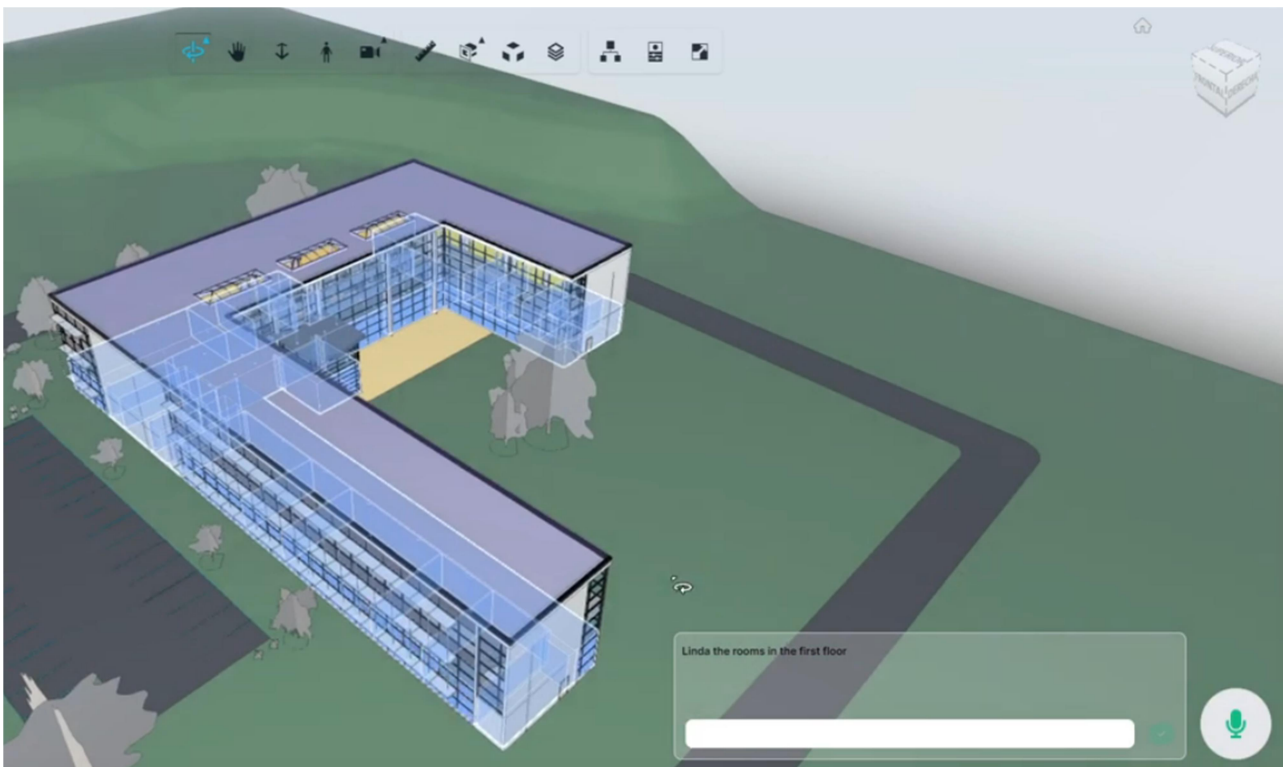


Fig. 5. Resultado obtenido tras realizar al modelo la consulta "Select the rooms on the first floor."

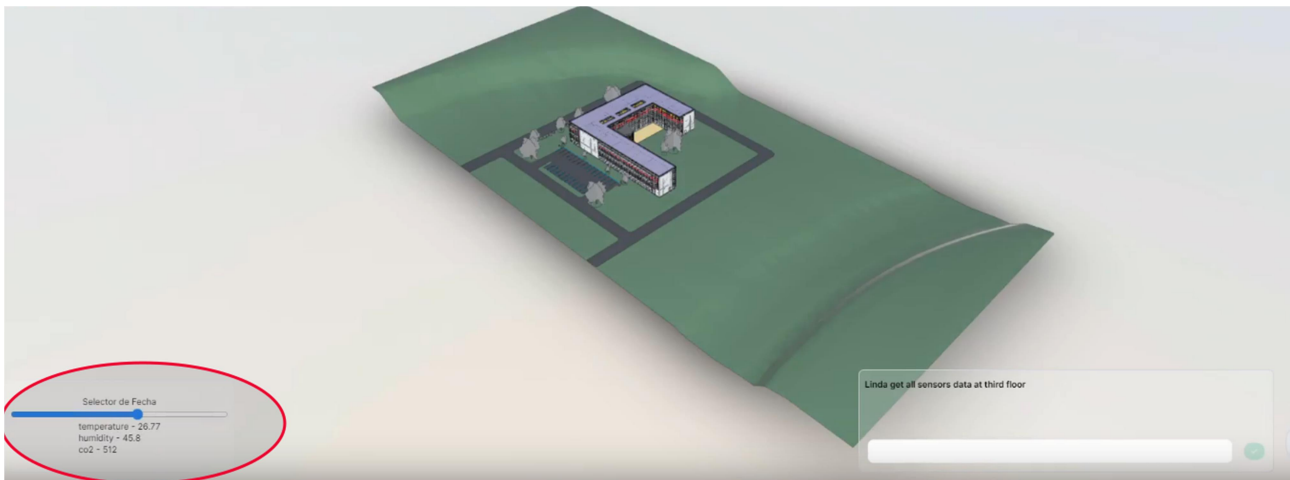


Fig. 6. Resultado obtenido tras realizar al modelo la consulta "Get all data sensors on the third floor"

Considerando los resultados mostrados en esta sección, junto con la demo completa en (Apogea, 2021), podemos afirmar que nuestra propuesta permite a usuarios no expertos en bases de datos y tecnología BIM extraer información por medio del lenguaje natural. Bajo nuestro punto de vista, dotar a los profesionales de la construcción con esta herramienta implica los siguientes beneficios:

- Facilitar el uso de la tecnología BIM. Uno de los problemas que conlleva la adopción de la metodología BIM es que requiere una mayor complejidad dentro del proyecto por unos beneficios que, en caso de producirse, son el resultado de seguir una metodología que debe ser precisa y rigurosa. En este escenario, uno de los mayores problemas es no aprovechar la información generada de forma que no resulte en ninguna ventaja competitiva frente a los métodos tradicionales. Por lo tanto, facilitar el acceso a la información del proyecto y simplificar su uso por parte de terceros significa hacer que la tecnología BIM sea mucho más atractiva y fácil de implementar.
- Para facilitar las auditorías de la base de datos. Una mayor facilidad para acceder, listar o consultar información en una base de datos mediante el uso del lenguaje natural puede acelerar y mejorar la detección de errores e inconsistencias dentro del proyecto.
- Facilitar el acceso a la información a los trabajadores de la construcción. Muchos procesos del sitio se ralentizan actualmente por la necesidad de que un técnico proporcione la información necesaria y la coordine. Permitir que usuarios no expertos accedan a información técnica precisa mediante el uso del lenguaje natural hace que la información fluya de forma mucho más fácil y rápida, agilizando todos aquellos procesos que requieren información técnica y haciendo menos necesaria la presencia de un experto para obtenerla.
- Mejoras en la visualización y transmisión de datos. La visualización de datos es un aspecto de gran relevancia, ya que proporciona la clave para que los operadores no expertos comprendan el propósito y la necesidad de sus trabajos. La visualización de la información se puede simplificar y acelerar significativamente mediante el uso del lenguaje natural, con solo realizar solicitudes y especificar lo que desea saber y cómo desea visualizarlo, el sistema podrá mostrarlo.
- Abrir la puerta a futuros desarrollos de Inteligencia Artificial en el sector de la construcción.

4. Conclusiones y trabajos futuros

En este trabajo hemos estudiado cómo el uso de técnicas de Inteligencia Artificial, como el Procesamiento de Lenguaje Natural, pueden ser combinadas con tecnologías para la representación de edificios como los modelos BIM, para construir una herramienta que permita a usuarios no expertos realizar consultas al modelo haciendo uso del lenguaje natural.

Nuestra experimentación muestra cómo el uso de modelos avanzados de PLN como Codex pueden ser entrenados para construir un sistema capaz de realizar consultas a bases de datos complejas, imitando el comportamiento de un consultor de bases de datos. Adicionalmente, el modelo es capaz de entender las consultas realizadas por el usuario hasta el punto de poder relacionar la información extraída de una base de datos y representarla sobre un modelo BIM haciendo uso de la API de Forge. De este modo, nuestra propuesta es capaz de convertir un conjunto de datos almacenados “en crudo” en una base de datos, en conocimiento útil.

Como trabajos futuros, profundizaremos en la resolución de ambigüedades del modelo planteando una estandarización de la información. Por otro lado, debido a la limitación de tokens de la herramienta Codex para entrenar modelos de PLN, abordaremos la posibilidad de crear un modelo específico entrenado en el sector de la construcción/BIM, de modo que podremos contar con un modelo cuyo contexto sea más específico a nuestra problemática. Por último, para enriquecer la experiencia inmersiva de nuestra propuesta y acercarnos al mundo virtual del Metaverso, extenderemos la herramienta para que pueda ser utilizada por completo a través de interfaces de usuario por voz.

Referencias

- Apogea. “Forge Hackathon 2021 Apogea Finalist - Honorable Mention”. Youtube <https://www.youtube.com/watch?v=UYX0amCI0k0&t=2s&ab_channel=Apogea>. [Consulta: 1 de Marzo de 2022]
- Atzeni, M. and Atzori, M. (2018). Translating Natural Language to Code: An Unsupervised Ontology-Based Approach. En: *IEEE First International Conference on Artificial Intelligence and Knowledge Engineering (Los Alamitos, CA) USA: IEEE Computer Society*. 1-8.
- AUTODESK FORGE. <<https://forge.autodesk.com/en/docs/>>
- Chen, M., Tworek, J., Jun, H., Yuan, Q., Pinto, H. P. D. O., Kaplan, J. and Zaremba, W.. (2021). “Evaluating large language models trained on code” en arXiv.
- Chowdhary, K. R.. (2020). *Natural Language Processing*. New Delhi: Springer India.
- Eastman, C.M., Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R. and Liston, K., 2011. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons.
- “GitHub Copilot · Your AI pair programmer.” <<https://copilot.github.com/>> [Consulta: 25 de Febrero de 2022]
- Hugging Face. <<https://huggingface.co/SIC98/GPT2-python-code-generator>> [Consulta: 24 de Febrero de 2022]
- Iqbal, T. and Qureshi, S. (2020). The survey: Text generation models in deep learning. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*.
- Kamath, U., Liu, J. and Whitaker, J. (2019). *Deep learning for NLP and speech recognition* (Vol. 84). Cham, Switzerland: Springer.
- Li, Y., Choi, D., Chung, J., Kushman, N., Schrittwieser, J., Leblond, R., Eccles, T., Keeling, J., Gimeno, F., Lago, A. D., Hubert, T., Choy, P., d’Autume, C. M., Babuschkin, I., Chen, X., Huang, P., Welbl, J., Goyal, S., Cherepanov, A., Molloy, Mankowitz, D. J., Robson, E. S., Kohli, P., deFreitas, N., Kavukcuoglu, K., and Vinyals, O. (2022). Competition-Level Code Generation with AlphaCode. En DeepMind.
- Lieberman, H. and Liu., H. (2006). Feasibility studies for programming in natural language. En: *End user development*. Dordrecht: Springer. 459-473.
- Mankowitz, E. S. Robson, P. Kohli, N. Freitas, K. Kavukcuoglu and O. Vinyals (2022). “Competition-Level Code Generation with AlphaCode” en *DeepMind*.
- Ming Z., Nan D., Furu W., Shujie L., and Dongdong Z. (2018) .”The Next 10 Years Look Golden for Natural Language Processing Research” en Microsoft, 13 de Diciembre. <<https://www.microsoft.com/en-us/research/lab/microsoft-research-asia/articles/next-10-years-natural-language-processing/>> [Consulta: 24 de Febrero de 2022]
- MOCKAROO. <<https://mockaroo.com/>>
- Nasukawa, T. and Yi, J. (2003). Sentiment analysis: Capturing favorability using natural language processing. En *Proceedings of the 2nd international conference on Knowledge capture* New York, USA: Association for Computing Machinery.70-77.
- Nawari, N.O., 2012. BIM standard in off-site construction. *Journal of Architectural Engineering*, 18(2), pp. 107-113.

REVIT SAMPLE PROJECT. <<https://knowledge.autodesk.com/support/revit/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2020/ENU/Revit-GetStarted/files/GUID-61EF2F22-3A1F-4317-B925-1E85F138BE88-htm.htm>>

Solihin, W., Eastman, C., Lee, Y.C. and Yang, D.H., 2017. A simplified relational database schema for transformation of BIM data into a query-efficient and spatially enabled database. *Automation in Construction*, 84, pp.367-383.

TIMESCALEDB. <<https://www.timescale.com/>>

Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., UkaszKaiser, Ł. and Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. En *Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'17)*. (Red Hook), NY, USA, Curran Associates Inc. 6000–6010.

Wong, J., Wang, X., Li, H. and Chan, G., 2014. A review of cloud-based BIM technology in the construction sector. *Journal of information technology in construction*, 19, pp.281-291.

Xu, X., Ma, L. and Ding, L., 2014. A framework for BIM-enabled life-cycle information management of construction project. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(8), pp.126.



MODELADO DE CONDICIONES EXISTENTES LA ETSAM COMO CASO DE ESTUDIO DE TRABAJO BIM REAL EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Raposo-Grau, Javier Fco.^a y Maldonado-Plaza, Esther^b

^aDirector del Máster en Metodología y Gestión BIM de Proyectos, Construcción y Activos Inmobiliarios y Director del Departamento de Ideación Gráfica Arquitectónica de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid, javierfrancisco.raposo@upm.es y ^bCoordinadora del Máster en Metodología y Gestión BIM de Proyectos, Construcción y Activos Inmobiliarios de la Universidad Politécnica de Madrid y Arquitecta-Consultora BIM en ArquibIM, esther.maldonado@arquibim.es.

Abstract

This paper depicts the work carried out with the students of the Master in BIM Projects, Construction & Facility Management during school year 2019/20. The goal is to do a real job. The client, Universidad Politécnica de Madrid, ordered a BIM model of the ETSAM main building for later use as a base model for Facility Management operations. The teachers-mentors team established a breakdown of the project into three areas to be developed by three working teams in a coordinated effort. Starting from the definition of the EIR and the BEP, the job entails a 3D laser survey with a laser-scanner, choosing the software and CDE, work planning, assignment and management of tasks, roles and responsibilities, defining the modeling criteria, nomenclatures, files size and organization, 3D coordination, quantifications exporting, communication, among other tasks. The final outcome allows a visualization of the room data, including elements inventories, using a simple 3D navigation system, or querying the model data by means of PowerBI.

Keywords: BIM, university, training, management, teamwork, coordination, collaboration integration, data.

Resumen

La presente comunicación expone la experiencia llevada a cabo con los alumnos del Máster en Metodología y Gestión BIM de Proyectos, Construcción y Activos Inmobiliarios de la Universidad Politécnica de Madrid durante el curso 2019/20. El objetivo es desarrollar un trabajo real. El cliente, la UPM, encarga el modelado BIM del edificio principal de la ETSAM, para utilizarlo posteriormente como modelo base para operaciones de Facility Management. El equipo de profesores-tutores establece una división del proyecto en tres zonas que deberán ser desarrolladas por tres equipos de trabajo coordinados. Partiendo de la definición de los EIR y el BEP, el trabajo abarca el levantamiento 3D con escáner-laser, la elección del software y CDE, la planificación del trabajo, la asignación y gestión de tareas, roles y responsabilidades, la definición de criterios de modelado, nomenclaturas, organización y tamaño de archivos, la coordinación 3D, la exportación de mediciones, la comunicación, etc., llegando, finalmente, a la visualización de los datos de habitaciones, incluyendo inventarios de elementos, mediante un sencillo sistema de navegación 3D por el modelo, o la consulta de todos los datos del modelo con PowerBI.

Palabras clave: BIM, universidad, formación, gestión, equipo, coordinación, colaboración, integración, datos.

Introducción

La formación en BIM ha experimentado en los últimos años un crecimiento exponencial. Hace tan sólo diez años la oferta formativa relacionada con BIM era muy escasa, estando enfocada, principalmente, al aprendizaje de herramientas de software, pero sin incluir formación en metodologías de trabajo o en gestión BIM aplicada a todas las fases del ciclo de vida del edificio.

Sin embargo, actualmente existe una oferta de formación BIM tan amplia y variada que puede resultar complicado elegir la formación adecuada a las necesidades y expectativas concretas de cada persona.

El Máster en Metodología y Gestión BIM de Proyectos Construcción y Activos Inmobiliarios (MMGBIM) de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) tiene como objetivo ofrecer una formación BIM integral, fomentando el trabajo colaborativo y reproduciendo entornos de trabajo y proyectos reales, de modo que, al finalizar el mismo, los alumnos estén en condiciones de incorporarse a un equipo profesional con todos los conocimientos y habilidades necesarios para desarrollar con éxito cualquier trabajo con requisitos BIM.

La presente comunicación describe el Trabajo Fin de Máster (TFM) desarrollado por los alumnos de la novena edición del MMGBIM durante el curso 2019/20, como ejemplo de trabajo BIM real en el que se han tenido en cuenta los aspectos y condicionantes habituales de un proyecto BIM profesional.



Fig. 1. ETSAM: Imagen fotorrealista del edificio principal. Fuente: Alumnos IX Edición MMGBIM (2020)

1. Antecedentes

La Universidad Politécnica de Madrid inició su andadura en la formación BIM hace ocho años, apostando, desde el principio, por una formación integral que abarcara todos los aspectos relacionados con BIM. El Departamento de Ideación Gráfica Arquitectónica de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid (ETSAM) lideró la implantación de la formación BIM para posgraduados en la UPM con la puesta en marcha, en septiembre de 2014, del Curso de Especialización en Metodología BIM, con 30 créditos ECTS y 270 horas de docencia. Un año después, arrancó ya la primera edición del MMGBIM, con 60 créditos ECTS y 480 horas de docencia.

Desde el principio, la dirección del Máster tuvo claro que, para ofrecer una formación de calidad, era indispensable mantener actualizados los contenidos, para que fueran acordes con la evolución que experimentaba el BIM año tras año. Por tanto, en cada nueva edición del MMGBIM, es decir, semestralmente, se realizaba una revisión del programa y la planificación.

En 2019 se realizó una revisión profunda orientada a la introducción de nuevos contenidos y a dar un mayor peso al TFM, dando como resultado un nuevo programa con 80 créditos ECTS y 590 horas de docencia. La novena edición del MMGBIM arrancó en septiembre de 2019 con este nuevo formato en el que una de las

principales novedades fue que el TFM dejaba de ser un trabajo individual sobre un proyecto elegido por cada alumno, para pasar a ser un trabajo de equipo sobre un proyecto real establecido por la dirección del Máster.

2. Trabajo Fin de Máster curso 2019/20 - 1ª convocatoria. Datos iniciales

El grupo de alumnos de la novena edición del MMGBIM fue el primero en el que se aplicaron los nuevos criterios establecidos para el TFM, que se desarrolló entre septiembre de 2019 y julio de 2020.

Cabe reseñar que, a pesar de tratarse de un trabajo académico, el carácter de éste fue estrictamente profesional, con una parte contratante (UPM-ETSAM, representada por el director del Máster), una parte asesora/representante (el equipo de profesores-tutores) y una parte contratada (los equipos de alumnos).

En enero de 2020, los profesores-tutores informaron a los alumnos sobre el objetivo del proyecto: modelado BIM del edificio principal de la ETSAM. Dado el tamaño del edificio, se decidió que trabajarían sobre la mitad sur del mismo, pero teniendo in mente la conexión futura con la mitad norte que sería desarrollada en la siguiente edición del Máster.

Asimismo, se procedió a dividir a los alumnos en distintos Equipos de Desarrollo, constituidos por nueve miembros, que trabajarían, en paralelo, sobre el mismo modelo.

En esa misma sesión se hizo entrega a cada Equipo, del documento “Requisitos de Información del Cliente (EIR)”, en el que se detallaban todos los aspectos habituales contenidos en este tipo de documentos.

En dicho documento, se establecía ya la división de cada Equipo en tres subgrupos que se corresponderían con las tres Partes Contratadas establecidas en los EIR, actuando el subgrupo 2 como Parte Contratada Principal.

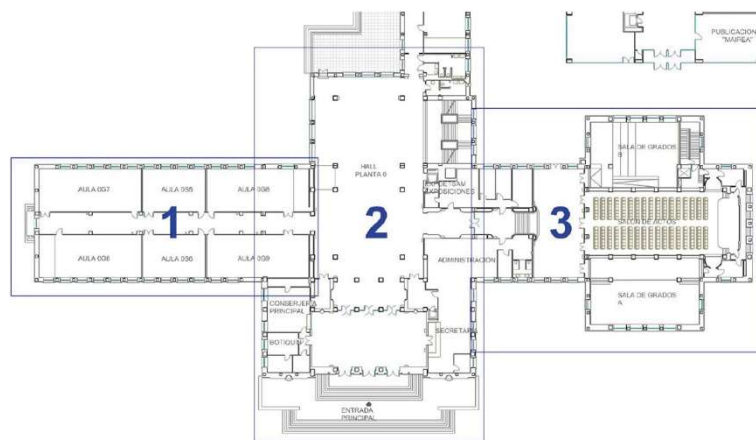


Fig. 2. Planta ETSAM: ámbito de actuación. Fuente: ETSAM-UPM (2020)

También se establecieron sesiones mensuales, de febrero a julio, con el equipo de profesores-tutores para el seguimiento del desarrollo del TFM.

Conviene destacar que, en esta edición del Máster, el 85% del alumnado estaba constituido por jóvenes recién titulados con poca o nula experiencia profesional, ningún conocimiento BIM y ninguna experiencia de trabajo en equipo, a lo que se sumó una dificultad añadida: la suspensión de clases presenciales, sustituidas por clases en streaming, a partir de marzo, y el confinamiento debido a la crisis sanitaria.

3. Desarrollo del Trabajo Fin de Máster

Cada Equipo tomó sus propias decisiones a la hora de desarrollar el trabajo, con las diferencias lógicas, sin embargo, el resultado final fue de gran calidad en todos los casos. En la presente comunicación nos centraremos, principalmente, en el proceso seguido y las decisiones tomadas por uno de los Equipos.

1.1. Análisis del documento “Requisitos de Información del Cliente (EIR)”

Para el desarrollo del trabajo, el Equipo partió del análisis detallado del documento EIR, que le permitió tener una primera toma de contacto con las normas ISO19650 y hacerse una idea clara de los diferentes aspectos que debían tener en cuenta, como los agentes intervinientes, los requisitos de información (OIR y AIR), los objetivos y usos BIM, y los requisitos de gestión, técnicos y comerciales.

A partir de los requisitos de información y de los objetivos BIM, se establecían diez Usos BIM obligatorios: Control y aprobación del programa de necesidades, Producción de planos, Revisión del diseño, Visualización y Recorridos Virtuales, Coordinación de interfaces con edificios existentes, Detección y resolución de interferencias, Información para la gestión de activos, Mediciones, Registro de modelos, Planificación y control de la construcción.

Adicionalmente, se establecían cinco Usos BIM recomendados: Gestión de Interesados, Gestión de Usuarios, Seguridad y Salud, Simulaciones Energéticas, Información para el Mantenimiento.

Los Requisitos de Gestión precisaban los aspectos relativos a Estándares y Guías de Aplicación, Contrato y Anexo BIM, Roles y Responsabilidades, Matriz de Gestión de la Información, Desarrollo del Modelo de Información, Contenido de los Modelos BIM y Precisión en el Contenido.

Los Requisitos Técnicos establecían las cuestiones referentes a Plataformas de Software, Entorno Común de Datos - CDE, Idiomas, Sistemas e Instalaciones, Planos, Coordenadas, Unidades, Atributos y Limitaciones de los Sistemas de Información.

Finalmente, los Requisitos Comerciales fijaban los aspectos relacionados con Intercambios de Información, Entregables y Plan de Ejecución BIM.

1.2. Inicio del trabajo

Los primeros pasos que siguió el Equipo de Desarrollo estuvieron encaminados a establecer un conjunto de estándares y metodologías de trabajo orientados a facilitar el desarrollo del proyecto de forma colaborativa.

1.2.1. Plan de Ejecución BIM (BEP)

El primer paso fue la redacción del BEP. En él se establecieron los criterios y normas para alcanzar un trabajo colaborativo y coordinado. El BEP fue considerado como un documento vivo durante la ejecución del modelo, ya que se fue actualizando a medida que se avanzaba y se tomaban decisiones.

Lógicamente, el BEP se enfocó a satisfacer los requisitos del cliente, por lo tanto, recogía el objetivo y la finalidad del proyecto y la descripción de todos los usos BIM.

El BEP se dividió en diferentes secciones que detallaban claramente la información y los recursos necesarios para establecer un flujo de trabajo común y coordinado entre todos los miembros del Equipo con objeto de conseguir un modelado unificado y homogéneo, aplicando los mismos criterios en los tres grupos.

Al principio del documento se incluyó información relativa al proyecto como datos de identificación, la división de los tres ámbitos de aplicación correspondientes a cada grupo y la autoridad del documento.

Posteriormente se definió la gestión que se iba a aplicar a lo largo del trabajo. El documento detallaba las regulaciones que debían cumplirse, así como todos los detalles relacionados con los procedimientos, los roles y responsabilidades de cada miembro del Equipo y la infraestructura que se utilizaría. El BEP se consideró como un libro de reglas en todo el proceso de desarrollo del modelo.

1.2.2. Toma de Datos

La toma de datos se enfocó a los requerimientos definidos en el BEP. Se realizó un levantamiento con láser-escáner. En cada zona del edificio se marcaron sobre plano las diferentes estaciones del láser-escáner

como apoyo a su posterior procesado. Simultáneamente, el láser tomó fotografías panorámicas 360° de cada estacionamiento. Estas fotografías fueron vinculadas a la nube de puntos para que pudieran visualizarse desde Revit mediante el plugin Deja Vu de Modelical.

El conjunto de datos obtenido se procesó con el programa Trimble Realworks y, posteriormente, con Autodesk Recap para obtener la nube de puntos final, utilizada para el modelado.

La nube de puntos se vinculó en Revit con respecto al punto de reconocimiento del proyecto, común a las tres zonas. A partir de ahí se establecieron los primeros pasos del modelo 'As-Built', como la definición de niveles y rejillas, con apoyo de la documentación CAD aportada por el cliente.

1.2.3. División del modelo

Se estableció la división del modelo en distintos archivos, atendiendo a las características particulares del proyecto. Obviamente, la primera división correspondía a las tres zonas del edificio a desarrollar por los tres grupos integrantes del Equipo.

Para el desarrollo de un gemelo digital para la ETSAM, el Equipo decidió organizar los archivos de manera que todos los usuarios pudieran trabajar sin conflictos. Para ello realizaron una división de los modelos en diversos archivos:

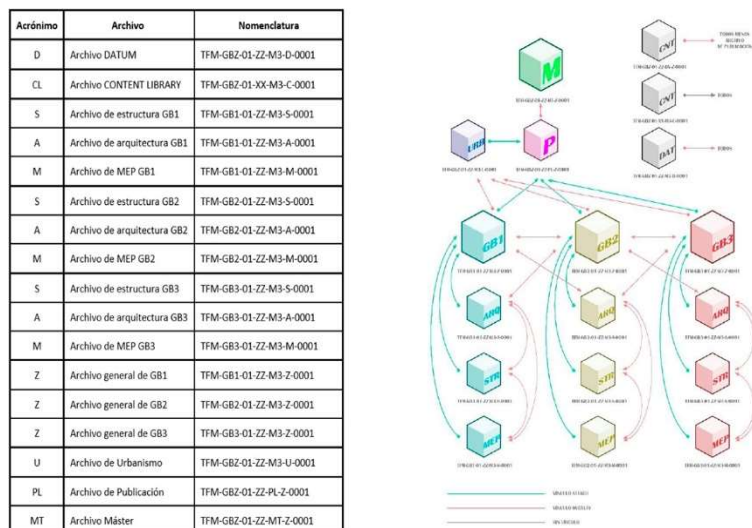


Fig. 3. Nomenclatura y segregación de archivos. Fuente: Alumnos IX Edición MMGBIM (2020)

Archivo Datum (DAT). Contiene los niveles, las rejillas y la información de coordenadas georreferenciadas. Es la base común, vinculada con solapamiento en todos los archivos creados por los miembros del equipo.

Archivos de Geometría por disciplina: Arquitectura (ARQ), Estructura (STR) e Instalaciones (MEP). Independientes por disciplina para cada uno de los grupos, de manera que no se produzcan interferencias entre los distintos usuarios. En cada uno de los nueve archivos, se vinculan como solapamiento las otras disciplinas del grupo correspondiente, de manera que puedan visualizarse para facilitar el modelado. Adicionalmente, en el archivo de arquitectura de cada grupo, aparecen como solapamiento los archivos globales del resto, facilitando así el modelado de las uniones entre las distintas zonas de trabajo.

Archivos federados: archivos de grupo (GB1, GB2 y GB3). Permiten comprobar el estado final de modelado del grupo, aportando una visión global con las distintas disciplinas para cada una de las zonas. Estos archivos se vinculan como enlace en un modelo global.

Archivo de Geometría del entorno (URB). Archivo único que contiene el modelado de la urbanización, con la topografía completa. Este archivo se vincula como solapamiento en los archivos globales de cada grupo y como enlace en un archivo de publicación.

Archivo de Publicación (PL). Archivo independiente para evitar sobrecargar los modelos con la información gráfica necesaria para la maquetación de planos, y garantizar una homogeneidad. Es un archivo común a todos y contiene enlaces a los archivos globales de los tres grupos.

Archivo Máster (M). Encabeza la jerarquía y en él se enlaza el modelo de publicación (PL) y el Datum (DAT). Es un archivo global, que permite realizar las entregas mediante eTransmit. En este archivo ni se modela ni se maquetan planos.

Archivo Content Library (CNT). Archivo auxiliar en el que se crea una biblioteca de familias a disposición de todos los miembros del equipo, de manera que no se produzcan duplicidades ni diferencias entre elementos que deben ser iguales en todas las zonas.

1.2.4. Fases. Lista de Hitos. Entregas

Los hitos a lo largo del desarrollo del proyecto se concretaron en seis entregas entre los meses de febrero y julio. El Equipo mantuvo reuniones de coordinación semanales, en las que participaban todos los miembros, de las que se levantaban las correspondientes actas de coordinación sobre los hitos actuales (Work in Progress) y futuros (To Do) y el reparto de tareas.

1.2.5. Entorno Común de Datos (CDE)

Para centralizar la información y garantizar el acceso a la misma por parte de todos los integrantes del Equipo de Desarrollo, se hizo necesario establecer un Entorno Común de Datos. El CDE elegido debía ser colaborativo (accesible a todos los usuarios, respetando roles y permisos asignados), auditable (trazabilidad de cada modificación de estado, indicando responsable, fecha y hora), borrable (pero no eliminable) e interoperable (desde dispositivos fijos y móviles).

Se estableció que toda la información disponible en el CDE debía estar asignada a uno de los cuatro estados del flujo de trabajo definido en la norma ISO19650-1: Work in Progress, Shared, Published, Archive.

El Equipo eligió como CDE para los estados WIP y Shared la plataforma Dropbox. La información se ordenó siguiendo una estructura de carpetas con diferentes niveles, accesibles por todos los agentes.

El cliente estableció como requisito para la gestión de la información en los estados Published y Archive el uso de un Sistema de Gestión Documental EDMS, concretamente la plataforma Trimble Connect, que permitía la automatización de la gestión de la información para una mayor fluidez. En este caso, el rol de administrador lo desempeñó el equipo de profesores-tutores, que se encargaron de planificar, organizar, configurar y administrar la plataforma colaborativa.

Por cada hito de entrega el Cliente estableció un ToDo donde se indicaba fecha de entrega y descripción del hito, a la vez que permitía una comunicación directa mediante los Comments.

1.2.6. Coordinación entre Grupos

Desde el principio, el Equipo entendió que su trabajo iba a requerir una comunicación y coordinación perfectas. En febrero, el Equipo decidió plantear una reunión semanal de coordinación presencial. Sin embargo, a partir de marzo, y a causa del confinamiento, pasaron a realizar las reuniones de coordinación a través de la plataforma Google Hangouts, complementándolas con la comunicación constante a través del grupo de Whatsapp.

Con carácter previo a cada reunión, el miembro designado como secretario preparaba un documento con tres apartados: Puntos a tratar, A implementar y Futuros hitos. Tras la reunión, redactaba el Acta donde se recogía todo lo tratado y la subía a la carpeta correspondiente del CDE.

El siguiente paso, con los modelos prácticamente terminados, fue establecer los criterios y procedimientos adecuados para crear un modelo federado para las comprobaciones en Navisworks. Asignaron

responsabilidades para tareas como la definición de la matriz de colisiones, la creación de las pruebas de interferencias con una nomenclatura clara predefinida o los criterios para la identificación de falsos positivos. Adicionalmente, decidieron instalar el plug-in BIMcollab para facilitar que todos los miembros del Equipo tuvieran esos conflictos en sus copias locales de los archivos centrales.

A continuación, pasaron a la fase de publicación creando primeramente un archivo Excel con las nomenclaturas y codificaciones de todos los planos a generar a partir del modelo. Posteriormente crearon un script de Dynamo para trasladar el listado de planos de Excel al archivo de Revit. Asimismo, crearon todas las plantillas de vista necesarias para conseguir una homogeneidad en la presentación de los planos de los distintos grupos. Adicionalmente, asignaron unos horarios a cada miembro del equipo para evitar sincronizaciones simultáneas en Dropbox, que podrían generar conflictos.

Finalmente, definieron los criterios y materiales a utilizar para la generación de renders y vídeos con el programa Enscape.

1.2.7. Entorno Urbanístico

El desarrollo del entorno urbanístico no estaba contemplado por lo que sólo se definió el contexto urbanístico básico incorporando la volumetría de los edificios colindantes mediante elementos de masa de Revit, la superficie topográfica, y una plataforma de construcción, para delimitar la intersección del modelo con la topografía.

1.2.8. Gestión de Tareas

Una de las principales razones del éxito de este trabajo ha sido, sin duda, la organización y coordinación entre los diferentes grupos integrantes del Equipo. Para ello, resultó imprescindible el uso una plataforma común que permitiera ordenar todas las tareas a culminar hasta la siguiente fase del trabajo. La plataforma de gestión de tareas elegida fue Trello, que ayudó a filtrar las necesidades del proyecto en los diferentes grupos, así como en las diferentes disciplinas, posibilitando, además, asignar un orden de relevancia.

1.3. Producción y Desarrollo

1.3.1. Criterios de Modelado

El modelado arrancó con la disciplina Estructura, para la que se manejó una combinación de la información incluida en los planos CAD disponibles y la extraída de la nube de puntos. Primero se creó el archivo Datum para vincularlo a los tres modelos estructurales del proyecto. El Equipo estableció los criterios de modelado y el orden para los distintos elementos estructurales utilizados: pilares, vigas, escaleras y suelos estructurales (forjados).

Para el modelo de Arquitectura también se partió de dos bases documentales, la documentación gráfica en PDF aportada por el cliente y la nube de puntos. En este caso, a los tres modelos arquitectónicos del proyecto se vincularon sus respectivos modelos estructurales, así como el archivo Datum. El Equipo estableció los criterios de modelado y el orden adecuado para los distintos elementos arquitectónicos: muros de cerramiento, particiones interiores, escaleras y barandillas, puertas y ventanas, acabados de suelos, cubiertas y techos, terminando con sanitarios y mobiliario.

Para el modelado MEP, el cliente aportó un conjunto de información incompleta y no comprobable, por lo que, para el modelado de las instalaciones, se tuvo que recurrir, en algunos casos, al sentido común y a la observación de determinados elementos a través de la nube de puntos y fotografías, al ser imposible el acceso al edificio a causa de la crisis sanitaria. Al igual que en las otras disciplinas, el Equipo definió los criterios de modelado para los componentes de las distintas subdisciplinas: climatización, fontanería, electricidad, PCI, etc. Con el fin de poder analizar de una manera rápida y visual el origen y la fiabilidad de

la información contenida en el modelo MEP, se creó un parámetro para filtrar los elementos por cuatro códigos de estado predefinidos.



Fig. 4. ETSAM: nube de puntos y modelo BIM. Fuente: ETSAM-UPM y Alumnos IX Edición MMGBIM (2020)

Todas las familias se definieron y modelaron en el archivo Content Library, partiendo de la información en PDF proporcionada por la propiedad y la nube de puntos, y contrastando la información y los materiales mediante el plugin Deja Vu de Modelical, al ser imposible el acceso al edificio.

El Equipo también estableció los criterios específicos para la definición de las plantillas de vista y las tablas de planificación.

En todos los casos se aplicaron los LODs y las nomenclaturas definidas en el BEP y se realizó la asignación de tareas a los distintos miembros de cada grupo.

1.3.2. Resolución de Interferencias

Los Requisitos de Información establecían la necesidad de un modelo libre de interferencias, que permitiera su utilización para el resto de usos BIM requeridos. Para cumplir con este requisito se estableció un procedimiento.

Primeramente, se definió la matriz de interferencias a partir de las categorías utilizadas en el modelo, con una codificación que indicaba la prioridad y la tolerancia de cada prueba.

Cada grupo generó un archivo NWC a partir de una vista 3D con todos los elementos a exportar visibles, y estableciendo la configuración más adecuada. El responsable del Grupo 2 generó el modelo federado en Navisworks incorporando los tres archivos NWC.

Seguidamente se crearon los conjuntos de búsqueda, y las pruebas necesarias según la matriz de interferencias. Tras la ejecución de cada prueba, se agruparon los conflictos por elemento afectado, aplicando una codificación en la nomenclatura de conflictos y grupos que facilitara su identificación. Asimismo, se procedió a la aprobación de falsos positivos.

Tras la revisión, se generaron las incidencias en BCF Manager para su posterior resolución en Revit, utilizando la nomenclatura previamente definida. Tras las correcciones correspondientes, se repitió el procedimiento, tal y como se indica en la Figura 5, hasta que se consiguió un modelo libre de colisiones.

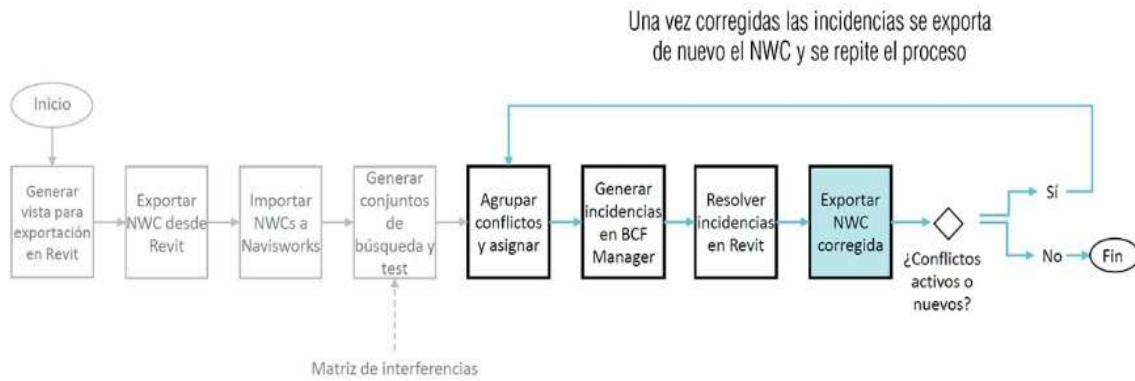


Fig. 5. Resolución de interferencias: flujo de trabajo. Fuente: Alumnos IX Edición MMGBIM (2020)

1.3.3. Criterios de Codificación de Planos

Para la codificación de los planos entregables se realizó una tabla Excel con el listado completo de planos, accesible a todos desde el CDE (Dropbox). En la tabla se definían los parámetros alfanuméricos necesarios para la generación de planos y la/s vista/s asociada/s al mismo.

1.3.4. Criterios de Publicación

Para la correcta publicación de los planos, se definieron unos criterios comunes a los tres grupos, de forma que la información fuera coherente, precisa y con un estilo gráfico uniforme. Los planos se organizaron por disciplinas y subdisciplinas o subconjuntos.

Se acordó crear un único archivo común de publicación con el objetivo de unificar el grafismo de los planos de todo el Equipo. Asimismo, se establecieron unos criterios unificados de maquetación para los tres grupos.

Para facilitar su inclusión en los planos correspondientes, las vistas se organizaron dentro del apartado "Documentación" en el navegador de proyectos. Dentro de esta categoría se estableció una jerarquía de niveles acorde con la organización de planos especificada.

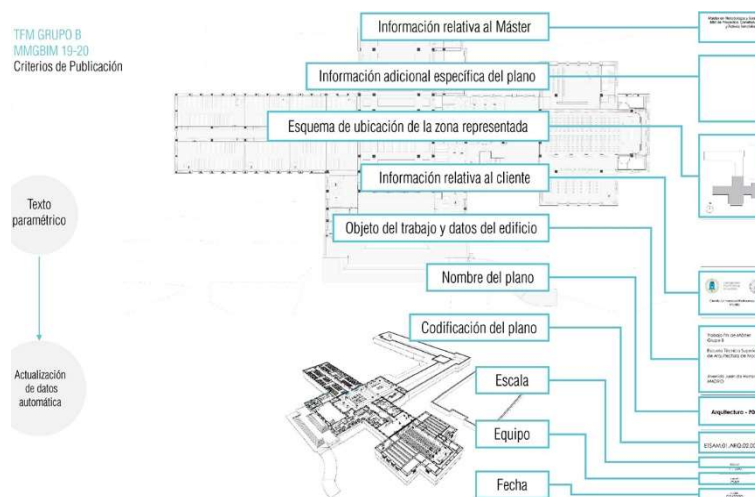


Fig. 6. Planos: Información del cuadro de rotulación. Fuente: Alumnos IX Edición MMGBIM (2020)

Para la maquetación de los planos, se creó un formato base tamaño A1, con una franja vertical en el borde derecho en la que aparece toda la información necesaria para identificar el plano. Esta información se introduce de manera automática mediante textos paramétricos.

1.3.5. Criterios de Calidad

Para el aseguramiento de la calidad se tomaron una serie de medidas, basadas en el esquema circular de Deming (planificar-hacer-verificar-actuar), enfocadas a la mejora continua de los procesos de trabajo y a garantizar la veracidad y trazabilidad de la información. Entre estas medidas destacan las reuniones de coordinación, el archivo de coordinación de familias, las bases de datos comunes o el archivo de parámetros compartidos.

Por otra parte, se establecieron diversas comprobaciones periódicas para el control de la calidad, como comprobaciones del modelo, revisando tablas de planificación de gestión y avisos de Revit, comprobaciones de la Content Library, y tests de control de calidad QA/QC en la semana previa a cada entrega mensual.

Asimismo, se realizaron las comprobaciones de interferencias del modelo federado.

1.3.6. Scripts

Para la automatización de procesos en Revit se utilizó el entorno de programación visual Dynamo, que permite la gestión de parámetros, modelos e información. ampliando las capacidades paramétricas de Revit. Se generaron scripts para la automatización de procesos como la generación de Subproyectos (Worksets), la asignación del parámetro Clash Priority, y la generación de Planos.

1.3.7. Inventario

Para el uso BIM de Información para la Gestión de Activos, se desarrolló, como ejemplo de las posibilidades de gestión de la información, un sistema para inventariar mobiliario y luminarias que permitiera la localización, tipificación y cuantificación. Ante la imposibilidad de acceder al edificio de la ETSAM, debido a la crisis sanitaria, el Plug-in Deja Vu de Modelical resultó imprescindible, ya que permitió tener una visión exacta del mobiliario y las luminarias. Esto fue posible a partir de las fotos 360º captadas en el mismo momento de la obtención de la nube de puntos.

Asimismo, el plug-in SheetLink de DiRoots permitió un intercambio de información ágil y bidireccional entre la tabla de Excel en la que se recogieron los códigos para el inventariado y Revit.



Fig. 7. Recorrido Virtual e inventario con Enscape. Fuente: Alumnos IX Edición MMGBIM (2020)

Para la visualización de datos del inventario se desarrolló un recorrido virtual con Enscape que, además de permitir la navegación 3D por los distintos espacios, también possibilitaba obtener el inventario de cada habitación. Asimismo, se utilizó también Microsoft Power BI para el análisis de los datos del Modelo BIM y la consulta del inventario.

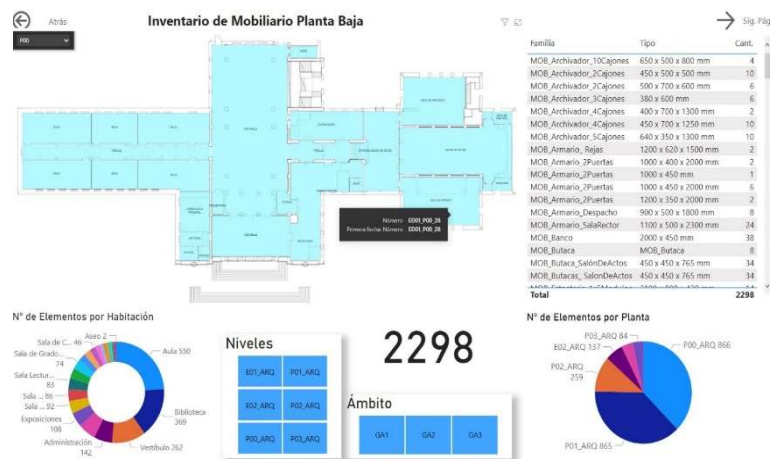


Fig. 8. Análisis de datos e inventario con Microsoft Power BI. Fuente: Alumnos IX Edición MMGBIM (2020)

4. Alumnos participantes

Beloqui-Cortón, Angel - Arquitecto; Bravo-Aparicio, Javier - Ingeniero de Edificación; Cappuccio-Suárez, Jose-Alejandro - Ingeniero Civil; Cifuentes-Alvarez, Carlos - Arquitecto; DeSantiago-Arenas, María - Arquitecta; Díez-Vallejo, Paloma - Arquitecta; Madariaga-Cela, Paula-Isabel - Arquitecta; Martínez-Arias, María - Ingeniera de Edificación; Martínez-Castellote, Miguel - Ingeniero de Obras Públicas; Mate-Martínez, Beatriz - Arquitecta; Merino-Gómez, Javier - Arquitecto; Muñoz-Aguilera, Francisco-Solano - Ingeniero de Edificación; Núñez-Fernández, Rogelio - Ingeniero Civil; Plana-González, Alberto - Ingeniero de Edificación; Sánchez-Martínez, David - Arquitecto; Urresti-García, Guadalupe - Arquitecta; Valenzuela-Barón, Rafael - Arquitecto; Zhang, Yanguan - Arquitecta

5. Conclusiones

Tras la realización del TFM y su presentación pública en julio de 2020, lo que más valoraron los alumnos fue la capacidad alcanzada para la resolución de todas las disciplinas de un modelo BIM con un carácter estrictamente profesional. Los flujos de trabajo utilizados, la forma de gestionar las tareas, la coordinación entre grupos con las reuniones semanales, los controles de calidad del modelo, las incidencias derivadas del CDE y la forma de compartir la información con el equipo de profesores-tutores pusieron de manifiesto que el proyecto no fue un TFM al uso, más aún si se consideran las contingencias derivadas de la pandemia, que sólo permitieron visitar el edificio de forma virtual, exigiendo una respuesta comprometida por parte de todos los integrantes de los equipos para finalizar satisfactoriamente el trabajo.

Los alumnos comprendieron la importancia tanto de la elección de las herramientas utilizadas, basándose en el grado de conocimiento de los distintos miembros y la adecuación de las mismas a las distintas necesidades, como de una comunicación efectiva, el trabajo en equipo, las relaciones interpersonales y la capacidad para liderar grupos de trabajo. Asimismo, entendieron las obligaciones y actividades que desempeñan los distintos roles BIM y fortalecieron sus conocimientos de gestión y desarrollo de proyectos BIM, generando una experiencia que abre las puertas a un nuevo futuro profesional.

Se puede constatar que el objetivo principal reseñado en el documento "Requisitos de Información del Cliente", que es, en definitiva, disponer de un modelo fiable que represente el activo real, ha sido satisfecho con un alto grado de calidad.

Por tanto, se puede concluir que todos los integrantes del grupo han demostrado con creces la adquisición de los conocimientos derivados de los distintos módulos del Máster, y su capacidad para ponerlos en práctica en un proyecto real de forma profesional. En definitiva, este nuevo enfoque del TFM ha corregido los puntos débiles de ediciones anteriores, mejorando la integración de todos los aspectos de un proyecto BIM de manera equilibrada y real y enfatizando el trabajo en equipo.

Referencias

- BARCO MORENO, D. (2018). *Guía para Implementar y Gestionar Proyectos BIM: Diario de un BIM manager*. España: Autoedición
- BELOQUI-CORTÓN, A., et al. (2020). *TFM Levantamiento y Modelado AS-BUILT de Condiciones Existentes del Edificio ED01 ETSAM utilizando la Metodología BIM*. España: Autoedición
- MOREA NÚÑEZ, M. y ZARAGOZA ANGULO, J.M. (2021). *Manual de implantación BIM: Una guía práctica para la creación de protocolos BIM con la ISO 19650 en Revit®*. España: Autoedición
- ZHAO, D. McCOY, A.P., BULBUL, T., FIORI, C. Ph.D. y NIKKHOO, P. (2015) "Building Collaborative Construction Skills through BIM-integrated Learning Environment" en *International Journal of Construction Education and Research*, Routledge - Taylor & Francis Group, vol.11:2, p.97-120
- UNE (2019-2021). *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. UNE-EN ISO 19650*. Madrid: AENOR
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. *Máster en Metodología y Gestión BIM de Proyectos, Construcción y Activos Inmobiliarios*. <https://www.upm.es/Estudiantes/Estudios_Titulaciones/EstudiosPosgrado/master?id=991&fmt=detail> [Consulta: 10 de febrero de 2022]

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM



DEL TERRITORIO A LA VIVIENDA: UNA SOLUCIÓN BASADA EN DISEÑO PARAMÉTRICO E INDUSTRIALIZACIÓN

De Cárdenas-Domínguez Adame, José María^a; Mayoral-González, Eduardo^b; Pérez-López, Miguel Ángel^c; Sánchez-Palma, Álvaro^d y Gil-De Montes, Francisco^e

^aArquitecto, CEO & Founder Citythinking SL. Director del Proyecto – España, jmcardenas@eddea.es

^bDoctor Arquitecto, CTO Citythinking SL – España, emayoral@cttk.es ^cArquitecto, Citythinking SL – España, maperez@cttk.es ^dArquitecto, Citythinking SL – España, asanchez@cttk.es ^e Arquitecto, Citythinking SL – España, fgil@cttk.es

Abstract

We have developed a complex, compact, efficient and cohesive city model configured by urban, architectural and constructive standardized elements. These elements are interrelated through a system of functional, environmental and socio-economic indicators that allow to generate, analyze and evaluate multi-family housing units within urban residential districts, including public spaces, facilities and infrastructure systems.

We have designed parametric digital tools integrated into BIM platforms to do it. On the one hand, they allow us to develop residential urban district scenarios to evaluate their behaviour concerning the previously mentioned system of indicators. On the other hand, they will enable us to configure affordable multi-family housing units within these residential districts using a catalogue of industrialized architectural and construction elements defined in BIM. These tools radically improve decision-making processes, dramatically reduce costs and lead times, and improve and integrate design processes.

Keywords: *ecosystemic urbanism, affordable multi-family housing, indicators, sustainability, integrated design, industrialization, standardization, algorithmic parametric design, automatization, optimization*

Resumen

Hemos desarrollado un modelo de ciudad compleja, compacta, eficiente y cohesionada, configurado por elementos estandarizados a escala urbana, arquitectónica y constructiva. Dichos elementos están interrelacionados mediante un sistema de indicadores funcionales, medioambientales y socio-económicos que permiten generar, analizar y evaluar viviendas plurifamiliares asequibles en distritos urbanos residenciales; incluyendo sus sistemas de espacios públicos, equipamientos e infraestructuras.

Para ello, hemos diseñado herramientas digitales paramétricas, integradas en plataformas BIM. Por un lado, nos permiten diseñar escenarios de distritos urbanos residenciales para evaluar su comportamiento en relación al sistema de indicadores mencionado. Por otro lado, nos permiten la configuración de viviendas plurifamiliares asequibles en dichos distritos residenciales, sirviéndose para ello de un catálogo de elementos arquitectónicos y constructivos industrializados, definidos en BIM. Estas herramientas mejoran radicalmente los procesos de toma de decisiones, reducen drásticamente los costes y plazos de ejecución, y mejoran e integran los procesos de diseño.

Palabras clave: *urbanismo ecosistémico, vivienda plurifamiliar asequible, indicadores, sostenibilidad, diseño integrado, industrialización, estandarización, diseño paramétrico algorítmico, automatización, optimización*

Introducción

Nos encontramos en el proceso de urbanización más acelerado de la historia. En 2050 la población urbana pasará de ser aproximadamente del 50% del total al 70% (*World Urbanization Prospects 2018: Highlights*). Ello supone el reto socio-económico y ecológico de mayor impacto en el planeta, y es necesario repensar los medios con los que abordarlo.

Respondiendo al reto de diseñar y construir masivamente viviendas asequibles, en el marco creado por los movimientos migratorios del campo a la ciudad a escala global, hemos desarrollado en la última década un modelo de extensión urbana compleja, compacta, eficiente y cohesionada para ciudades de tamaño medio en países de economías emergentes.

Este modelo está articulado a tres escalas:

- **Urbana:** Modelo conceptual urbano de elementos estandarizados, con reglas de funcionamiento y configuración que cumplen con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.
- **Arquitectónica:** Catálogo de soluciones habitacionales estandarizadas, adaptadas a las necesidades y requisitos específicos de cada actuación.
- **Constructiva:** Catálogo finito de elementos industrializados según especificaciones de fábrica.

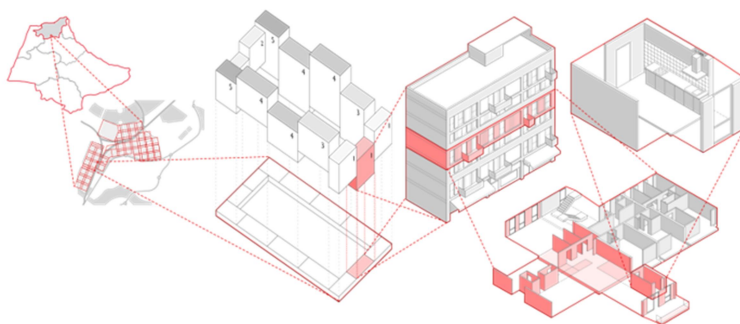


Fig. 1 Del territorio a los elementos de fábrica. Fuente: Citythinking SL (2015)

Para aplicar este modelo, desarrollamos una plataforma digital (inicialmente compuesta por un módulo llamado PSP: Parametric Smart Planning y otro módulo llamado PSA: Parametric Smart Architecture) de diseño paramétrico y algorítmico basada en un sistema experto (en tanto en cuanto sistema capaz de producir un resultado profesional como si hubiera sido realizado por un experto, a partir de una base de datos y reglas que responden a la interacción realizada por el usuario no experto) que permite desarrollar las soluciones a cada escala, en un proceso integral:

- **Escala urbana:** Dada una extensión de territorio y sus peculiaridades, la plataforma propone las mejores soluciones de configuración urbana basándose en índices funcionales, medio-ambientales y socio-económicos (Rueda, 2015). Las unidades urbanas tienen en cuenta la viabilidad de inclusión de las soluciones edificatorias propuestas en el catálogo de trabajo a escala arquitectónica.
- **Escala arquitectónica:** Dada una manzana y sus requisitos, la plataforma ayuda a la obtención de soluciones edificatorias que cumplan dichos requisitos, mediante la combinación de las soluciones habitacionales de catálogo. Dichas soluciones estandarizadas, tienen en cuenta la escala constructiva para contener en su producción el menor número de componentes prefabricados posible, mediante su repetición y reutilización.
- **Escala constructiva:** A partir de la estandarización de las unidades habitacionales, se establece un catálogo limitado y finito de elementos prefabricados a utilizar, en base a las especificaciones de fabricante. Se busca el menor número de elementos posible, a producir de forma masiva para grandes desarrollos simultáneos.

La implementación de BIM conecta la escala arquitectónica y la constructiva, haciendo de puente entre el diseño del edificio y su montaje para fabricación.

El objeto de esta comunicación es mostrar cómo hemos afrontado la incorporación de BIM a este sistema experto, sus aportaciones, y las conclusiones que hemos obtenido en esta primera fase de desarrollo.

Contexto en Europa y Rusia, experiencias en estandarización: Tres generaciones (Fernández, 1972)

Primera fase: Posguerra (II Guerra Mundial) hasta 1955

Los arquitectos lideran los esfuerzos de estandarización, siendo la flexibilidad un factor importante. La búsqueda del “módulo” culminará en la implementación internacional del módulo “1M” (ISO 1006:1983).

Segunda fase: 1955 a 1975

Primera aproximación sería a la industrialización (el 25% del parque inmobiliario actual data de esta época). Se produce un gran avance en la funcionalidad, calidad y estándares; pero a pesar de la alta calidad de los diseños, se somete a una fuerte crítica aún en la década de los 70 debido a razones de escala y falta de variación, así como por la lenta adaptación de la sociedad. Prevalece aún un rechazo a la industria de la construcción.

Tercera fase: Década de los 90 hasta hoy

Estandarización entendida como Proceso, Sistema o Producto: Personalización (“*Mass customization*” - Davis, 1987), Modularidad y Diseño paramétrico

Claves actuales de la Estandarización e Industrialización

- Gestión centralizada.
- Orientación al cliente y al mercado.
- Simbiosis de arquitectura e ingeniería.
- Desarrollo sistemático y continuo.
- Estructuras de procesos y productos coordinadas e interconectadas.
- Mayor uso de las tecnologías de la información.
- Producción, ensamblaje y logística altamente eficientes.
- Acuerdos a largo plazo entre agentes.
- Seguimiento, medición y mejora.

Herramientas similares (Análisis y/o Diseño) actualmente en el mercado

Algunas de las herramientas analizadas: SMARTWORLDPRO2, ARCHITECTURES, SPACEMAKER, DELVE, PRISM, THE BRIEF, NEIGHBOURLYTICS, CITYCAD, MODELUR, GIRAFFE, URBANO, ARCGIS URBAN.

Características analizadas: Plataforma, Análisis/Diseño, Tejido urbano (Existente/Nuevo), Escala (Ciudad/Distrito/Sector/Manzana/Edificio), Sistema viario, Sistema de equipamientos, Sistema de espacios libres, Tejido residencial, KPIs edificatorios, KPIs medioambientales, KPIs socioeconómicos, Análisis solar, “Mix” de apartamentos, Plan de costes, Importar/Exportar (CAD, BIM, GIS, Hojas de cálculo).

En general, no proponen un sistema experto que desarrolle una solución holística que abarque desde la planificación urbana hasta la fabricación de los componentes edificatorios, incluyendo diseño y análisis.

1. Objetivos y alcance

Cuando se propuso la incorporación de BIM en el sistema descrito, usando la plataforma de autoría REVIT de Autodesk, el principal objetivo planteado fue dar soporte y facilitar las fases de proyecto, fabricación y puesta en obra, actualmente basadas en sistemas de diseño y gestión tradicionales.

La aplicación de BIM se ceñiría al modelado de las manzanas residenciales, siendo los usos y requisitos planteados los siguientes:

- Automatización del proceso de modelado: Montaje automático de los edificios de manzana como archivos REVIT, a partir de la información arrojada por la plataforma.
- Documentación: Obtener la documentación de proyecto según la fase.
- Soporte a fábrica: Listados de elementos totales y por edificio. Opcionalmente, planificación de producción, caracterización de elementos y obtención de planos de taller.
- Soporte en obra: Documentación de replanteo de elementos. Opcionalmente, planificación, transporte, acopio y ejecución.

Finalmente, el proceso debía ser aplicado a proyectos reales en curso. Para ello, usamos tres proyectos desarrollados parcialmente en CAD tradicional, abordando el modelado de manzanas aún no desarrolladas, cuyos principales datos son los siguientes:

- Ubicación: Moscú, Rusia (Bitsa, Lyubertsy y Molzhaninovo)
- Número total de manzanas residenciales: 6
- Fase de proyecto: Schematic Design

El proceso debía ser reproducible y reutilizable para otros casos reales.

2. Metodología

Para abordar la tarea encomendada, seguimos la siguiente hoja de ruta:

- Análisis
 - Plataforma PSP+PSA: información y formatos de archivo exportables desde la misma (a partir de los datos suministrados por la plataforma, debemos ser capaces de montar en Revit las manzanas residenciales de forma automatizada).
 - Catálogo de soluciones arquitectónicas propuesto: tipos de vivienda, combinación de bloques.
 - Componentes prefabricados: Requisitos de información.
 - Documentación: Entregables y requisitos de representación gráfica.
 - Valor añadido: Mejoras previstas para fases de fabricación y obra (no requerido).
 - Estado del arte de las herramientas e identificación de retos.
- Investigación y Desarrollo de la solución
 - Identificación y evaluación de opciones de desarrollo conforme a los requisitos.
 - Elección de opción de desarrollo.
 - Desarrollo de la solución.
 - Puesta a prueba en proyecto piloto.
 - Aplicación de correcciones y mejoras, o cambio de opción seleccionada si fuera necesario.
- Aplicación práctica a un caso real.
- Conclusiones.

3. Análisis

3.1. Plataforma digital PSP y PSA

PSP es fruto de un trabajo de estandarización urbanística desarrollado durante años en el cual la supermanzana es la celda urbana que articula el tejido urbano y permite dotar de espacios de calidad con certificación en base a KPIs funcionales, medioambientales y socio-económicos. PSP es una aplicación que trabaja a escala urbana, y genera propuestas de *masterplan* para distritos residenciales, principalmente.



Fig. 2 La Supermanzana. Citythinking SL (2018)

PSA es una aplicación que trabaja a escala de manzana para detallar la propuesta arrojada por PSP, combinando bloques de vivienda y alturas para obtener las edificaciones en manzana que alcancen los índices requeridos. Trabaja principalmente con volúmenes extruidos a partir de los contornos resultantes de la planta tipo de los bloques de vivienda, agrupados en torno a un núcleo común de comunicaciones, llamados en este proyecto “secciones”. Cada sección es posicionada y orientada en el emplazamiento y combinada con otras secciones para conformar la planta residencial de cada manzana, cumpliendo con los objetivos de densidad, soleamiento, etc.

Trabajaremos partiendo de la hipótesis de que si podemos obtener las coordenadas y orientación de cada sección respecto de un sistema de coordenadas determinado para cada manzana, así como el número de plantas en que se repite, seremos capaces de utilizar esa información para colocar en un modelo de manzana de forma automática las secciones previamente modeladas.

Tendremos en cuenta el desarrollo de cada manzana de forma independiente en base a su propio sistema de coordenadas. La ubicación en el emplazamiento o su georreferenciación no es requerida, pero podría ser implementada en futuros desarrollos.

3.2. Catálogo de soluciones arquitectónicas estandarizadas

El catálogo de soluciones habitacionales parte de un trabajo de definición de tipologías de vivienda conforme a las necesidades particulares del proyecto. Por ello, cada actuación contaría con un catálogo propio adecuado a los requisitos.

Estas tipologías se diseñan en base al sistema estructural prefabricado, buscando módulos mínimos y repetitivos para componer las viviendas, con el fin de obtener el menor número de elementos prefabricados mediante su reutilización.

Estas viviendas se agrupan componiendo “secciones” o plantas tipo por núcleo de circulaciones, y pueden intercambiarse siguiendo unas reglas establecidas, con el fin de obtener los resultados deseados en cuanto a variedad y proporciones de tipología de apartamentos.

El número de tipologías de apartamentos es siempre finito y acotado, pero las secciones resultantes de sus combinaciones son virtualmente infinitas, por lo que su modelado se plantea únicamente bajo demanda.

3.3. Componentes prefabricados

Se trabaja con una fábrica de prefabricados de hormigón ubicada en Moscú, la cual proporciona un sistema de paneles estructurales verticales y horizontales que, unidos, conforman la estructura de las plantas de vivienda.

Otro proveedor suministra baños y aseos industrializados, terminados y listos para colocar y conectar.

Caracterización de los componentes:

- Paneles estructurales verticales (paneles de fachada e interiores): Caracterizados según su longitud, espesor, huecos (número de huecos, dimensiones y posición), conexiones estructurales, conexiones y dispositivos de instalaciones. No se requiere el armado de los elementos en proyecto. Los paneles de fachada incorporan el acabado, según criterios de diseño diferentes para cada caso, lo cual genera una gran variación. Por tanto, no se tendrá en cuenta inicialmente este acabado en la diferenciación de componentes. Más adelante se estudia la solución para incorporar esta casuística.
- Paneles estructurales horizontales (placas de forjado): Caracterizados según anchura, longitud, huecos (número, dimensiones y posición), y la existencia de balcones o terrazas en su superficie (ya que esto determina la existencia de un panel de fachada retranqueado que hay que conectar). No se requiere el armado de los elementos en proyecto.
- Baños prefabricados: Modelo de baño prefabricado según diseño. En proyecto no se requiere la definición constructiva del elemento. Se requiere únicamente su identificación, dimensiones globales, ubicación de aparatos sanitarios, y conexión de instalaciones.

Durante el análisis del sistema estructural empleado, detectamos que los paneles estructurales verticales requieren aumento de espesor en las plantas inferiores cuando el edificio supera las 14 plantas. Esto implica que para el mismo apartamento en diferentes plantas, los componentes varían debido al cambio de sus espesores, no sólo por el cambio de espesor en sí mismo, sino porque este afecta a la longitud de los elementos en contacto, dimensión y posiciones de hueco, etc. Además, estos cambios de longitudes dependen también de las condiciones de contorno en los extremos, como por ejemplo el encuentro de un muro contra otro, muro en continuidad o extremo libre. Esto supondrá un reto importante tanto para la estrategia de modelado como para la caracterización de componentes únicos.

3.4. Documentación de proyecto

Debemos obtener la siguiente documentación a partir del modelo:

- Plantas generales de planta baja, sótano y plantas de aparcamiento, con identificación de recintos y superficies útiles.
- Plantas generales de viviendas tipo, con identificación de tipos por color y etiquetas, incluyendo mobiliario, carpinterías, aparatos sanitarios, e identificación y superficie de estancias.
- Secciones generales.
- Alzados generales.
- Volumetría.
- DWG con áreas construidas, vendibles y útiles, para comprobación del cliente (contraste con datos).

3.5. Valor añadido

Las posibilidades de uso previstas tanto para la fabricación como para la fase de obra son:

- Planificación de la fabricación en base a la planificación de ejecución a partir del modelo.
- Trazabilidad digital de los elementos mediante la incorporación de códigos físicos.
- Planificación de lotes de transporte según destinos.
- Planificación del acopio.
- Replanteo digital de los elementos.

A partir del uso de modelos que contienen todos los componentes identificados, cada elemento se produce en fábrica según la necesidad prevista, y se conoce exactamente su destino y punto de colocación desde su salida de fábrica, pudiendo optimizar la producción y transporte de elementos idénticos de forma masiva para varios desarrollos simultáneos. Con esto, los tiempos y costes de desarrollo de grandes extensiones residenciales se optimizarían y acelerarían.

3.6. Estado del arte de las herramientas

A partir de la observación y experiencia con la herramienta de modelado a emplear (Revit), se confirma que actualmente no ofrece una solución específica para la generación de componentes tal y como los necesitamos. Especialmente en las categorías de elementos como muros, suelos, techos y cubiertas (denominados “familias de sistema”), las soluciones orientadas a la prefabricación se orientan a una solución tipo “prêt-à-porter”, dividiendo el todo en componentes individuales a partir de un diseño de edificio no estandarizado. El mismo edificio puede ser repetido con los mismos componentes (construcción en serie), pero estos componentes no pueden ser usados para otro diseño. Técnicamente, además, resulta difícil recrear de forma idéntica y caracterizar de forma unívoca estos componentes, basados en dichas “familias de sistema”, en otros proyectos. Este modelo de división de componentes, por tanto, no es reutilizable ni repetible, y no garantiza el uso e identificación exacta de los mismos elementos prefabricados en diferentes proyectos.

En nuestro caso, necesitamos definir los elementos previamente a partir de un catálogo, de forma independiente al modelado del edificio particular, pudiendo ser reutilizados y repetidos en el mismo o diferentes proyectos, manteniendo su identidad.

4. Investigación y desarrollo de la solución

4.1. Estrategia de modelado a nivel de edificio: flujo de creación y actualización

Sólo se modela con sistema prefabricado las plantas de vivienda. Planta baja, sótano y cubierta se construirán con técnicas tradicionales, de forma que igualmente se modelarán con BIM “tradicional”.

La estrategia de división de modelos requiere de un sistema jerárquico de anidaciones que parta de las viviendas tipo establecidas y vaya componiendo, mediante combinaciones, las plantas tipo de bloques (secciones). Sólo se modelarán las secciones requeridas bajo demanda, ya que pueden ser infinitas. Con esta estructura de anidaciones, una modificación en la base (como un cambio de distribución) podrá propagarse fácilmente por todas las combinaciones.

Se evalúa la anidación de vínculos, el uso de grupos (enlazando o no a los vínculos) y el modelado directo.

Se detecta que la anidación de varios niveles de profundidad de vínculos produce un gran impacto en el rendimiento de los modelos; por otra parte, si se produce una modificación en un apartamento, un modelado directo de las secciones sin usar modelos anidados obligaría a cambios individuales en cada sección donde dicho apartamento estuviera contenido.

Finalmente, se toma como estrategia la vinculación de apartamentos en las secciones; pero estas no se usan directamente en el montaje final del edificio (por las razones de rendimiento descritas), sino que se produce una versión “explotada” de las mismas (enlazando y desagrupando los vínculos contenidos), la cual es vinculada a su vez en el modelo de edificio para componer la manzana. Este sistema nos va a permitir actualizar los cambios en apartamentos con facilidad en la sección con vínculos, de la cual habrá que generar con cada actualización una versión sin vínculos, proceso que debe ser manual al no existir en la API de REVIT ninguna forma de acceder a este comando.




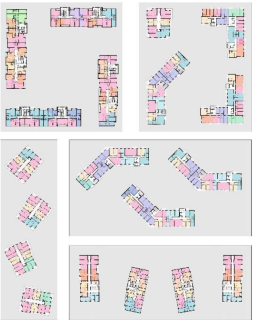
Como explicamos anteriormente, el cambio de espesor de los paneles estructurales verticales interiores da como consecuencia variantes de cada sección según la planta en que se encuentren. Decidimos no

incorporar esta variación desde los apartamentos, y mantener todos los modelos en base al espesor más bajo, y a partir del modelo “explotado” de sección generar las variantes necesarias mediante programación, proceso en el cual se identificarán de forma única los componentes que resulten diferentes debido a los cambios de espesor. Esta automatización nos permitirá también incorporar a los elementos contenidos en la sección los valores de parámetros que necesitemos para, por ejemplo, identificar su pertenencia a una sección determinada.

Debido a la incertidumbre en los encuentros entre apartamentos y entre secciones, y a la variedad de casuísticas, los elementos límite en contacto con otros modelos (muros medianeros, fachadas y losas laterales) se modelan siempre en el nivel superior de anidación, donde el encuentro es conocido. Así, por ejemplo, los elementos límite de apartamentos se modelarán en las secciones, y los elementos límite de secciones se deben modelar a nivel de edificio.

La fachada se modela como un muro cortina con la modulación necesaria para generar el diseño de paneles según las reglas de estilo. La identificación de los paneles estructurales de fachada a los que se les incorpora en fábrica esta decoración, se hace a través de una automatización posterior.

Tabla 1. Estrategia de modelado del producto residencial diseñado por Citythinking SL

Viviendas tipo	Secciones tipo	Secciones finales	Edificios en manzana
 <p>Viviendas modeladas como archivos independientes, usando el catálogo de elementos.</p>	 <p>Combinación de viviendas por portal (“sección”), como archivos vinculados.</p>	 <p>Todos los elementos en proyecto (sin vínculos ni grupos). Mediante programación (DYNAMO), se generan las diferentes variantes según distintos espesores de muro, y se añade la información necesaria.</p>	 <p>Vinculación automática de las secciones anteriores en archivos de edificio por manzana, según instrucciones exportadas de PSA (identificación, posición, orientación y altura de cada sección).</p>

4.2. Estrategia de modelado a nivel de elementos: flujo de creación y actualización

Buscamos soluciones para generar muros, plataformas y baños como elementos prefabricados, identificables de forma unívoca en cualquiera de los edificios donde se haga uso de ellos. Necesitamos elementos individuales complejos, con posibilidad de estar compuestos de varios elementos, y que puedan caracterizarse de forma única. Se requiere también que cualquier modificación en el elemento se produzca en un único lugar, y pueda ser actualizado en todas sus instancias en todos los modelos.

El análisis de cómo afrontar el modelado de los elementos únicos de fábrica, a partir del estado del arte de las herramientas, se basó en los siguientes criterios:

- Usabilidad: Facilidad de uso, inmediatez de la solución, número de operaciones necesarias para su definición.
- Rendimiento: Consumo de recursos, tamaño del archivo, actualización del modelo.
- Funcionalidad: Delimitación de habitación, etiquetado, comportamiento y personalización gráfica.
- Automatización: Procesos que podrían ser automatizados, repetitividad y escalabilidad de tareas.
- Seguridad: Protección del “know-how”.

El estado del arte de las herramientas (en el momento de estudio: Revit 2020) nos arroja las siguientes opciones (se indican los principales inconvenientes encontrados tras las pruebas):

- **Familias de sistema:**
 - Grupos: Dificultad de actualización masiva en diferentes archivos.
 - Montajes: Dificultad de actualización masiva en diferentes archivos.
 - Vínculos: Problemas de rendimiento. No permite conexiones MEP externas. No podemos asignar valores a sus componentes. Dificultad de representación y etiquetado.
 - Muros cortina / Cristalera inclinada: Requiere un número elevado de operaciones para definir el elemento y fijar los encuentros. La identificación depende de parámetros de ejemplar (dimensiones de panel), lo que dificulta su identificación y actualización de forma masiva en diferentes archivos.
- **Familias cargables:**
 - Modelo genérico: No delimita habitación. Cortable. Une geometría. Etiquetable.
 - Muebles de obra: No delimita habitación. Cortable. No une geometría. Etiquetable.
 - Pilares (arquitectónicos): Delimita habitación. Cortable. Une geometría. No etiquetable.
 - Pilares estructurales: Delimitan habitación. Cortable. Une geometría. Etiquetable. Similitud funcional con muros estructurales.
 - Armazón estructural: No delimita habitación. Cortable. Une geometría. Etiquetable. Similitud funcional con placas.
 - Equipos especializados: No delimita habitación. No cortable. No une geometría. Etiquetable. Similitud funcional con baños industrializados.
 - Aparatos sanitarios: No delimita habitación. No cortable. No une geometría. Etiquetable. Similitud funcional con baños industrializados.
 - “Familias de sistema cargables”: Basadas en un “truco” o procedimiento no oficial. Incertidumbre de estabilidad.

Finalmente se consideran las familias cargables como la opción con más ventajas, ya que principalmente nos permite la actualización de forma masiva en diferentes archivos. Se generarán familias “base” paramétricas que serán codificadas en tipos para cada componente único. Esta codificación se realiza en GOOGLE SHEETS, de donde se extraerán los catálogos de tipo, que serán usados para generar los elementos a partir de las familias base. Sólo se codifican los elementos verticales de menor espesor, ya que las variantes de espesor superior se generan y codifican mediante programación. Las familias desarrolladas finalmente para cada gama de componentes son:

- Paneles verticales estructurales: Se generan 3 familias de base, según el número de huecos (sin huecos, con un hueco y con 2 huecos), a partir de la plantilla de “Pilar estructural”. Permite delimitar o no habitaciones, incluso conseguimos colocar huecos de paso con opción de que dicho hueco limite o no habitaciones. Puede anidar otras familias, como conexiones MEP, para un uso limitado.
- Placas horizontales de forjado: Se generan 3 familias de base, según el número de huecos (sin huecos, con un hueco y con 2 huecos), a partir de la plantilla de “Armazón estructural”. Puede anidar igualmente otras familias.
- Baños prefabricados: Se genera una familia por cada diseño, a partir de la plantilla de “Pilar estructural”. Goza de las mismas ventajas que en su uso para paneles estructurales, de forma que en proyecto sus paredes pueden delimitar un recinto de habitación sin necesidad de líneas de separación de habitación. En el caso de las conexiones MEP, solo se tienen en cuenta las conexiones externas, ya que todo el baño funciona como un único equipo de consumo.

4.3. Automatizaciones

Las automatizaciones para REVIT se han desarrollado en DYNAMO, y pueden dividirse principalmente en:

- Rutinas para modelado:
 - Generación de variantes de secciones por cambio en espesores de muro.
 - Actualización y recarga en lote de familias.
 - Recarga en lote de modelos.
 - Montaje automático de secciones de vivienda en la manzana.
- Rutinas para la obtención de entregables:
 - Generación automática de vistas de exportación.
 - Generación automática de planos y cajetines.
 - Nombrado automático de rejillas.
- Rutinas de fachada:
 - Relacionar los paneles estructurales con su acabado exterior.

4.4. Conexión con plataforma PSA

Al trabajar con contornos en formato DXF, podemos extraer de PSA un archivo de texto donde se codifica la ubicación y orientación de cada sección respecto del sistema de coordenadas particular de cada manzana, así como las plantas de altura para cada sección.

Esto nos permite montar de forma automatizada en un fichero el modelo de plantas tipo, el cual se puede combinar con las plantas baja, sótano y cubiertas (modeladas de forma “tradicional”) para completar el edificio de manzana.

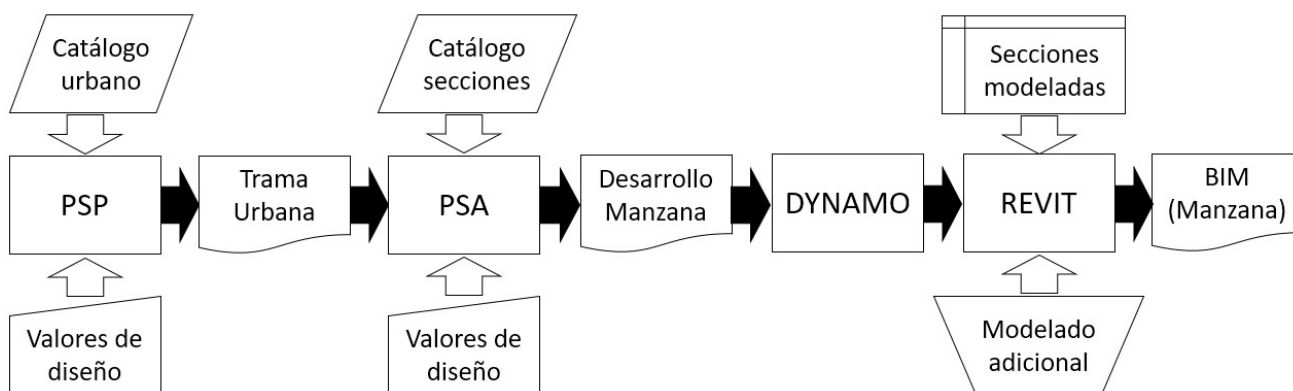


Fig. 3 Proceso de desarrollo de la solución

4.5. Proyectos piloto y conclusiones

Aunque el sistema se valida con los proyectos piloto generados, y pese a que conseguimos montar de forma automática el modelo de plantas tipo con solo ejecutar un script a partir de la exportación de datos obtenida de PSA, constatamos que el modelo debe ser completado manualmente, pues se requiere añadir los elementos particulares que resuelven los encuentros entre secciones. Aun siendo elementos del catálogo de muros y losas prefabricados, no existe una solución estandarizada según la casuística (actualmente demasiado abierta) que nos permita automatizar su solución.

No obstante, el sistema es válido para cumplir con los objetivos propuestos en esta primera fase de desarrollo y puede ser aplicado a casos reales con expectativas de optimización de procesos y valor añadido.

5. Aplicación práctica a un caso real

El sistema ha sido aplicado con éxito en un proyecto cuyos principales datos aproximados se indican a continuación:

- Ubicación: Moscú, Rusia (Bitsa, Lyubertsy y Molzhaninovo)
- Número total de manzanas residenciales desarrolladas en BIM: 6
- Número máximo de plantas: 24
- Fase de proyecto: Schematic Design
- Superficie construida total (edificio completo): 433.603 m²
- Superficie construida total (plantas de vivienda): 285.315 m²
- Número de viviendas: 6.794

6. Conclusiones y futuros desarrollos

Se ha desarrollado un sistema experto que permite, desde plataformas digitales paramétricas y algorítmicas, diseñar soluciones urbanas en grandes extensiones de ciudad, y obtener de forma semiautomatizada los modelos finales edificatorios que llegan al detalle del despiece para fabricación.

Todo el sistema se basa en soluciones de catálogo diseñadas específicamente para cumplir los requisitos locales, del cliente y de fabricación.

Pese al trabajo exhaustivo de estandarización de soluciones “tipo” por parte del equipo de diseño arquitectónico, la casuística de encuentros particulares entre ellos a nivel de edificio es elevada (medianerías y elementos de fachada colindantes), lo que se evitaría con un catálogo de soluciones estandarizadas de encuentros previsto. Esto limita la automatización completa del modelo.

Pese al desarrollo de la tecnología, la capacidad humana de estandarización del diseño sigue siendo determinante en el impacto sobre la posibilidad de industrialización de soluciones. No obstante, intuimos que la inclusión de mecanismos de Inteligencia Artificial y *Machine Learning* en el proceso de diseño puede facilitar la toma de decisiones, especialmente en la obtención de repeticiones de uso de elementos para minimizar el número de elementos necesarios. El impacto de la estrategia de diseño inicial es crítico en las posibilidades de estandarización, repetición, reutilización de componentes y prefabricación de elementos limitados.

El estado del arte de la herramienta utilizada no nos permite de forma nativa generar piezas apriorísticas con las características que serían deseables, ya que deberían ser elementos de la categoría correcta (muros, suelos, equipos especializados) que funcionaran como tal categoría pero con las ventajas de las familias cargables (anidación de otros elementos, definición única e independiente, repetición, reutilización y actualización).

En cuanto a la ayuda en la producción del proyecto, en todos los casos se aprecia un importante aumento de la productividad en la extracción de documentación basada en el modelo, en comparación con el desarrollo previo mediante CAD tradicional.

Finalmente, un elemento importante de distorsión en los esfuerzos de estandarización durante el desarrollo del proyecto ha sido el continuo desajuste que ha provocado el diseño de las instalaciones, generadas por un equipo local (Rusia) de forma deslocalizada. La experiencia nos ha demostrado que, así como la estructura ha sido incorporada desde el principio en la conceptualización de los estándares tipológicos, las instalaciones deben ser también pensadas conjuntamente con los tipos arquitectónicos y las reglas de configuración, pues suponen interferencias en el proyecto que pueden desmantelar la estandarización prevista.

En el momento de la publicación de este artículo, el desarrollo de Citythinking que en él se presenta, ha resultado en una herramienta en la nube.

Referencias

DAVIS, S. (1987). *Future Perfect*. New York: Addison Wesley Longman Publishing Co.

FERNÁNDEZ ORDOÑEZ, J.A. et al. (1972). *Arquitectura y represión. (Seminario de prefabricación)*. Madrid: Edicusa

RUEDA PALENZUELA, S. et al. (2015) *Certificación del Urbanismo Ecosistémico*. Barcelona: Agencia de Ecología Urbana de Barcelona y Ministerio de Fomento, Gobierno de España.

<http://www.bcneecologia.net/sites/default/files/publicaciones/docs/certificacion_del_urbanismo_ecologico.pdf> [Consulta: Enero de 2021]

World Urbanization Prospects 2018: Highlights (2019). New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division

<<https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Highlights.pdf>> [Consulta: Enero de 2021]

Software/Plataforma

ARCGIS URBAN, ESRI España Soluciones Geoespaciales, S.L.

<<https://www.esri.es/es-es/arcgis/productos/arcgis-urban0/arcgis-urban/>> [Consulta: Enero de 2021]

ARCHITECTURES, SmartScapes Studio S.L.

<<https://architectures.com/>> [Consulta: Enero de 2021]

CITYCAD, Holistic City Ltd.

<<https://www.holisticcity.co.uk/services/citycad/>> [Consulta: Enero de 2021]

DELVE, Sidewalk Labs, LLC.

<<https://www.sidewalklabs.com/products/delve/>> [Consulta: Enero de 2021]

DYNAMO, Autodesk, Inc.

GIRAFFE, Giraffe Technology Pty Ltd.

<<https://www.giraffe.build/>> [Consulta: Enero de 2021]

GOOGLE SHEETS, Google, LLC.

ISO 1006:1983. *Building construction — Modular coordination — Basic module*. Ginebra: International Organization For Standardization.

MODELUR, AgiliCity d.o.o.

<<https://modelur.com/>> [Consulta: Enero de 2021]

NEIGHBOURLYTICS, Neighbourlytics Pty Ltd.

<<https://neighbourlytics.com/>> [Consulta: Enero de 2021]

PRISM, Bryden Wood Technology Ltd.

<<https://prism-app.io/>> [Consulta: Enero de 2021]

REVIT, Autodesk, Inc.

SMARTWORLDPRO2, Cityzenith.

<<https://cityzenith.com/smartworldpro-2/smartworldpro>> [Consulta: Enero de 2021]

<<https://www.spacemakerai.com/>> [Consulta: Enero de 2021]

THE BRIEF, The Brief Team.

<<https://www.thebrief.space/>> [Consulta: Enero de 2021]

URBANO, Environmental Systems Lab, Timur Dogan (College of Engineering at Cornell University)

<<https://urbano.io/>> [Consulta: Enero de 2021]



AUTOMATIZACION DEL MODELADO BIM A PARTIR DE INFORMACION ESTRUCTURADA Y PARAMETRIZADA DE UN EDIFICIO

Bustinza Esparta, Jorge ^a, Bellido Peña, Alvaro ^b

^a SENER BIM Office - jorge.bustinza@sener.es, ^b SENER Arquitectura - alvaro.bellido@sener.es

Abstract

This abstract presents a methodology and a tool for the automation of building modeling in Revit based on a parameterization of the geometry and the information associated with all the construction elements that define this building. From this parameterized information it is reached all the documents of a preliminary design immediately, both drawings and measurements.

In SENER, families, types, parameters and values of the system and loadable families used in our projects have been standardized. These families contain only geometry and there are databases that manage them to feed them with information.

In each automated building, both its geometry and the constructive elements that compose it have been parameterized, both for geometric modeling and for obtaining the usual documents of a preliminary design. The geometric model is a schematic drawn in plan in dwg, with strict criteria to define entities and dimensions. The definition tables of the construction elements are developed in xlsx sheets.

The tool reads the geometric and information data, and automatically generates the BIM model in Revit. The tool is specified in a plugin for Revit, in a WPF environment, developed in Visual Studio with C #

Keywords: *parametric generative design automation plugin modeling WPF C # standardization*

Resumen

Esta comunicación presenta una metodología y una herramienta para la automatización del modelado de edificios en Revit a partir de la parametrización de su geometría y la información asociada a todos los elementos constructivos que los definen. A partir de esta información parametrizada se obtienen todos los documentos del proyecto básico de modo inmediato, tanto planos como mediciones.

En SENER se han estandarizado familias, tipos, parámetros y valores de las familias de sistema y cargables utilizadas en nuestros proyectos. Estas familias contienen solamente geometría y existen unas bases de datos de información que las gestionan para nutrirlas de información

En cada edificio automatizado se ha parametrizado tanto su geometría como los elementos constructivos que lo componen, tanto para el modelado geométrico como para la obtención de los documentos usuales de un proyecto básico. El modelo geométrico es un esquemático trazado en planta, con criterios estrictos para definir entidades y dimensiones. La definición de los elementos constructivos asociados se desarrollan en tablas.

La herramienta lee los datos geométricos y de información, y genera de modo automático el modelo BIM en Revit. La herramienta se concreta en un plugin para Revit, en un entorno WPF C#, desarrollado en Visual Studio.

Palabras clave *diseño generativo paramétrico automatización plugin modelado WPF C# estandarización*

1. Introducción

Esta comunicación expone un desarrollo interno de SENER realizado por la BIM Office y la disciplina de Arquitectura. El tema expuesto trata sobre la modelación automática de proyectos de edificios en BIM y la obtención de los planos y documentos de un proyecto básico a partir de la información parametrizada de dicho proyecto.

Este objetivo fue propuesto como desarrollo interno para la elaboración semiautomática de proyectos básicos de aquellos edificios de poco valor añadido en las “Instalaciones de Mantenimiento” (Depot) de proyectos ferroviarios.

Estos edificios responden a unas necesidades muy concretas y repetitivas, con escasas variaciones de programa. Sus soluciones constructivas y materiales dependen de la ubicación y de la demanda de nuestros clientes. Son edificios de poco interés arquitectónico, muy funcionales, pero que en la redacción de cada proyecto consumen un número de horas elevado.

Se propuso la posibilidad de automatizar el desarrollo de un proyecto a partir de unos datos iniciales hasta la obtención de los documentos de proyecto básico, con la mínima labor de modelación por parte de delineación. Se busca el “botón único” capaz de generar un proyecto de modo automático. Este planteamiento, si bien es controvertido, presenta un horizonte hacia el que avanzar.

La metodología que exponemos se ha concretado en pequeños edificios, pero es susceptible de ser escalable a otras tipologías más ambiciosas.

1.1. Experiencia previa BIM en SENER

Antes de exponer el desarrollo en sí, queremos situar la labor que en SENER hemos desarrollado en estos años en el ámbito de la implantación BIM en los procesos de diseño.

Asimismo, la BIM Office de SENER ha realizado varios procesos de implantación BIM en relevantes empresas nacionales e internacionales, empezando por nuestra propia ingeniería y sus filiales.

La experiencia adquirida en estas implantaciones es el marco en el que han surgido las ideas, métodos y aplicaciones que se concretan en la metodología y las herramientas que se exponen.

Nuestra experiencia en la disciplina de Arquitectura se centra en obras puntuales, principalmente edificios, pero la BIM Office apoya también a departamentos de SENER en la integración BIM en obras de tipo lineal, tipo ferrocarril o carreteras.

Con las herramientas BIM buscamos como objetivos una mejora de calidad de proyectos que se traduzca en mayor control, máxima precisión y ahorro de tiempo y de costes.

Obviamente estos objetivos requieren un máximo conocimiento de las herramientas BIM por nuestros equipos. Pero más importante es una exhaustiva labor de estandarización y parametrización de los elementos constructivos que se usen en los proyectos tanto de arquitectura, estructuras o MEP.

En esta comunicación hablaremos de Revit, puesto que este es el programa BIM que se utiliza en SENER Arquitectura, pero el método subyacente es válido para cualquier programa. El corazón de la propuesta es la gestión de información que se recoge en automatismos que generan modelos en Revit, pero podrían hacerlo en otros programas.

Comencemos con una anécdota ilustrativa.

En SENER, tras ya diez años utilizando varios programas BIM, y usando de modo intensivo Revit para la generación de modelos en complejos proyectos de arquitectura se podía considerar que sus modeladores, ingenieros y arquitectos eran unos buenos conocedores de la herramienta.

Pero la velocidad de los propios proyectos, los múltiples cambios que eran requeridos por el cliente, y otras causas diversas, inducía a pensar que la estructura de información interna de los modelos BIM tenía discrepancias. El ejemplo más palmario es el caso del nombre de familias parecido pero no igual, y

haciendo referencia al mismo objeto, en diversas versiones del proyecto llevado a cabo por usuarios diversos.

Para abordar el problema, realizamos un análisis de una línea de metro terminada, en la que se había desarrollado el proyecto de varias estaciones, cada una de ellas un edificio en sí, realizados por equipos diferentes de arquitectos, pero que debían tener mismos acabados y soluciones constructivas.

Se desarrolló un plugin en Revit para extraer la información relevante de cada uno de estos proyectos para realizar una comparación. Vaya por delante que todos los planos y documentos de proyecto obtenidos eran coherentes, parecidos y sin discrepancias constructivas. Pero un análisis en profundidad de familias, tipos, parámetros y valores de familias que debían ser iguales en todos los proyectos nos hizo darnos cuenta de que existía demasiada diversidad.

Si bien la labor de los diferentes BIM Managers había logrado que el proyecto llegase a buen puerto, la conclusión es que la gestión interna de la información de un proyecto debía ser más rigurosa. Las primeras conclusiones fueron:

- que debía existir una macroestructura de información externa que estuviese por encima de los modelos BIM de un proyecto, la llamaremos DATA,
- que esta data debía prevalecer sobre cualquier información concreta que existiese en los modelos BIM,
- y que los modelos debían ser chequeados contra esta DATA.

Por tanto, se plantearon unos objetivos:

- Discernir en un proyecto qué es información gráfica que necesariamente debe estar en el modelo BIM, de aquella información que deba estar externa en bases de datos, que llamaremos Maestros.
- Desarrollar estos Maestros que contengan la información de los elementos constructivos.
- Desarrollar herramientas que vinculen, chequeen, controlen y modifiquen la información de los modelos comparada con la DATA.
- Dotar al modelo BIM (y sus elementos) de la mínima información para la obtención de los documentos de proyecto.
- Prevalecer siempre cualquier valor de las bases de datos externas respecto a una discrepancia hallada en los modelos BIM.
- Responsabilizar al BIM Manager del proyecto del flujo de información entre DATA y los modelos BIM.

Como consecuencia concreta:

- Un elemento BIM sólo es propietario de la información gráfica. El resto de la información que contenga para el desarrollo del proyecto está vinculada a la DATA externa. Ante una discrepancia de información entre el modelo BIM y la DATA siempre prevalece la segunda.

Los objetivos se tradujeron en unos pasos dados

- Procedimientos específicos de gestión de información en los proyectos.
- Desarrollo de Maestros de familias, tipos, parámetros y valores de tipo de elementos constructivos. Un elemento constructivo tiene información gráfica, y el resto de información, vía parámetros, tipos y valores está vinculada a las bases de datos.
- Desarrollo de Maestros para el control de información de habitaciones.
- Desarrollo de familias estandarizadas para cada elemento constructivo, sean como familias cargables (rfa) o tipos de sistema, que mediante herramientas se nutren de la información recogida en los Maestros.
- En las familias de Revit se halla exclusivamente la información gráfica y parámetros vinculados a esta geometría. El resto de información, tipos, parámetros, valores de tipo se halla en Maestros.
- Desarrollo de “plugins” de Revit que permitan:
 - o Modificación de familias y tipos de sistema según la información de la base de datos.
 - o Control de los valores de ejemplar de los elementos mediante “plugins” de entrada de datos.

- Herramientas de chequeo del estado de un modelo Revit contra los Maestros para la detección y corrección de discrepancias.

Esta metodología se implantó en nuestros proyectos y se ha constatado una mejora en la calidad interna de los documentos de proyecto desarrollados.

Este método es un pilar esencial en los procesos de implantación BIM llevados a cabo por SENER.

Si bien el elemento nuclear de este proceso es la familia de Revit, tanto la cargable como el tipo de sistema, se han desarrollado igualmente herramientas de gestión, control y chequeo de habitaciones, vistas, planos, tablas de planificación, etc.

Estas herramientas se han generado como WPF-C# integrados en Revit.

1.2. Casos de experiencias de generación automática de modelos arquitectónicos BIM.

Dado que este documento trata sobre la modelación automática BIM de proyectos arquitectónicos a partir de información parametrizada se han buscado casos semejantes.

Las búsquedas relativas a automatización y parametrización de diseño, nos llevan a diversas temáticas:

- Uso de las propias herramientas BIM y sus ventajas.
- Automatizaciones parciales con el uso de diferentes lenguajes de programación.
- Diseño paramétrico de diseño genérico.
- Diseño orientado a la industrialización, automatización de procesos constructivos.
- Propuestas metodológicas y teóricas, a veces vinculadas por sus autores con inteligencia artificial.
- Propuestas de diseño basadas en reglas y objetos paramétricos.

Nuestra propuesta encaja en este último grupo. Algunas experiencias de especial interés próximas a nuestro planteamiento son:

- Architectures. Es una herramienta web de diseño asistido para el sector residencial. A partir de datos paramétricos se genera un proyecto básico de un complejo residencial con diferentes tipologías de viviendas mediante la automatización de las reglas de composición, obteniendo finalmente un modelo BIM.
- Archilise. "Automation: The future of Architectural Design". Se plantea tanto una herramienta como una metodología.
- ETH Zurich. Department of Architecture. El conjunto de trabajos del profesor Anton Savov sobre diseño digital.
- Magnetizing. Propuesta de diseño generativo
- Architizer. Generación paramétrica de plantas de arquitectura.
- Aditazz. Diseño automático con objetos codificados y reglas.

2. Proceso Inverso

Este es el estado del arte interno de los procesos de modelado BIM en SENER, cuando desde Dirección se planteó a la BIM Office el siguiente problema y se solicitó plantear una metodología para resolverla:

- En proyectos de gran envergadura como puede ser las "Instalaciones de Mantenimiento" (Depot) de un proyecto ferroviario, hay un conjunto de pequeños edificios. Como en la introducción se ha adelantado, son de poco valor añadido, responden a necesidades concretas y repetitivas y con pocas variaciones de programa, con soluciones constructivas y materiales variables pero estándar.
- Sin embargo, el coste por plano de cada uno de estos proyectos resulta alto, dado que en cada nuevo proyecto se plantea el desarrollo prácticamente desde cero, con poco aprovechamiento de trabajos anteriores.
- El reto es buscar una metodología y unas herramientas para la modelación automática de estos edificios en BIM y la obtención de planos y documentos de proyecto básico a partir de una información básica de los mismos.

- A este reto se llamó “Proceso Inverso”. El planteamiento de dirección era claro: si se conocen los documentos que se necesita obtener, y hay una cierta repetición en las diversas soluciones, se plantea el proceso inverso:
 - o Debe buscarse la información nuclear necesaria para obtener el resultado.
 - o Debe procederse a estandarizar esta información de modo que responda a diversas casuísticas.
 - o Debe automatizarse el proceso de generación de los modelos y documentos a partir de la información previa.

Esta comunicación trata del trabajo realizado para lograr la estandarización de la información que define un proyecto y de las herramientas desarrolladas para la automatización del proceso.

2.1 Objetivo

El objetivo final es la generación automática de un modelo BIM que permita la obtención automática de unos documentos de proyecto básico, tanto planos como estado de mediciones. No se ha contemplado en este momento la generación del resto de documentación.

Este objetivo se plasma básicamente en dos retos:

- Definir la información que configura el proyecto.
- Desarrollo de las herramientas que generan el modelo BIM y los documentos.

2.2 Parametrización de la información del modelo.

La reflexión sobre cómo parametrizar la información de un proyecto nos lleva a la comprensión de que un proyecto puede ser entendido como una gran familia. Una familia donde son aplicables los principios que se han explicado en la introducción, que se resumen en tres pilares:

- Separación de gráficos y DATA
- Conexión con los Maestros de información
- Herramientas que controlan el flujo entre gráficos, DATA y modelos BIM.

Por ello se realiza una labor de escisión de la información en:

- Modelo gráfico:
 - o Contendrá la mínima información gráfica necesaria para definir el proyecto
- Modelo de DATA del proyecto, que contendrá:
 - o Definición de los elementos constructivos trazados en el modelo gráfico (muros, suelos, habitaciones, etc.)
 - o Elementos necesarios para la generación del modelo en Revit (niveles, vistas, planos...)
 - o Esta DATA estará vinculada a los Maestros de elementos constructivos.
- Maestros de elementos constructivos de SENER.
 - o Estas bases de datos están desarrolladas y en constante actualización según necesidades de los proyectos, contienen entre otra información:
 - Familias cargables y tipos de sistemas
 - Maestros de familias, tipos, parámetros y valores de tipo
 - Valores de ejemplar admisibles
 - Acabados y parámetros de habitaciones.

Esta información se debe concretar en el uso de unos determinados formatos, y aunque las opciones eran varias, se optó inicialmente por los siguientes entornos:

- Modelo gráfico:

- El modelo gráfico básico se genera en dwg, como un esquema de dos dimensiones, con el trazado de una planta del edificio. En el modelo que se muestra se visualiza el caso de una única planta, pero el modelo acepta diferentes niveles.
 - Se utilizan convenios de color, capa, tipo de línea o bloque para sintetizar esquemáticamente toda la información gráfica que sea necesaria precisar.
- Modelo de información:
 - Las plantillas iniciales se generan en tablas xls/x que contienen toda la información del proyecto vinculada a los elementos del modelo: niveles, capas, vistas, planos.
 - Definición de los elementos constructivos asociados a los elementos del esquema dwg.
 - La herramienta gestiona esta información y los cambios realizados se almacenan en formato json.
 - Maestros
 - Las bases de datos de elementos constructivos se hallan en diferentes formatos. Tanto tablas SQL, xls/x, rfa, plantillas rvt, etc.

3. Desarrollo

Para ilustrar esquemáticamente este desarrollo en esta comunicación se presenta un modelo básico de una Caseta de Guardia de una "Instalación de Mantenimiento" (Depot) de un proyecto de metro. Se muestran sucintamente algunas imágenes de los elementos antes indicados:

3.1 Modelo Gráfico

El modelo gráfico es un esquema que esquemáticamente define los elementos constructivos en planta que definen el proyecto. Así se definirán entre otros:

- Muros exteriores e interiores.
- Huecos, diferenciando puertas de ventanas.
- Rotulación de habitaciones.
- Posición de elementos como pilares, sanitarios, muebles, etc.
- Secciones
- Vectores de vistas 3D
- Líneas de acotación.

Se utilizan criterios con la nomenclatura de capas, colores, bloques, formas para dotar de información implícita al modelo que será interpretada por la herramienta.

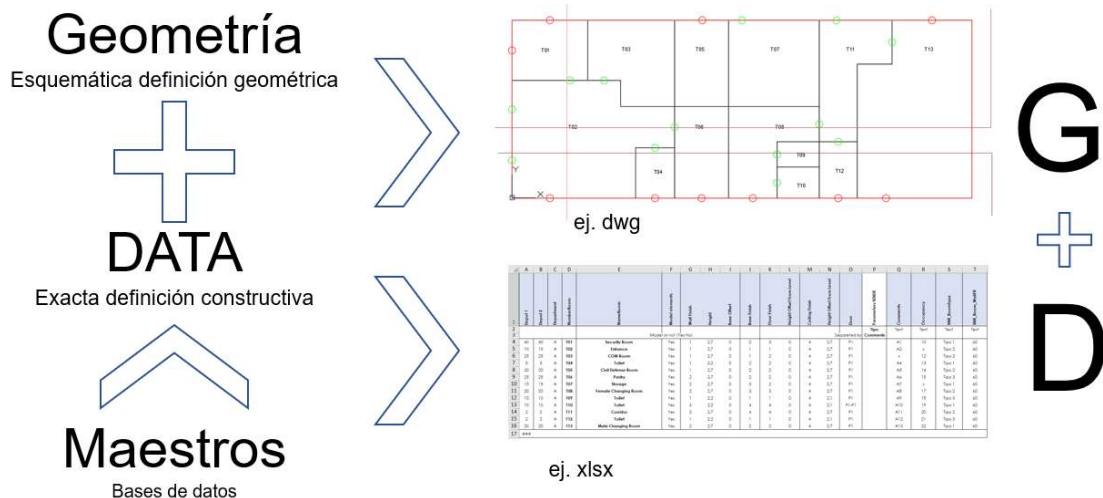


Fig. 1 Geometría más Data. Fuente: Propio(2021)

3.2 DATA

La DATA del proyecto estará vinculada tanto al modelo gráfico como a los Maestros. Será rellenada por un arquitecto que defina punto a punto cada uno de los elementos necesarios.

La herramienta dota de un asistente para ayudar al usuario en el proceso de generación y carga de información. Así como de chequeo para indicarle tanto la información que falta como las inconsistencias que se detecten.

Alguna de la información que debe rellenarse es:

- Niveles y vistas.
- Muros, suelos, falsos techos y cubiertas.
- Puertas y ventanas.
- Acabados, materiales.
- Habitaciones y acabados.
- Secciones, vistas3D
- Planos

Por poner un ejemplo, la definición de los muros interiores de una habitación son distintos del muro exterior, y dos habitaciones contiguas pueden tener muros diferentes. Por tanto, además de definir esos muros según las tipologías que se encuentren en el Maestro, se deberá estipular un parámetro que defina la prioridad de una habitación respecto a otros, por ejemplo, será prioritario que una habitación que deba tener un muro RF, tendrá prevalencia respecto a la habitación contigua que no lo tenga.

Otro ejemplo es la separación en concepto del muro de acabado exterior (por ejemplo, un SATE), del muro portante (por ejemplo una doble hoja), de los muros que definan el acabado de una habitación (por ejemplo un alicatado).

Es extenso relatar las consideraciones de proyecto que en el proceso de solución se han debido parametrizar. Siempre ha habido diferentes puntos de vista, y la solución adoptada en cada caso, podrá ser discutible pero es operativa, y revisable a futuro.

3.3 Desarrollo de la herramienta

La herramienta se ha concebido en varias etapas:

- Procesado de la DATA inicial.
- Procesado de la plantilla inicial de Revit.
- Generación del modelo BIM.
- Gestión de habitaciones y modelado de acabados interiores.
- Generación de los documentos de proyecto, planos y mediciones.

Como se muestra en la figura 2 la herramienta se muestra al usuario como parte de un menú propio de SENER en el interfaz de Revit, concretándose en una serie de ventanas integradas.

Se ha desarrollado en Visual Studio, en lenguaje C#, utilizando el formato WPF, que permite la funcionalidad de integrar como ventanas "docables" en el interfaz de Revit.

Si bien el proceso se podría haber planteado como un único botón que generase toda la solución, se ha optado por desarrollar el proceso por etapas, que el usuario debe ir dando. Esto permite controlar errores en el proceso que pueden ser subsanados manualmente.

Como Api se ha utilizado la de la versión 2022 que por ejemplo incorpora la opción de generar falsos techos de modo automático.

Una de las razones paralelas para haber planteado el desarrollo como un conjunto de pasos, es porque han permitido visualizar funcionalidades que en sí mismas son aplicables para otros proyectos con las necesarias adaptaciones.

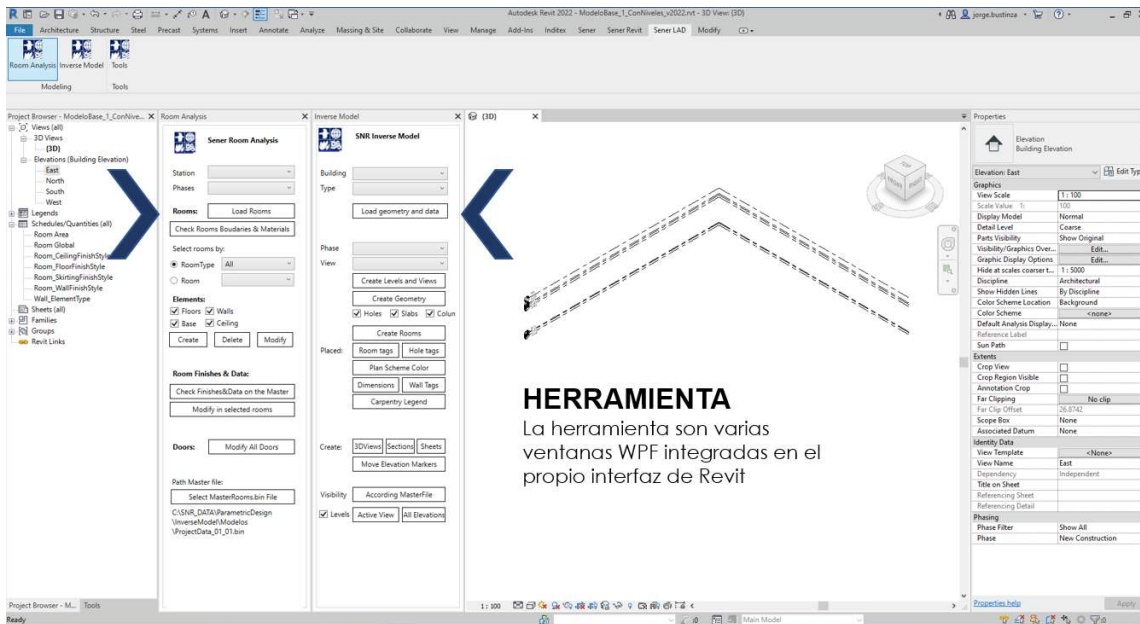


Fig. 2 Interfaz del desarrollo. Fuente: Propio(2021)

3.3.1 Procesado de DATA

Este módulo está concebido para el arquitecto que debe nutrir al modelo de información, según la información concreta de cada proyecto y en consonancia con el modelo dwg que haya generado.

El desarrollo parte de unas plantillas de información básica, pero que deben adaptarse a cada caso concreto. Inicialmente las plantillas de inicio se generan como archivos xlsx, pero una vez que se inicia la aplicación y se realizan adaptaciones al modelo concreto, los archivos intermedios se guardan en formato json.

3.3.2 Procesado de la plantilla inicial

En función de los elementos constructivos que se hayan utilizado en la DATA, se procede a cargar de modo automático esos elementos en la plantilla inicial de Revit:

- Familias cargables (puertas y ventanas, pilares, sanitarios, mobiliario...)
- Tipos de sistema (muros, suelos, falsos techos...)
- Plantillas de diseño de vista
- Etiquetas

3.3.3 Generación del modelo BIM

La generación del modelo BIM se realiza en varias fases:

- Generación de la envolvente:
 - o Muros exteriores e interiores.
 - o Piel exterior
 - o Losas, tanto suelos como cubiertas
 - o Elementos de estructura como pilares
- Carga de datos a las habitaciones y generación de tablas de acabados
- Generación de elementos constructivos de acabados:
 - o Muros de acabado de pared (alicatados, pintura...)
 - o Suelos que indican el acabado (terrazo, madera...)

o Falsos techos

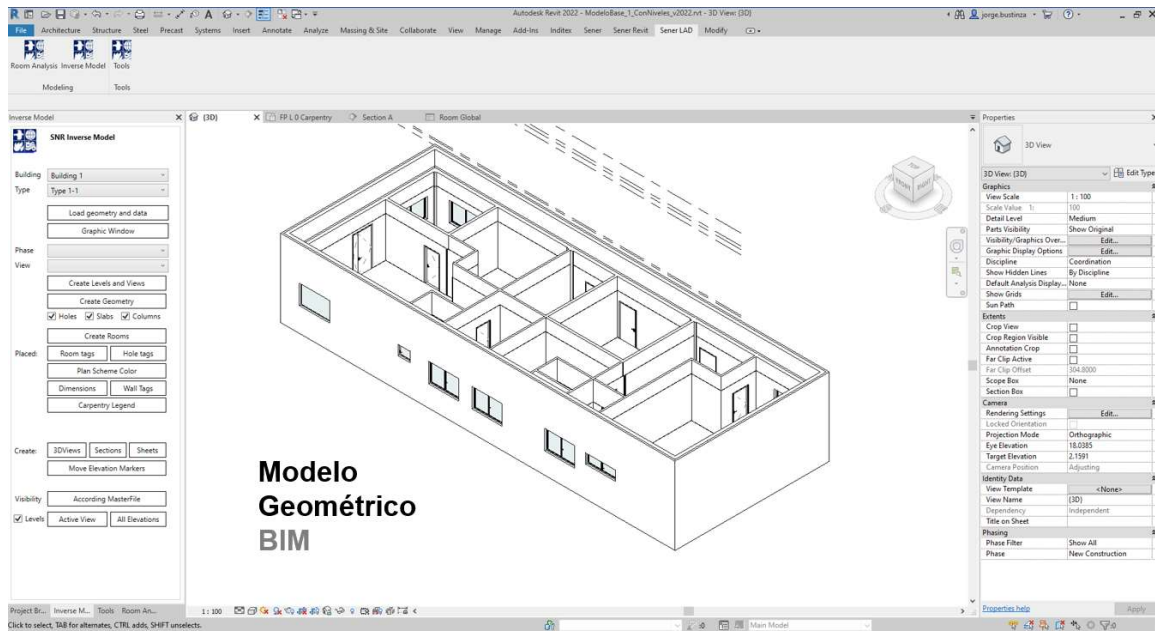


Fig. 3 Modelo BIM generado automáticamente. Fuente: Propio(2021)

3.3.4 Generación de documentos de proyecto

Una vez que el modelo BIM se ha generado y se ha nutrido de información a los elementos constructivos, la herramienta procede a generar las vistas realizando previamente entre otras:

- Generación de secciones y vistas 3D
- Generación de cotas
- Etiquetado de habitaciones, muros, huecos, etc.
- Generación de leyenda de carpinterías con sus vistas asociadas.
- Generación de planos a partir de las vistas generadas previamente.

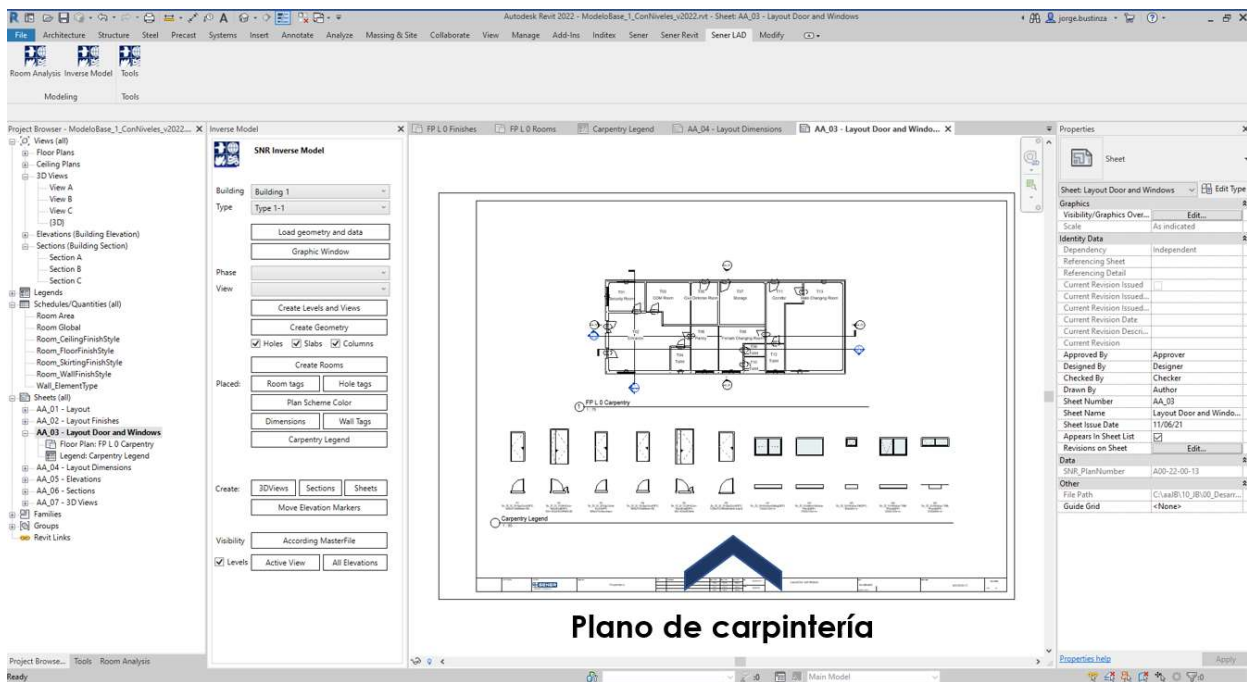


Fig. 4 Plano de carpinterías. Fuente: Propio(2021)

3.3.5 Obtención de mediciones

La obtención de mediciones se realiza de modo automático por dos vías alternativas:

- Desarrollo propio de obtención de mediciones (BC3)
- Cost-It de Presto

4. Conclusiones

Se ha planteado una metodología y una herramienta que permite la automatización del proceso de generación de un modelo BIM y los documentos de un proyecto básico a partir de una información previa, estructurada y parametrizada.

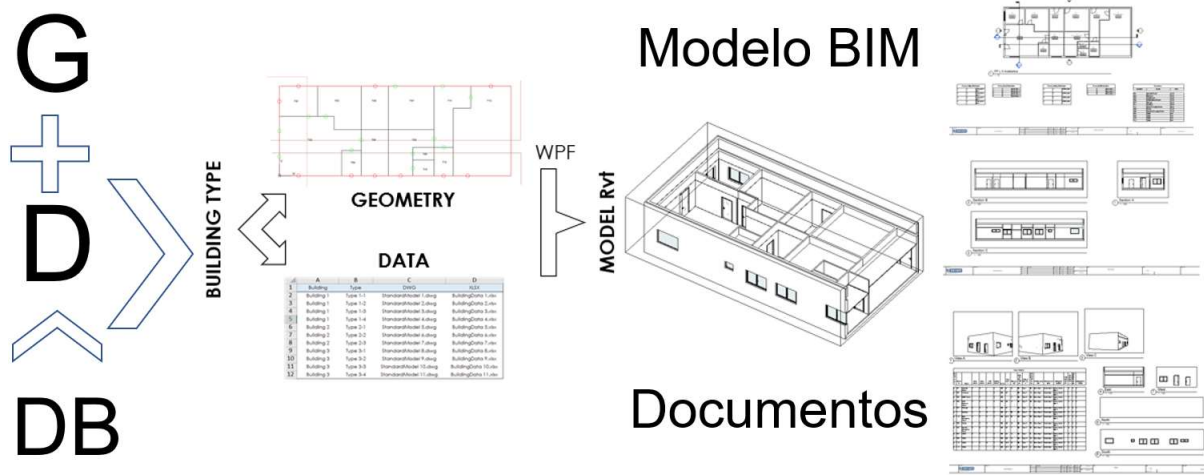


Fig. 5 Modelo BIM y documentos generado automáticamente. Fuente: Propio(2021)

La automatización conlleva la separación de la información gráfica del proyecto (G: Geometría), de cualquier otro tipo de información (D: DATA) que sea susceptible de ser parametrizada.

Los Maestros de datos (DB: Bases de datos) son esenciales en el proceso de generación de la DATA del proyecto.

El método planteado ha sido enfocado en pequeños edificios de planta baja, pero es susceptible de ser escalado a edificios de mayor volumen de varios niveles.

La metodología expuesta se ha testado y está orientada a proyectos básicos de arquitectura, pero se está analizando su implementación en otras disciplinas como estructuras o MEP.

El ahorro de tiempo en la generación del proyecto básico es evidente, y necesita de la participación final de delineación para terminar documentos.

Respecto al interfaz de usuario, se confirma la adecuación de la opción WPF-C#-DLL integrada en el entorno Revit, frente a otras vías como el uso de programación gráfica.

Finalmente transmitir el agradecimiento a los usuarios de internet que dedican su tiempo a dar respuesta a preguntas sobre el uso de la API de Revit en múltiples foros. Siempre que se ha planteado una pregunta, la consulta en Google <API Revit tema de la consulta> ha abierto puertas para hallar la solución. No siempre ha sido fácil ni directa, pero se ha encontrado a alguien que se ha planteado ese problema y ha brindado la solución. Gracias a estos usuarios, "quid pro quo", también se ha ayudado a otros.

Referencias

HIMMELREICH, K. (2020). *Más allá de Dynamo*. Madrid

THE BUILDING CODER Online. < <https://thebuildingcoder.typepad.com> > @jeremytammik [Consulta: 2020-21]

ARCHITECTURES. Online. < <https://architectures.com> >

ARCHILISE. Online. < <https://www.archilyse.com/product/automated-pre-check-in-architecture-competitions/> >

ARCHITIZER. Online < <https://architizer.com/blog/inspiration/industry/finch-automatic-plan-generator>>

ADITAZZ. Online < <https://www.aditazz.com/applications/building-design-automation/>>

Anton Savov. Online. < <https://www.researchgate.net/profile/Anton-Savov>>

Magnetizing. Online. < <https://www.food4rhino.com/en/app/magnetizing-floor-plan-generator>>

Revit API Docs Online. < <https://www.revitapidocs.com>> [Consulta: 2020-21]

Forums Autodesk *Online*. < <https://forums.autodesk.com/>> [Consulta: 2020-21]



FABRICACIÓN BIM DE VIVIENDAS MODULARES AMPLIABLES EN CLT “MINIMAL HAUS” DE METRO7

Lostao-Chueca, Diego^a; Agustín-Hernández, Luis^b y Sancho-Mir, Miguel^c

^aBIM Facilitator en Metro7, doctorando en el Departamento de Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, dlostao@unizar.es ^{bc}Área de Expresión Gráfica Arquitectónica del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, lagustin@unizar.es – misanmi@unizar.es

Abstract

The AEC (Architecture, Engineering and Construction) sector is immersed in an inevitable advance, towards the industrialization of the construction process activated, to a large extent, by the technification of works, at the office and on-site.

The objective of the communication is to study the application of the BIM methodology in an industrialized modular project, using the advantages offered by current materials such as CLT (Cross Laminated Timber). The research carried out consists of the design process of the different housing modules (Pods) and their connection pieces (Plugs). Achieving, from Estudio Metro7, an architectural product completely finished in the workshop, which is expandable, has high quality standards and can be transported without exceptional attendances.

The result has been the obtaining of models generated with a high level of development that function as digital twins of each Pod/Plug for sale. By designing each module with real constructive parts, it has contributed to the extraction of such valuable information from the models such as: the material cost or the location of conflictive points during the assembly phase; these models facilitate the feasibility study of the final product.

Keywords: Metro7, Industrialization, Modules, Manufacturing, CLT, Pod, Plug, Construction4.0, DigitalTwin, Costs.

Resumen

El sector AEC (Architecture, Engineering and Construction) se encuentra inmerso en un inevitable avance hacia la industrialización del proceso constructivo; activado, en gran medida, por la tecnificación de los trabajos, tanto de oficina como a pie de obra.

El objetivo de la comunicación es estudiar la aplicación de la metodología BIM en un proyecto modular industrializado, aprovechando las ventajas que ofrecen materiales actuales como el CLT (Cross Laminated Timber). La investigación realizada consiste en el proceso de diseño de los diferentes módulos habitacionales (Pods) y sus piezas de conexión (Plugs). Consiguiendo así, desde el Estudio Metro7, un producto arquitectónico completamente terminado en taller, que sea ampliable, cuente con estándares de alta calidad y que pueda transportarse sin medidas excepcionales.

El resultado ha sido la obtención de modelos generados con un alto nivel de desarrollo que funcionan como gemelos digitales de cada Pod/Plug en venta. Diseñando cada módulo con piezas constructivas reales, se ha contribuido a la extracción de información tan valiosa de los modelos como puede ser: el coste material o la localización de puntos conflictivos durante la fase de montaje; facilitando, de este modo, el estudio viabilidad del producto final.

Palabras clave: Metro7, Industrialización, Módulos, Fabricación, CLT, Pod, Plug, Construcción4.0, GemeloDigital, Costes.

Introducción

El sector AEC (Architecture, Engineering and Construction), en términos de valor de producción mundial, mueve alrededor de 1.5 billones de dólares y los trabajadores del sector rondan los 100 millones; constituyendo así el 6-7% de la fuerza laboral del planeta (Arade, 2021). A pesar de tener este impacto en la economía global, también se trata de uno de los más desactualizados tecnológicamente; realizar un cambio dentro de la cadena de generación de valor en una construcción supone mucho esfuerzo, y a veces resulta desalentador debido a los numerosos factores que dificultan la transformación digital, como pueden ser: la fragmentación del sector, los numerosos agentes implicados, la lentitud a la hora de incorporar innovaciones, así como la escasez de éstas (Blázquez, 2005).

Otro factor clave es la seguridad del trabajador, en España se registraron en el 2013 unos 24 accidentes por hora y en 2017 la cifra ascendió a 34 accidentes por hora suponiendo un incremento de casi el 50%; se demanda una mayor inversión en medidas preventivas para conseguir desvincular el crecimiento económico del país del aumento de siniestralidad laboral (Observatorio de la construcción, 2019).

Por último, no hay que dejar de lado los, demasiado frecuentes, casos de patologías detectadas en los edificios actuales a pesar del esfuerzo por parte de las normativas y sellos de calidad. Los procesos constructivos tradicionales todavía tienen que evolucionar ya que conllevan un gran desperdicio de recursos humanos y materiales, además de ir asociados a un riesgo mayor debido a la escasez tanto de mano de obra cualificada como de materiales disponibles, lo que supone: un inevitable incremento de los costes de producción, dificulta el cumplimiento de plazos y genera incidencias en la calidad del producto final (Penadés, 2002).

Surge así la necesidad de introducir los avances de la industria dentro del proceso constructivo actual asegurando así, no solo el cumplimiento de los objetivos económicos y temporales de las empresas intervinientes, sino también suponiendo una mejora para el medio ambiente. Un edificio deja una indiscutible huella durante todo su ciclo de vida y, utilizando elementos prefabricados, se puede conseguir reducir los desperdicios durante su fase de creación, repercutiéndose en un impacto directo en el consumo de materias primas, además de conseguir mejorar la calidad del producto final al aumentar la precisión de los sistemas empleados (Penadés, 2002).

1. Consideraciones iniciales

Vivimos un contexto mundial sin precedentes en el que nos hemos visto obligados a limitar los contactos debido a las restricciones aplicadas por el COVID19. La sociedad ha comenzado a introducir conceptos como el "teletrabajo" bajo el popular hashtag "#QuédateEnCasa". Esta situación pandémica ha conseguido que la mayor parte de la población se replantea, al pasar tantos días encerrados, el cómo y dónde quería vivir cuando todo pasara, creando un aumento en la demanda de vivienda de calidad, llegando a desarrollarse el derecho constitucional a una vivienda digna y adecuada (Constitución española, 1978), en el nuevo proyecto de Ley por el Derecho a la Vivienda (Gerencia de consejo de ministros, 2022).

Como se nombraba en la introducción, el problema existente en el mercado es, que ante este aumento de demanda existe una escasez de mano de obra cualificada y de recursos, lo que ha desencadenado la apuesta por sistemas constructivos industrializados y replicables (Tabla 1), quedando así patente la definición de construcción industrializada como: "producir viviendas reemplazando la mano de obra artesanal, con máquinas utilizadas por obreros especializados en su manejo, o con máquinas automáticas" (Mac Donnell, 1999).

Tabla 1. Comparativa entre un sistema más y menos industrializado. Fuente: Tenorio, J.A. et al. (2013).

MENOS INDUSTRIALIZADO	CONCEPTOS COMPARABLES	MÁS INDUSTRIALIZADO
Peor	Seguridad	Mejor
Peor	Calidad	Mejor
Peor	Sostenibilidad	Mejor
Peor	Eficiencia energética	Mejor
Peor	Economías de escala	Mejor
Más lento	Tiempo de ejecución	Más rápido
Menos exigente	Planning inicial	Más exigente
Mejor	Margen de cambios en ejecución	Peor
Más barato	Trasporte	Más caro
Más barato	Medios de elevación	Más caro
Más barato	Coste de ejecución material	Más caro

Una vez integrado el uso de tecnología industrial en el proceso constructivo, es cuestión de tiempo que se apliquen los criterios de la arquitectura modular consistentes en el diseño y manejo de los sistemas compuestos por elementos constructivos industrializados, diseñados con dimensiones basadas en un módulo, con la capacidad de conectarse entre sí para crecer o menguar, pudiendo ser empleados en distintas posiciones y ser reemplazados o intercambiados sin afectar al sistema completo, ni provocando una merma en la calidad del producto final (Doutht, 2019). Logrando crear una arquitectura versátil e individualizada adaptable a cada ubicación propuesta con ventajas evidentes, como pueden ser: el aumento de la seguridad, tanto de la construcción como del trabajador; la flexibilidad del sistema, una potencial reducción de costes y plazos, permite minimizar el impacto ambiental al reducir al máximo los desperdicios en obra e incluso facilita la integración del cliente en la toma de decisiones (Penadés, 2002).

2. Objetivos del producto

La empresa ha observado una demanda creciente en la sociedad para el acceso a una vivienda de un modo rápido y económico, sin que por ello se vea afectada la calidad de la construcción, la empresa lleva años trabajando, tratando de optimizar los procesos constructivos mediante la implementación de estándares como Passivhaus, Well o Lean Construction para conseguir satisfacer dicha demanda (Metro7, 2022).

Tras años de investigación constructiva se ha llegado a la conclusión de que un producto industrial podía tener cabida dentro de este mercado y se comenzó, hace ya más de un año, un proyecto para la obtención de un módulo habitacional completamente prefabricado en taller y llevado por carretera hasta su destino final, consiguiendo reducir los costes y plazos tanto de ejecución como de postventa frente a las viviendas ejecutadas in situ.

Pronto se observó la necesidad de establecer unas reglas de diseño para que el producto fuera versátil, y que la vivienda del cliente pudiera adaptarse a sus hábitos y necesidades, en vez de ser el usuario quién se ajustara a una vivienda, construida para un contexto vital diferente. Surge así el concepto de crear una construcción que pudiera funcionar de forma autónoma, y que fuera ampliable para poder crecer con la familia o ajustarse cuando algún usuario deja la vivienda.

3. Proyectos de referencia

Lo primero que se debe hacer para poder desarrollar una idea nueva de proyecto es analizar la competencia en el mercado y así se hizo. Existen multitud de propuestas en todo el mundo para la construcción de viviendas reducidas y transportables basadas en la construcción industrializada como pueden ser: la casa transportable ÁPH80 de Ábaton (Ábaton, 2022) o las opciones que ofrece Haus.me en su página web (Haus.me, 2022); era necesario encontrar el modo de desatacar dentro de este mercado tan específico, haciéndolo además, con sistemas que ya hubieran sido utilizados por el equipo o que, al menos,

se tuvieran las garantías de que iba a ser viable el proyecto utilizando dichas soluciones. "El proyecto debe nacer teniendo en cuenta la solución industrializada que va a utilizar y nunca al revés" (Tenorio, 2013).

4. Metodología del trabajo

Para abordar un proyecto tan ambicioso es necesario partir el objetivo global en pequeños hitos a solucionar y conseguir alcanzar la solución final más adecuada. Los puntos conflictivos pendientes de resolver fueron: definir el transporte para establecer el área de movimiento máxima del módulo, decidir el material estructural y método para el alzado del conjunto consiguiendo limitar así el peso máximo, crear las reglas que limiten el crecimiento del sistema así como el detalle constructivo de las uniones y, por último, hay que definir las calidades de venta e instalaciones, encontrando el equilibrio para que el coste del producto final sea comercialmente viable.

Se apostó por la metodología BIM para la generación del proyecto, pudiendo estudiar sus posibilidades hasta el máximo nivel de detalle, decidiendo crear un gemelo digital que permitiera el análisis de cada pieza interviniente y su puesta en obra. Las respuestas, que se consideraron esenciales que el modelo diera respuesta durante la fase proyectual, eran: la generación de mediciones, coordinación de gremios, áreas de movimiento tanto para montaje como transporte y despieces de cada material interviniente que permitiera el fácil acceso a la codificación simplificando la identificación de cada sistema.

Una vez definida la totalidad del proyecto será el momento de establecer la imagen de marca y preparar un plan de marketing para la venta del producto final. Dentro de este conjunto de medidas se valora la creación de un proyecto piloto que cuente con todos los encuentros críticos, permitiendo poner a prueba el máximo número de combinaciones. Se cuenta también con un posterior auditado de la ejecución de dicho proyecto piloto que permita plantear mejoras, previamente a la completa industrialización del proceso.

5. Desarrollo del proyecto

Se decidió que el modelado BIM debía enfocarse de un modo que permitiera crear cada una de las piezas industrializadas, de las que poder extraer su geometría, pesos, proveedores y costes. Parte de la toma de decisiones fue el hecho de no utilizar el modelado para el uso visualización, aunque hubiera sido posible, ya que la introducción de los diferentes escenarios de interiorismo se realiza de un modo mucho más operativo con un software específico para esta finalidad (Fig. 1).



Fig. 1 Minimal haus. Construcción con 6 módulos + porche. Fuente: Metro7 (2021)

Todos los módulos cuentan con una geometría extremadamente simplificada y, por este motivo, se decidió que apenas costaba esfuerzo modelar nuevamente la geometría, tomando como base el modelo BIM, persiguiendo simplificar ligeramente el flujo de generación de valor ya que, de este modo, se volcaba toda la

geometría desde un único software de modelado, con el que todo el equipo se encuentra cómodo trabajando, y apto tanto para crear las diferentes escenas como para relacionarse con un programa de renderizado en tiempo real. También se realizó un recorrido virtual mediante vistas 360° que permitiera la visualización de las opciones funcionales de los módulos tanto en tablet como con gafas VR.

El proyecto se basa en dos tipos de módulos, unos habitacionales y otros de conexión, denominados como Pods y Plugs en adelante. Se establecen, dentro de los Pods, una serie de necesidades a satisfacer, que sean semejables a las de una vivienda completamente funcional desde un único módulo y que pueda crecer de forma orgánica completando programa según las necesidades vitales del usuario. Se valora también la posibilidad de darle un uso distinto de vivienda como puede ser, por ejemplo, una oficina o un puesto de venta comercial (Fig. 2 y 3).



Fig. 2 Minimal haus. Propuesta de distribución, estudio. Fuente: Metro7 (2021)



Fig. 3 Minimal haus. Propuesta de distribución, office. Fuente: Metro7 (2021)

Para generar múltiples opciones funcionales y estéticas, cada Pod se podrá llegar a fabricar hasta con tres secciones diferentes, por lo que las combinaciones existentes son altamente variables. En cuanto a los acabados, se decide limitar las posibilidades, a la hora de elegirlos, siempre a dos, tratando de no dificultar en exceso el proceso de fabricación industrial y conseguir acuerdos más beneficiosos con los proveedores.

El principal acabado interior será la madera natural ya que se utilizará para la estructura el Cross Laminated Timber (CLT) que se trata de un material compuesto por varias capas de madera maciza colocadas en cruz

y de forma plana una sobre otra. Este material puede quedarse visto ya que tiene un aspecto completamente terminado, además de ofrecer la posibilidad de construirse de forma industrializada bajo demanda. Esta terminación interior es compatible con cualquiera de los usos que se le quieran dar a la edificación.

5.1 Generación del modelo gráfico

Se realiza finalmente el modelo con el mínimo número de módulos posible y que, a su vez, agrupe el máximo número de combinaciones teniendo ambos tipos de unión entre Pods, frontal y lateral (Fig. 4). El conjunto elegido es una agrupación de estar con dormitorio y baño con cocina, consiste en el programa completo de una vivienda unifamiliar tipo estudio distribuidos en unos 35m² útiles (Fig.5).

Cada uno de los elementos colocados en el modelado cuenta con una estricta modulación exterior de un metro de largo. Esta modulación se transmite al interior como condicionante de la toma de decisiones, se respeta siempre el primer módulo de metro en los extremos que cada Pod garantizando así la estabilidad estructural y sirve también como apoyo en donde unificar todos los mecanismos eléctricos y térmicos.



Fig. 4 Minimal haus. Prototipo de 3 módulos, vista 3d. Fuente: Metro7 (2021)

En cuanto al proceso de generación digital de los módulos hubo algún inconveniente ya que las principales herramientas de modelado BIM dividen sus elementos por categorías, capas... y cada una de ellas tiene sus propias reglas internas. Sin embargo, para este caso, se necesitaba una división por piezas prefabricadas sencillas, de modo que se crearon todos los componentes de forma independiente y se volcaron al modelo como si de muebles se tratara. Se consiguió, de este modo, un resultado completamente funcional y ligero para cada tipo de Pod.

Con cada uno de los módulos creados como edificios independientes, en el caso del prototipo 3 Pods y un Plug, toca ver el ensamblaje de los componentes del sistema; para ello se decidió utilizar la fórmula de modelo federado sobre el que se estudian las conexiones del sistema teniendo en cuenta que son productos finales y que tienen que unirse in situ el día del transporte para garantizar el éxito del producto.

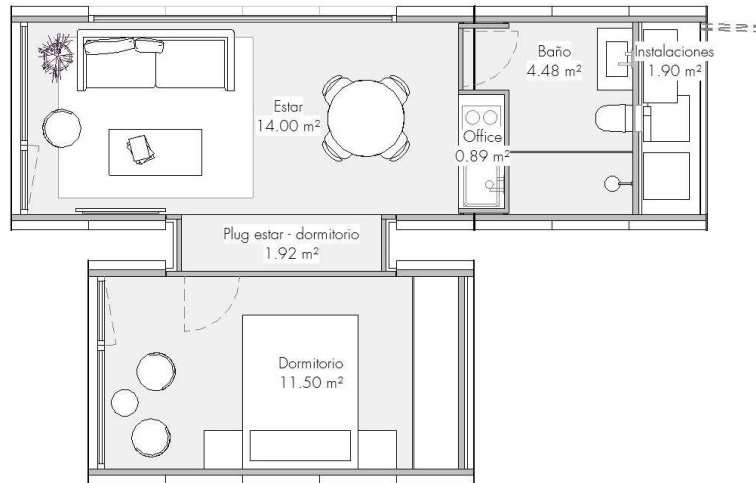


Fig. 5 Minimal haus. Prototipo de 3 módulos, planta. Fuente: Metro7 (2021)

5.2 Generación del modelo de información

Cada elemento modelado cuenta con una serie de características vinculadas, que permiten la exportación a IFC para que los proveedores, que utilicen ya la metodología de trabajo propuesta, puedan manipularlo con herramientas OpenBIM; pero que también permita la generación de documentación de un modo muy visual y operativo, para aquellos que sigan demandando un documento en dos dimensiones. Se establece también una codificación para cada componente o fracción (Fig. 6 y 7), de modo que se pueda encargar e identificar cada pieza en su posición y cuáles serán las caras vistas para evitar problemas durante el montaje.

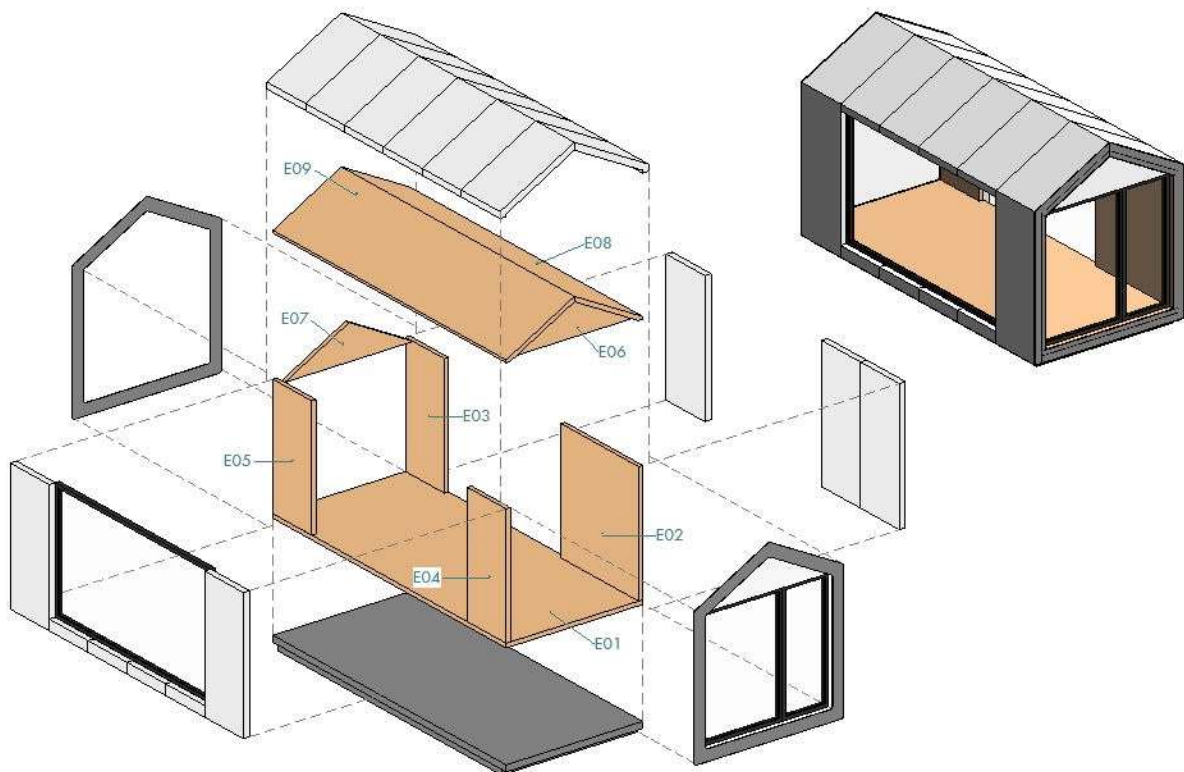


Fig. 6 Minimal haus. Prototipo de 3 módulos, piezas de CLT del Pod principal. Fuente: Metro7 (2021)

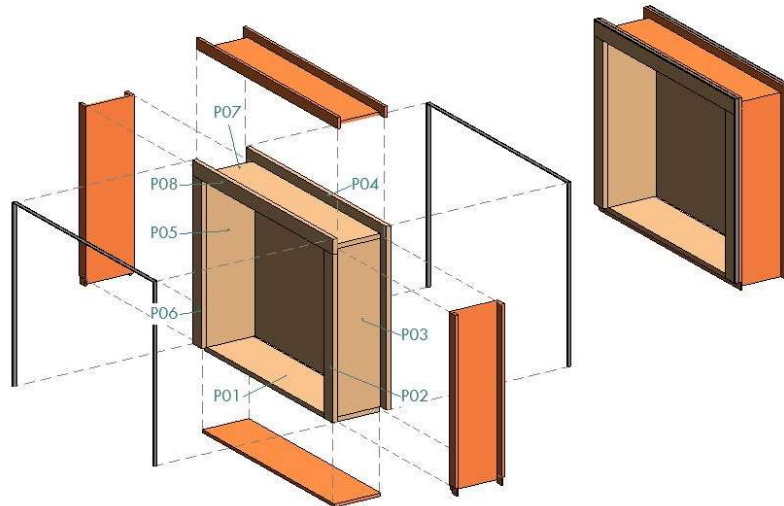


Fig. 7 Minimal haus, Prototipo de 3 módulos, piezas de CLT del Plug. Fuente: Metro7 (2021)

Otro de los factores más determinantes para garantizar el éxito del sistema era controlar los pesos máximos para el transporte de cada uno de los módulos, para ello hubo que crear dos parámetros diferentes en función del tipo de información del proveedor; por ejemplo, las instalaciones aparecen en kilogramos en la ficha técnica pero en el caso de la madera se aporta la densidad del material. Para conseguir unificar estos datos y obtener un único dato final del peso se realizó el volcado de datos al modelo en los parámetros “PC_Masa” y “PC_Densidad” y se creó un tercero calculado según el siguiente código: “if(PC_Volumen > 0 m³, PC_Volumen * PC_Densidad / 1 m³, PC_Masa)”. De este modo se pudo valorar que el módulo más pesado del prototipo rondaría las seis toneladas y que, por lo tanto, no supondría un problema para los sistemas de elevación y transporte.

Por último, era esencial poder aprovechar, en la fase de ejecución, toda la información volcada en el modelo. Para ello se apostó por el visor OpenBIM de Dalux (Fig. 8) que permite: una completa visualización del modelo tanto en 3D como los planos o vistas 2D empleadas, cortar el modelo por el plano de corte que se seleccione, extraer la información de cada elemento que compone el sistema y, lo más importante para este caso, totalmente integrado con los dispositivos móviles facilitando la comunicación entre el equipo en obra y oficina pudiendo actualizar los planos en caso de necesidad en tan solo unos minutos y obteniendo, tras la ejecución del prototipo, un modelo As-Built para su producción en cadena.

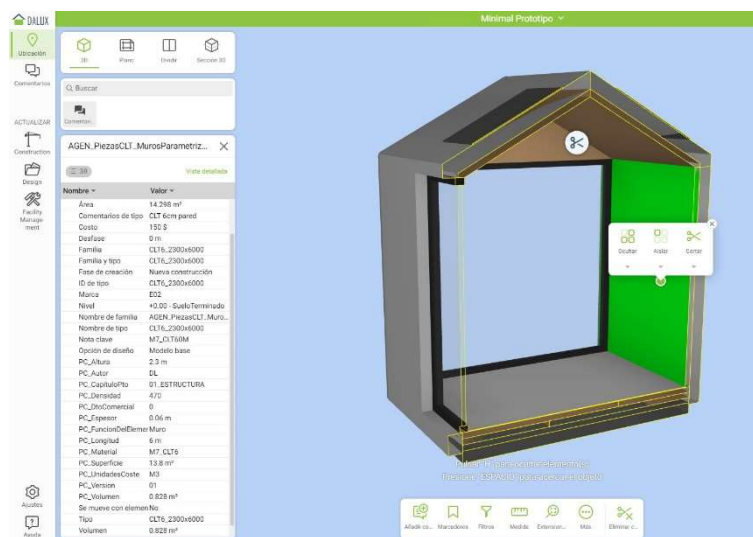


Fig. 8 Minimal haus, Visor OpenBIM del modelo para ejecución en obra. Fuente: Metro7 (2021)

6. Discusión de resultados

La documentación 2D generada y el modelo tridimensional volcado en el visor OpenBIM, combinado con la documentación creada para visualización y venta, que, a pesar de no haberse realizado en BIM, han contribuido enormemente a la comprensión completa de los objetivos del proyecto por parte de todos los agentes de un modo rápido y con garantías. Se ha conseguido extraer casi la totalidad de mediciones del modelo, estudiar la viabilidad económica de cada proveedor al introducir datos como el descuento comercial o las fichas de instalación en forma de url, calcular los pesos, analizar los sistemas de unión, garantizar la estanqueidad de cada módulo tanto al agua como al aire, etc. Todos estos factores estudiados han facilitado la toma de decisiones al poder volcar los costes reales también como un parámetro de los elementos intervinientes.

Desde la fase de proyecto se han podido comparar las distribuciones y costes de una vivienda unifamiliar Passivhaus, tipología más construida por parte de la empresa, con cada combinación de Pods planteada; consiguiendo así restringir las posibilidades de crecimiento a lo que más habitualmente se suele demandar en el mercado. En las tablas adjuntadas (Tablas 2 y 3), se muestra una simplificación de los cuatro grupos principales de capítulos, con la información del valor de cada uno de los conceptos constructivos, permitiendo asemejarlos a los utilizados en el proyecto de vivienda que se va a ejecutar. Se puede observar cómo se desplazan los costes de envolvente hacia estructura y los de acabados a instalaciones; de esto, se puede deducir que el prototipo requiere de un coste extra, tanto en estructura como en instalaciones, debido a que existe muy poca superficie construida y que se trata de las partidas cuyo precio tienen un mayor impacto en la repercusión por metro cuadrado, lo que permite focalizar los acuerdos comerciales en esta dirección.

Tabla 2. Distribución de costes estimados en una vivienda unifamiliar Passivhaus. Fuente: Metro7 (2021)

1 Estructura	30%
2 Envolvente	40%
3 Instalaciones	20%
4 Acabados	10%

Tabla 3. Distribución de costes estimados para el prototipo Minimal Haus. Fuente: Metro7 (2021)

1 Estructura	40%
2 Envolvente	30%
3 Instalaciones	15%
4 Acabados	15%

7. Conclusiones

El objetivo inicial, que consistía en la creación de un producto industrial, modular y ampliable con usos variables, se ha conseguido satisfacer gracias al uso de herramientas BIM que han facilitado la valoración de todo el proceso constructivo, desde el encargo de los materiales hasta su puesta en obra. Sin embargo, toda la investigación desarrollada no deja de ser un proyecto, por lo tiene que terminar realizándose para comprobar la fiabilidad de su gemelo digital; cuando el prototipo se haya ejecutado y se haya recogido la experiencia real, será el momento de contrastar las previsiones temporales, económicas y de montaje para actualizar procedimientos y preparar el sistema para su completa industrialización, pudiendo enfocar la documentación al ensamblaje de piezas, como si se tratara de la construcción de un mueble.

En cuanto a los plazos considerados para su materialización, se prevé que para el fin de semana previo al EUBIM 2022, se presente el prototipo en la feria Re-habitat de Zaragoza; fecha en la que se espera estar en condiciones de lanzar el producto al mercado.

Referencias

- ÁBATON (2022). *Casa Transportable – ÁPH80*. < <https://abaton.es/es/proyectos/casa-transportable-aph80/>> [Consulta: 1 de marzo de 2022]
- ARADE, O. S. y BIRAJDAR, B. V. (2021). "Effective strategies to reduce the impact of skilled labour shortage in construction industry in Pune Region (India)" en *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 08, 06, p. 4520-4524.
- BLÁZQUEZ, A. (2005). "Innovación en construcción: teoría, situación, perspectivas y otras consideraciones" en *Informes de la Construcción*, 57, 499-500.
- CONSTITUCIÓN ESPAÑOLA (1978). *Artículo 47 de la constitución española de 1978*. < <https://www.laconstitucion.es/articulo-47-de-la-constitucion-espanola.html>> [Consulta: 12 de enero de 2022]
- DOUGHT, M. L. et al. (2019). "El "Policubo" como herramienta didáctica para favorecer el proceso de enseñanza-aprendizaje de la construcción industrializada" en *Arquitecto*, 14
- GERENCIA DEL CONSEJO DE MINISTROS (2022). *Proyecto de ley por el derecho a la vivienda*. < <https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/referencias/Paginas/2022/refc20220201.aspx#vivienda>> [Consulta: 12 de enero de 2022]
- HAUS.ME (2022). *Microhaus*. <<https://microhaus.me>> [Consulta: 1 de marzo de 2022]
- MAC DONNELL, H. y PATRICIO MAC DONNELL, H. (1999). *Manual de Construcción Industrializada*. Buenos Aires: Revista Vivienda SRL.
- METRO7 (2022). *Singular + sostenible*. <<https://metro7.es/singular-sostenible/>> [Consulta: 1 de marzo de 2022]
- OBSERVATORIO DE LA CONSTRUCCIÓN (2019). *La siniestralidad en la construcción requiere más inversiones y profundizar en las medidas preventivas*. <<https://www.observatoriodelaconstruccion.com/articulos/detalle/la-siniestralidad-en-la-construccion-requiere-mas-inversiones-y-profundizar-en-las-medidas-preventivas>> [Consulta: 26 de febrero de 2022]
- PENADÉS MARTÍ, J. (2002). "Construcción industrializada de edificios" en *Informes de la Construcción*, 53, 478, p. 15-31.
- TENORIO, J. A. et al. (2013). "Industrialización del proceso constructivo" en Asociación Española para la Calidad (AEC).



ASENTANDO LAS BASES DEL METAVERSO PARA EL SECTOR ARQUITECTURA, INGENERÍA Y CONSTRUCCIÓN (AEC), INTEGRACIÓN DE MODELOS BIM EN REALIDAD VIRTUAL Y AUMENTADA

Gómez-Rodríguez, Iván^a; Barrantes-Hernández, María Camila^b y Palos-Hernández, Rafael^c

^aArquitecto técnico UPM, Project Manager, Profesor UEM, Profesor Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, Profesor COAATM, CEO y Fundador VT-Lab, ivangomez@vt-lab.com, ^bEgresada Universidad Complutense de Madrid, Product Manager de VT-Lab, camilabarrantes@vt-lab.com y ^cEgresado Universidad de Salamanca, Ingeniero Técnico de Obras Públicas, BIM Specialist, Responsable Departamento BIM de VT-Lab, rafaelpalos@vt-lab.com.

Abstract

The Metaverse makes possible, through virtual and augmented reality, the creation of an immersive and tridimensional cyber-physical space that will offer us a parallel and digital world in which we can conduct not only leisure activities, but applications that will help us do both day-to-day tasks as well as work processes in a more efficient way.

Because of that, it is in our hands to extract all the advantages that these technologies are offering and implement them in our sector in an intelligent way to contribute to the much-needed digitalization and to the increase of productivity that it has been needing for decades.

VT-Platform makes BIM models consumable by anyone in a visual and immersive way, without the need of them to be a specialist in this methodology. Thanks to the integration of BIM with VR and AR, we take BIM models beyond the BIM department, to share them with any stakeholder. This facilitates the union link between office and field workers, creating a quality communication flow between them through VT-Platform, the vehicle that enables to work with BIM models in VR and AR in an easy and intuitive way.

Keywords: BIM methodology, virtual reality, augmented reality, metaverse, AEC sector, digitalization, VR, AR

Resumen

El Metaverso hace posible, a través de la Realidad Virtual y Aumentada, la creación de un espacio ciber-físico inmersivo y tridimensional que nos ofrecerá un mundo paralelo y digital en el que podremos llevar a cabo no sólo actividades de ocio, sino también aplicaciones que nos ayuden a realizar tanto labores cotidianas, como procesos de trabajo, de una manera más eficiente.

Por ello, en nuestras manos está extraer todas las ventajas que estas tecnologías ofrecen y aplicarlas a nuestro sector de forma inteligente para contribuir a la tan necesaria digitalización y aumento de la productividad que viene necesitando desde hace décadas.

VT-Platform permite que los modelos BIM puedan ser consumidos por cualquier persona de forma visual e inmersiva, sin que esta tenga la necesidad de ser un especialista en la metodología. Gracias a la integración del BIM en VR y AR, es posible hacer llegar los modelos más allá del departamento BIM, para pasar a compartirlos con cualquier agente de toda la cadena de valor, desde el cliente final, promotor, diseñador, pasando por todos los agentes hasta llegar al último operario. Esto facilita el nexo de unión entre los trabajadores de oficina y los de campo, creando entre ellos un sistema y un flujo de comunicación de calidad y digital que posibilita trabajar con modelos BIM en VR y AR de forma sencilla e intuitiva.

Palabras clave: realidad virtual, realidad aumentada, metodología BIM, metaverso, sector AEC, digitalización, VR, AR

Introducción

El Metaverso es un concepto del que llevamos oyendo hablar desde hace aproximadamente 30 años en numerosas películas futuristas y de ciencia ficción.[8][13]

Recientemente ha habido un cambio drástico en el desarrollo de este paradigma que ha hecho que este concepto cuestione no sólo la manera en la que vemos el mundo, sino también en cómo participamos en él.

La aceleración de la aceptación de este concepto por el imaginario popular ha venido influenciada por la apuesta de Marck Zuckerberg, CEO de META (antes Facebook) por el Metaverso, marcando las bases de lo que será el futuro en todos sus estadios, no sólo en lo que al entretenimiento y ocio se refiere, sino en cuanto a nuevas maneras de trabajar: digitales, editables, experienciales, y, sobre todo, más productivas.



Fig. 1. Modelo 3D en Realidad Aumentada en la presentación oficial de Meta. Fuente: Meta (2021)

Ya en 1992 hablábamos de Metaverso gracias a la novela y película de ciencia ficción Snowcrash. En ella, este término hacía referencia a un mundo virtual en el que los humanos eran avatares, pudiendo interactuar entre ellos. El autor de la novela le otorga el nombre de Metaverso a este mundo virtual que existe más allá del real, en el que podemos introducirnos con avatares gracias a los dispositivos de Realidad Virtual y Aumentada, que nos permiten tener una experiencia realmente inmersiva.

Como se ha comentado anteriormente, este concepto viene existiendo desde hace décadas, aunque hasta ahora se relacionaba con el mundo del ocio y el entretenimiento. Lo cierto es que este concepto no se limita a eso, sino que estamos hablando de un mundo digital con comunidades virtuales interconectadas, que dará lugar a nuevos modelos productivos y de negocio.

En resumen, el Metaverso hace posible a través de la Realidad Virtual y Aumentada, la creación de un espacio colectivo ciber-físico inmersivo y tridimensional que nos ofrecerá un mundo paralelo, complementario y digital, compartido entre varios usuarios en el que podremos llevar a cabo no sólo actividades de ocio, sino también aplicaciones que nos ayuden a realizar tanto labores cotidianas, como procesos de trabajo, de una manera más eficiente.

1. Características que comprende un Metaverso

Entre las distintas fuentes que a día de hoy describen y definen un Metaverso, existe cierto consenso en qué características tiene que poseer un metaverso.[8] Se exponen a continuación:

- Un espacio en 3D totalmente digital, o un espacio en 3D que combina lo digital y lo físico.
- Persistencia y sincronía, entre todos los elementos y usuarios que lo habitan.
- Una economía totalmente funcional.
- Concurrencia de varios usuarios que pueden interactuar entre ellos.
- Posibilidad de generación de contenido por parte del usuario.
- Capacidad de abarcar el mundo físico y digital en distintas plataformas publicas/privadas, y redes abiertas/cerradas.
- Interoperabilidad entre los distintos activos digitales y la información asociada.

2. Estado del arte

Actualmente nos encontramos en una fase muy incipiente en lo que al desarrollo del Metaverso se refiere.

Son pocos los que cumplen las características anteriormente descritas (Decentraland, Zepeto, The SandBox), y los que lo hacen no cumplen estas características de una manera totalmente plena.

Esto es debido, básicamente, a dos factores:

2.1. Tecnologías habilitadoras

Las tecnologías habilitadoras que posibilitan los Metaversos, como son, la Realidad Extendida (Realidad Virtual y Aumentada), el Edge Computing, las redes 5G, la visión artificial, la Inteligencia Artificial, el Blockchain, Internet de las cosas (IoT), no están totalmente desarrolladas y aún no trabajan conjunta y simultáneamente

2.2. Softwares

Los softwares o aplicaciones existentes no tienen la capacidad unir estas tecnologías con otras y hacerlas trabajar conjuntamente, por lo que no extraen todo su potencial.

Por otro lado, no dan la posibilidad al usuario de “habitar” con seguridad, confianza y responsabilidad, otorgándole una gobernanza plena sobre la gestión de los datos, interacciones y transacciones que va a realizar dentro del Metaverso.

Simplificando estos dos factores, los primeros son relativos al hardware e infraestructura tecnológica, y los segundos al software o capa de aplicación; y han de desarrollarse y converger para poder hablar de un Metaverso pleno.

Como se ha mencionado anteriormente, el Metaverso no hace referencia a una cuestión de ocio y entretenimiento exclusivamente, sino que va a afectar a todas las facetas de nuestra vida, incluyendo el trabajo y el entorno laboral, así como la gobernanza del dato y transacciones entre usuarios, cuestiones estas últimas cada vez más sensibles.

3. Relación entre la metodología BIM, el sector AEC y el Metaverso

Como compendio, se puede precisar que un Metaverso es un ecosistema que se compone de un “mundo en 3D” (tanto en Realidad Virtual, como en Realidad Aumentada o web), con una economía completamente funcional, en el que hay una comunidad de usuarios que comparten un interés u objetivo común y pueden generar contenido, transaccionarlo, o realizar otro tipo de acciones relacionadas con dicho contenido (utilizarlo, compartirlo, venderlo...).

Cualquier proyecto AEC u obra que se desarrolle bajo metodología BIM, cumple con las características mínimas que definen un Metaverso: [6][9][10][11]

- Ecosistema en tres dimensiones con una economía completamente funcional
- Los agentes intervinientes comparten un interés-propósito común
- Existe contenido generado por usuarios que se transacciona de una manera continua (los modelos BIM y los distintos procesos que hacemos con ellos)

4. VT-Platform: plataforma posibilitadora del Metaverso en el sector AEC

VT-Platform es una plataforma web que tiene como objetivo digitalizar y hacer más eficientes los procesos y flujos de trabajo de cualquier agente del sector de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC), combinando el BIM con las tecnologías de Realidad Virtual y Aumentada.[12][14][15]

Con VT-Platform se consigue que las tecnologías habilitantes del Metaverso, que se han descrito previamente, puedan ser utilizadas en la gestión de un modelo BIM.

Las siguientes tecnologías y características que definen un Metaverso ya son conseguidas a través de la utilización de VT-Platform, asentando las bases para el desarrollo en toda su extensión de un Metaverso específico para el sector AEC.

4.1. Tecnologías y características del Metaverso que habilita VT-Platform

- Transformar modelos BIM de forma automática para consumirlos con dispositivos de Realidad Virtual y Realidad Aumentada.
- La capacidad de conseguir la persistencia y sincronía de datos BIM, tanto en Realidad Virtual como Realidad Aumentada como BIM-web.
- Una semi-concurrencia de varios jugadores, no de una manera síncrona, pero sí asíncrona.
- Generación de espacios ciber-físicos, mediante un sistema de anclas, que hace posible el solapamiento del modelo BIM en escala 1:1 con el mundo real y operar en el mundo real a través de una capa digital.

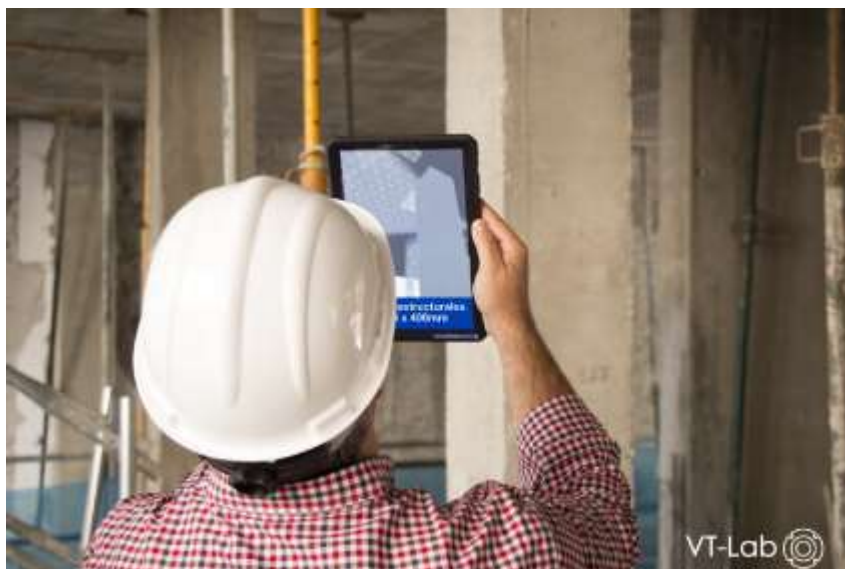


Fig. 2. Superposición de modelo BIM en campo. Fuente: elaboración propia. (2019)

El resto de características que define un Metaverso no se consiguen de una forma plena o directa con VT-Platform, pero sí se pueden desarrollar a través de la plataforma, estas son:

-Una economía completamente funcional. No está desplegada aún, pero se posibilita, ya que cada usuario entra y lleva a cabo ciertas transacciones (no tienen por qué ser meramente económicas), que puede intercambiar con otro usuario. En el futuro desarrollo de VT-Platform está previsto incorporar un monedero virtual que posibilite que cada usuario tenga la capacidad de comprar y vender activos digitales, creando así una economía totalmente funcional y nueva, en la que se puedan transaccionar servicios-productos que ahora mismo no es posible transaccionar, o simplemente no existen, como pueden ser un Replanteo Espacial digital.

-La capacidad de generar contenido está cubierta al poder hacerlo desde cualquier programa de modelado, o desde cualquier software BIM que exporte a IFC. VT-Platform, transforma a Realidad Virtual y Aumentada desde formato IFC consiguiendo que se consuman los modelos BIM de una manera sencilla con un interfaz muy natural y sin necesidad de tener conocimientos en la metodología BIM. Incluso en Realidad Aumentada, será posible consumir los modelos creados con un simple móvil que soporte esta tecnología.

-La interoperabilidad está garantizada, por un lado, al poseer la plataforma una API (Application Program Interface) abierta y publica, que posibilita la comunicación con otros programas BIM o con cualquier otra plataforma a través de servicios web, posibilitando traer datos o procesos de otros sistemas, como son sistemas de IOT, CRM o ERP, entre otros.

Además, por otro lado, dicha interoperabilidad, también se consigue a través de la aceptación por parte de la plataforma del formato IFC, lo que lo hace accesible a todo el ecosistema Open BIM.

4.2. Esquema de arquitectura Informática de VT-Platform

En el siguiente esquema podemos observar el funcionamiento a un alto nivel de VT-Platform, así como su capacidad de conexión con todo el ecosistema OPEN BIM a través de IFC y con otro tipo de sistema a través de la API

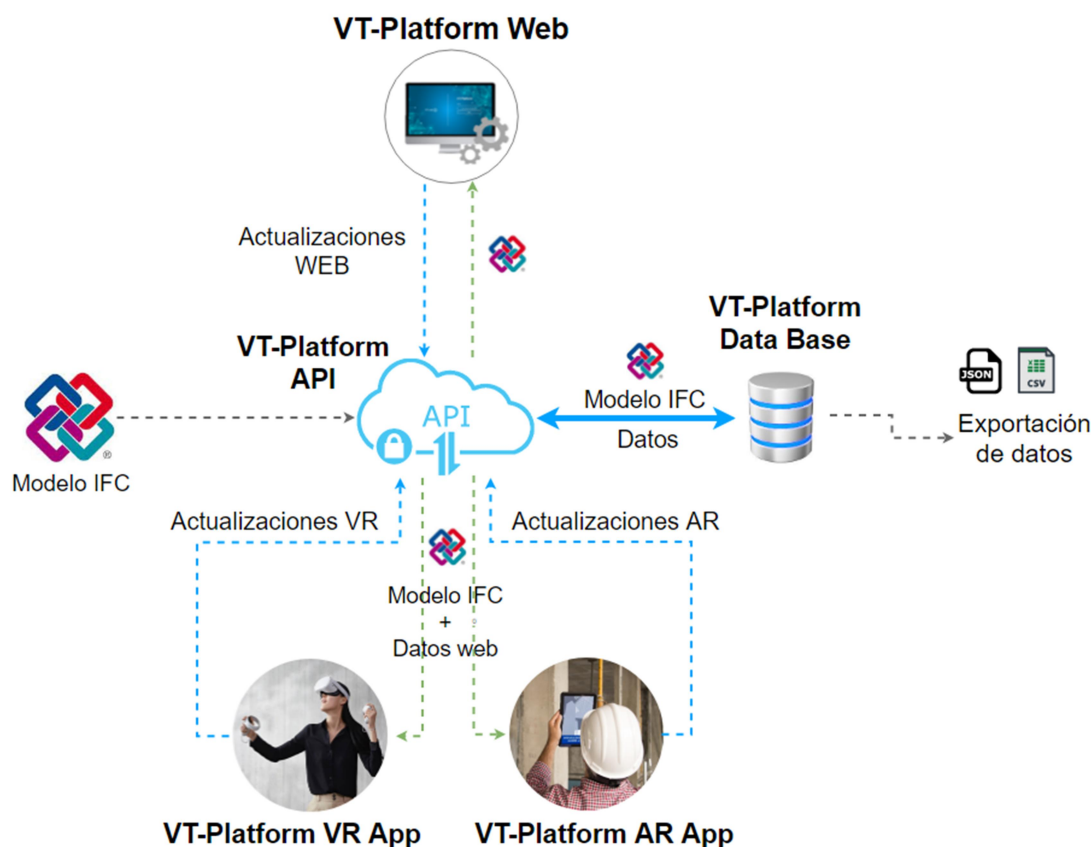


Fig. 3. Esquema de Arquitectura Informática VT-Platform. Fuente: elaboración propia. (2019)

4.3. Beneficios que aporta la integración de BIM en Realidad Virtual y Aumentada

El uso en la fase de desarrollo en la que se encuentra la plataforma ya genera unas ventajas muy importantes en el sector AEC. La más importante de todas ellas consiste en poder extraer toda la capacidad gestora de un modelo BIM y ponerla al alcance de cualquier agente de la cadena valor de un proyecto de construcción [3], siendo toda la complejidad de la metodología BIM absolutamente

invisible para el consumidor de ese modelo, que puede llegar a ser el usuario final, cuyo conocimiento en la metodología BIM probablemente sea inexistente.

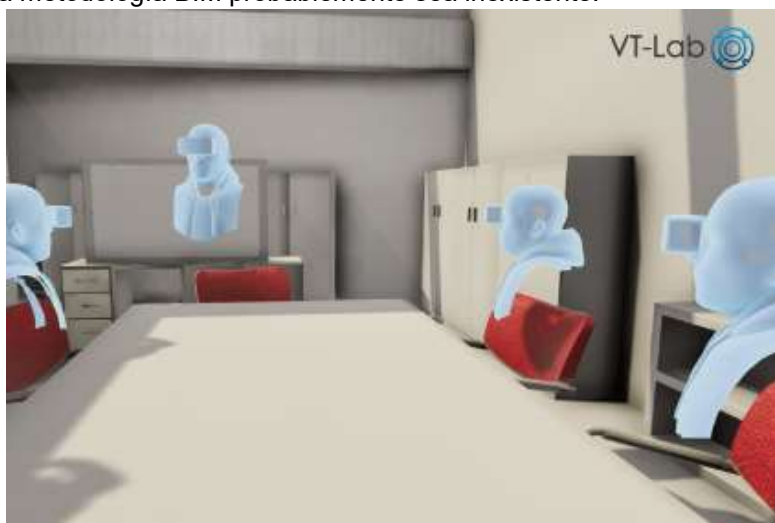


Fig. 4. Avatares en Realidad Virtual en VT-Platform. Fuente: elaboración propia. (2020)

Además de la ventaja anteriormente comentada existen numerosas más:

- Posibilidad de relacionarte con el modelo BIM a través de un interfaz intuitivo y fácil de usar, accesible a cualquier usuario, incluso con un perfil no necesariamente técnico.
- Actualización de datos en tiempo real obra-oficina (toma de decisiones, identificación de problemas o generación de informes en tiempo real en obra).
- Revisión de forma espacial, visual y rápida en obra (mejor comprensión de los espacios y anticipación de problemas).
- Registro de las tareas, digitalización de procesos, trazabilidad remota de los datos (mejora la planificación de equipos, materiales...).
- Control y gestión de incidencias y procesos digitales espacialmente.
- Comprensión de forma inmersiva de los espacios, lo que hace una posible la anticipación a posibles problemas de ejecución o distribución de los mismos.
- Identificación de problemas en tiempo real (elementos no ejecutados, huecos, etc.) evitando el 'efecto cascada' consecuente de la toma tardía de decisiones.
- Reducir el sobre trabajo para alimentar otros sistemas como ERP o CRM, siendo la persona que detecta el problema quien lo anota, evitando el error de reescribir el dato en distintas fuentes por diferentes personas.

5. Ejemplos de aplicación de Realidad Aumentada y Virtual con BIM

El Metaverso, la Realidad Virtual y Aumentada, son realidades experienciales. Esto significa que no es posible explicarlas a través de un texto. A modo ilustrativo y sabiendo que un vídeo no transmite la sensación asociada a la vivencia experiencial generada por la Realidad Virtual y la Realidad Aumentada, se adjuntan los siguientes videos, como ejemplos y casos de uso que a día de hoy ya es posible llevar a cabo, y que se están utilizando en distintos proyectos:

- Realidad Aumentada mediante móvil, superponiendo el modelo sobre la realidad e interactuando con la realidad a través de una capa digital:

[“Realidad Aumentada en Línea 10 metro Valencia para COMSA-FGV”](https://www.youtube.com/watch?v=Rb4bOly63Ik&t=23s)

<https://www.youtube.com/watch?v=Rb4bOly63Ik&t=23s>

- Realidad Aumentada mediante tablet, colocando el modelo BIM en escala 1:1 en la situación donde el activo será construido:

[“Realidad Aumentada edificio escala 1:1”](https://youtu.be/mWRZ9tdc4Q0) <https://youtu.be/mWRZ9tdc4Q0>

- Realidad Aumentada mediante tablet, donde se coloca el modelo BIM en tamaño maqueta y se interactúa con él mediante distintas herramientas para extraer distinta información del mismo.

[“Modelo BIM en escala maqueta”](https://youtu.be/M98ELWWvUJs) <https://youtu.be/M98ELWWvUJs>

- Realidad Virtual mediante gafas de Realidad Virtual, donde, de una manera inmersiva, el usuario puede ver distintos elementos de un falso techo.

[“Realidad Virtual para productos varios”](https://www.youtube.com/watch?v=c0Dukh5fdO8) <https://www.youtube.com/watch?v=c0Dukh5fdO8>

6. Conclusiones

Se exponen las siguientes conclusiones:

1. Es sobradamente conocida la necesidad de digitalización y modernización del sector AEC [1]. Según distintos informes [2] y por las cifras de crecimiento en su adopción, el BIM es un catalizador para esa deseada digitalización. Para que esto ocurra, es necesario extraer toda la potencia que contiene un modelo BIM y que este pueda ser consumido por todos los agentes intervinientes en el proceso constructivo con un interfaz sencillo [3], muy similar a como nos relacionamos con los objetos y con la realidad en la vida cotidiana. La Realidad Virtual y Aumentada son ese interfaz, y VT-Platform habilita poder consumir esos modelos BIM mediante estos interfaces de una manera automática.
2. El consumo de modelos BIM de forma inmersiva a través de Realidad Virtual, y superponiéndolo sobre la realidad a través de Realidad Aumentada, los hacen accesibles con un simple móvil o tableta, a agentes que no tienen que tener ningún conocimiento en la metodología y no saben si quiera lo que es un modelo BIM.
3. Que se consuman esos modelos BIM de una manera sencilla y digital, lo convierte en sí mismo en un sistema de comunicación digital. Al ser digital es trazable, editable y auditable remotamente, mejorando así la productividad del sector al no perder tanta información y tiempo en un traspaso de información analógico.
4. Así mismo, la utilización de estas tecnologías hace más atrayente el sector, que ya cuenta con un importante déficit de mano de obra joven, un público que siente cierto rechazo por su imagen de sector poco moderno [4].
5. Es necesaria la generación de nuevos modelos de negocio en el sector, tales como la venta de activos digitales “peer to peer” de “igual a igual” en su posible traducción al castellano (un replanteo digital, unas acotaciones en el terreno digitales) que disrumpan de alguna manera la forma clásica de llevar a cabo los proyectos de construcción o generen nuevos modelos de ingresos. La creación de un entorno digital tridimensional donde los distintos actores pueden interactuar unos con otros genera nuevas formas de relación entre los distintos agentes posibilitando la creación de nuevos modelos de negocio y nuevos modelos de ingresos.[7]
6. Por último y no por ello menos importante, en España se encuentran muchas de las más grandes y mejores compañías del mundo del sector de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción. Esto posibilita la creación del ecosistema perfecto para desarrollar el Metaverso AEC en toda su plenitud gracias a la convergencia del BIM con otras tecnologías como la Realidad Virtual, la Realidad Aumentada, el Blockchain o el 5G, junto con el propio know-how.

Referencias

- [1] BARBOSA, FILIPE; WOETZEI, JONATHAN; MISCHKE, JAN; RIBEIRINHO, M; SRIDHAR, M; PARSONS, M; BERTRAM, N; BROWN S. (2017). *Reinventing Construction: a route to higher productivity*. <<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/mgi-reinventing-construction-executive-summary.pdf>> [Consulta: 3 de octubre de 2021]
- [2] MCKINSEY & COMPANY. *The construction productivity imperative*. <<https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/the-construction-productivity-imperative>> [Consulta: 20 noviembre 2021]
- [3] DUNSTON, P; WANG, X. (2011). *A hierarchical taxonomy of aec operations for mixed reality applications*. <https://www.itcon.org/papers/2011_25.content.09587.pdf> [Consulta: 12 de noviembre de 2021]
- [4] ELSAMAHY, E. (2016). *Mixed Reality Framework for architectural design education*. <https://www.researchgate.net/publication/298788424_MIXED_REALITY_FRAMEWORK_FOR_ARCHITECTURAL_DESIGN_EDUCATION> [Consulta: 12 de noviembre de 2021]
- [5] SACKS, R; GILORAMI, M; y BRILAKIS, I. (2020). *Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech*. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165920300077?via%3Dihub>> [Consulta: 28 de febrero de 2022]
- [6] WANG, X; LOVE, P; KIM, M; y PARK, C. (2015). *A Conceptual Framework for Integrating Building Information Modelling with Augmented Reality*. <https://www.researchgate.net/publication/273134032_A_Conceptual_Framework_for_Integrating_Building_Information_Modelling_with_Augmented_Reality> [Consulta: 28 de febrero de 2022]
- [7] J. P. MORGAN. *Opportunities in the metaverse*. <<https://www.jpmorgan.com/content/dam/jpm/treasury-services/documents/opportunities-in-the-metaverse.pdf>> [Consulta: 28 de febrero de 2022]
- [8] MATTHEW BALL. *The Metaverse: What It Is, Where to Find it, and Who Will Built It* <<https://www.matthewball.vc/all/themetaverse>> [Consulta: 12 de noviembre de 2021]
- [9] KONSTRUEDU. *BIM y el metaverso: Una dupla que promete cambios radicales en la industria de la construcción*. <<https://konstruedu.com/es/blog/bim-y-el-metaverso-una-dupla-que-promete-cambios-radicales-en-la-industria-de-la-construccion>> [Consulta: 6 de febrero de 2022]
- [10] ALIANZA BIM. *BIM y Metaverso: ¿Futura alianza?* <<https://alianzabim.com/bim-y-metaverso-futura-alianza/>> [Consulta: 1 de marzo de 2022]
- [11] ENGINEERING.COM. *How Can the Metaverse Help the AEC Industry* <<https://www.engineering.com/story/how-can-the-metaverse-help-the-aec-industry>> [Consulta: 1 de marzo de 2022]
- [12] METAVERSALPOST. *El sector de la construcción comienza a usar metaversos para aumentar su competitividad*. <<https://metaversalpost.com/el-sector-de-la-construccion-comienza-a-usar-metaversos-para-aumentar-su-competitividad/>> [Consulta: 8 de febrero de 2022]
- [13] WIRED. *What is the Metaverse, Exactly?* <<https://www.wired.com/story/what-is-the-metaverse/>> [Consulta: 3 de diciembre de 2021]
- [14] EDITECA. *El impacto del metaverso en BIM*. <<https://editeca.com/metaverso-bim/>> [Consulta: 9 de diciembre de 2021]
- [15] ALIANZABIM. *Así están transformando el AEC estos 3 metaversos hispanos*. <<https://alianzabim.com/aec-metaversos-hispanos/>> [Consulta: 28 de febrero de 2022]

EXPERIENCIAS REALES CON BIM



DIGITALIZACIÓN DE TÚNELES URBANOS CON REVIT

Moya Sala, Joaquim^a; Jardí Margalef, Agustí^b;

^a Doctor Arquitecto por la UPC, de Barcelona (Expresión Gráfica Arquitectónica, Universitat Politècnica de Catalunya, España) y Director del Departamento de I+D+i de Apogea Consulting. qmoya@apogeaconsulting.com, ^b Ingeniero Agrónomo por la UdL, y Director del Área de Consultoría y Formación de Apogea Consulting ajardi@apogeaconsulting.com

Abstract

The workflow of an actual project will be displayed. The process begins from a point cloud raised with laser scanner and through the previous use of Rhino + GRASSHOPPER, the previous modeling of geometries that interpret the point clouds is carried out. Later, through the RhinoInside application, it is adapted to the REVIT context. In Revit, different automatisms are carried out using Dynamo to locate components such as Luminaires, Signals, fire extinguishers, etc. Also in Revit, the creation of parameters and their filling is carried out according to the EIR of the client, so that it is finally exported to IFC. The IFC is internalized in Navisworks, and then certain elements (the assets) are exported through lists to CSV, and then in QGIS generate a GIS file with the geoposition and vector data of the assets of the model. This work has allowed to establish BIM-GIS model connected to the current databases of integral management of the Urban Tunnels system of the City of Barcelona

Keywords: BIM, civil engineering, digitalization, inventory, automation, GIS, Point Clouds

Resumen

En esta comunicación se mostrará el flujo de trabajo de un proyecto real. El proceso se inicia a partir de nubes de puntos levantadas con láser escáner. Mediante la utilización de Rhino + GRASSHOPPER, se realiza el modelado de geometrías que interpretan las nubes de puntos. Posteriormente mediante RhinoInside se adapta la geometría al contexto de REVIT. En ese punto se realizan diferentes automatismos mediante Dynamo para ubicar componentes como Luminarias, Señales, extintores, etc. También en Revit, se realiza la creación de parámetros y su relleno de acuerdo a los EIR del cliente, para que finalmente se exporte a IFC. El IFC es interiorizado en Navisworks, y posteriormente determinados elementos (los activos) son exportados mediante listados a CSV, para luego en QGIS generar un archivo GIS con la geoposición y datos vectoriales de los activos del modelo. Este trabajo ha permitido establecer modelo BIM-GIS para conectarlo con las actuales bases de gestión integral del sistema de Túneles Urbanos de la Ciudad de Barcelona

Palabras clave: BIM, ingeniería civil, digitalización, inventario, automatización, GIS, Nubes de Puntos

Introducción

La metodología BIM en el campo de las infraestructuras, concretamente en el diseño de túneles, aún se encuentra en una fase temprana de desarrollo (Song 2019). Cuando queremos aplicar la metodología BIM al modelado de túneles nos vemos obligados a utilizar herramientas elaboradas con otros fines y adaptarlas para nuestro caso de uso, esto es, a un proyecto de modelado de túneles.

Uno de los mayores problemas que nos encontramos en la digitalización de infraestructuras es la rigidez geométrica de algunas de las herramientas que se usan en el BIM, que lo hace una herramienta poco eficaz para el modelado de formas no convencionales en edificación e ingeniería. En el caso de los túneles, en que se debe trabajar con formas curvas a lo largo de un recorrido, algo que en edificación no ocurre habitualmente, vemos que no tenemos herramientas adaptadas para ello en la mayor parte de softwares BIM, o si las hay, tienen un uso poco eficaz. Por otro lado, los sistemas paramétricos permiten el modelado de elementos de alta complejidad geométrica y una gran flexibilidad de uso que les permite adaptarse a cualquier situación, pero lo hacen en un entorno que no es compatible con el BIM. Por ello vincular ambos campos, el paramétrico y el BIM, puede ayudar a superar las limitaciones de ambos (Boeykens 2012).

Una de las herramientas más usadas en el campo del diseño paramétrico es GRASSHOPPER, que ha demostrado tener una gran capacidad para solucionar diseños de geometría compleja. Este mecanismo es la pieza ideal para convertir las nubes de puntos en geometría que podamos utilizar en un sistema BIM. El problema se encuentra en cómo crear la conexión entre el software BIM utilizado (REVIT) y GRASSHOPPER, que funciona sobre la plataforma Rhino 3D. Recientemente se ha desarrollado un complemento de REVIT que facilita esta conexión llamado "RHINO INSIDE". Este complemento permite utilizar GRASSHOPPER para generar elementos de REVIT de forma directa.

La combinación de estos mecanismos es lo que nos ha permitido afrontar este proyecto, en el que se debían convertir nubes de puntos de túneles a modelos BIM de una forma sistemática, no puntual y por lo tanto era necesario realizar una cadena de montaje. El proceso de transformación de nubes de puntos a modelos BIM sigue siendo extremadamente complejo y aún existen numerosas limitaciones tecnológicas (Barazzetti 2015) (Badenko 2018) (Bassier 2020), sin embargo, resulta imprescindible usar automatizaciones en dicho proceso ya que un procedimiento estrictamente manual resulta extremadamente costoso en el tiempo (Thomson 2015) y por lo tanto el uso de automatizaciones es imprescindible, aunque estas solo tengan un uso exclusivo en cada modelo y resulten muy difíciles de aprovechar en otros proyectos.

La problemática planteada en el levantamiento de infraestructuras es muy similar a la que encontramos en levantamiento patrimonial en BIM, en el que elementos preexistentes deben ser modelados en un entorno en el que puedan vincularse a bases de datos, por ello las estrategias que se han utilizado son similares. En la mayor parte de casos son procedimientos semiautomáticos, en los que el trabajo más intensivo y mecánico se sustituye por automatizaciones, (Justo 2021) (Macher 2017). Por ello la aproximación de este trabajo es similar, aunque a diferencia de otros se ha planteado de una forma sistemática y no puntual para un caso concreto.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: la sección 2 describe la metodología utilizada. La sección 3 introduce los experimentos llevados a cabo y los resultados obtenidos. Por último, la sección 4 concluye con una discusión y trabajos futuros.

2. Metodología

2.1. Objetivos

El estudio que se presenta tiene por objetivo mejorar la gestión de la red de túneles urbanos de la ciudad de Barcelona desde un entorno digital. Para ello ha sido necesario generar modelos BIM de los mismos. Dichos modelos debían partir de nubes de puntos para generar la geometría correspondiente al túnel e identificar los distintos componentes que lo conforman como luminarias, señales, muros, vallas, etc. También fue necesario definir los requisitos de información y desarrollar el flujo de trabajo con el fin de obtener un

entregable BIM bajo estándares abiertos y un entregable GIS, ya que los sistemas de gestión actuales están basados en GIS.

Mediante Rhino Inside hemos podido utilizar un sistema paramétrico para superar las limitaciones del software BIM, cosa que nos ha permitido introducir la compleja geometría de los túneles a partir de nubes de puntos. Una vez esa limitación técnica ha sido superada, se ha desarrollado el flujo de trabajo mediante el cual se van a coordinar dichas herramientas.

El flujo de trabajo se ha diseñado teniendo en cuenta la naturaleza de la información de partida y las características de los entregables finales. En nuestro caso partíamos de una nube de puntos facilitada por el cliente, en formato e57. A partir de esa nube debíamos producir modelos BIM para cada uno de los túneles en formato nativo (RVT) y en IFC. Por cada archivo RVT se generaban varios archivos IFC según las especialidades que se pretendían exportar (firmes, estructura, instalaciones, drenaje, señalización) de acuerdo a los diferentes sistemas de gestión para los que iba dirigido. Añadido a lo anterior, los elementos puntuales de instalación (luminarias, semáforos, ventiladores, etc.) se requería la entrega en formato GIS (shp). Esta entrega en GIS consistía principalmente en proporcionar un archivo con la ubicación de los elementos en el sistema de coordenadas ETRS 89 31N y para cada una de las posiciones sus datos asociados (datos de identificación, localización por zonas y prestaciones)

El nivel de detalle geométrico que se acordó fue un LOD300 según AIA-BIMForum o G2 (según PASS 1192-2 – UK). En cuanto a la información contenida por el modelo se definió la creación de parámetros basados en el manual de BIM de la Generalitat de Catalunya que posteriormente exportados a IFC se agrupaban en diferentes conjuntos de propiedades a los que llamaremos “Property sets” (Psets).

La agrupación de parámetros se realizó en tres *Property sets*:

- Identificación, (con la clasificación – código y descripción, nombre de tipo, fuente de información, Guid,...)
- Localización, en donde se introdujeron parámetros referentes a la georreferenciación y conciliación con el actual GRAFO de infraestructuras – código de línea, y diferentes criterios de la actual base de GIS, y en donde además se introdujeron códigos específicos según el actual sistema de gestión de mantenimiento para garantizar la correcta nomenclatura de los activos y su gestión.
- Por último, se planteó un conjunto de propiedades para las prestaciones de los elementos tales como marca, material, etc.

2.2. Propuesta

Teniendo en cuenta la información inicial y los entregables que se deben realizar, es cuando realmente se está en disposición de elaborar el flujo de trabajo correspondiente. Al tener que realizar varios túneles, el flujo debería de estar estandarizado, claro y automatizado en la medida de lo posible. Para ello, se planteó la forma de poder diseñar un procedimiento que fuera capaz de aunar estas premisas. De esta forma se ideó un flujo que tenía por lema: “lo mejor de cada herramienta y un buen engranaje de transmisión de información e interoperabilidad en cadena”.

La figura 1 (siguiente página) muestra un esquema resumen de la metodología llevada a cabo en el presente trabajo. Como se puede apreciar, en nuestro procedimiento combinamos cuatro tecnologías: GRASSHOPPER, REVIT, NAVISWORKS y QGIS.

Por un lado, Rhino-GRASSHOPPER aporta la versatilidad y la capacidad de leer nubes de puntos, gestionarlas y modelar de forma parametrizada los elementos. Pero el punto clave de su elección definitiva es por la capacidad de integrar los elementos contenidos de Rhino-GRASSHOPPER en Revit mediante la extensión RHINO INSIDE de forma que todo lo modelado se puede convertir elementos nativos de Revit. No todos los elementos del entregable final se originan en Rhino-GRASSHOPPER, los elementos puntuales como señales de tráfico, luminarias, ventiladores, extintores y demás no se modelan directamente en Rhino-GRASSHOPPER, pues no sería eficiente, si no que se introducen solo como elementos puntuales, con un vector de orientación y con un dato que identifica que clase de elemento va en esa posición. Una vez esos

datos han sido trasladados a REVIT, a través de DYNAMO, se emplazan familias de REVIT en cada posición con la orientación deseada, completando así el modelo.

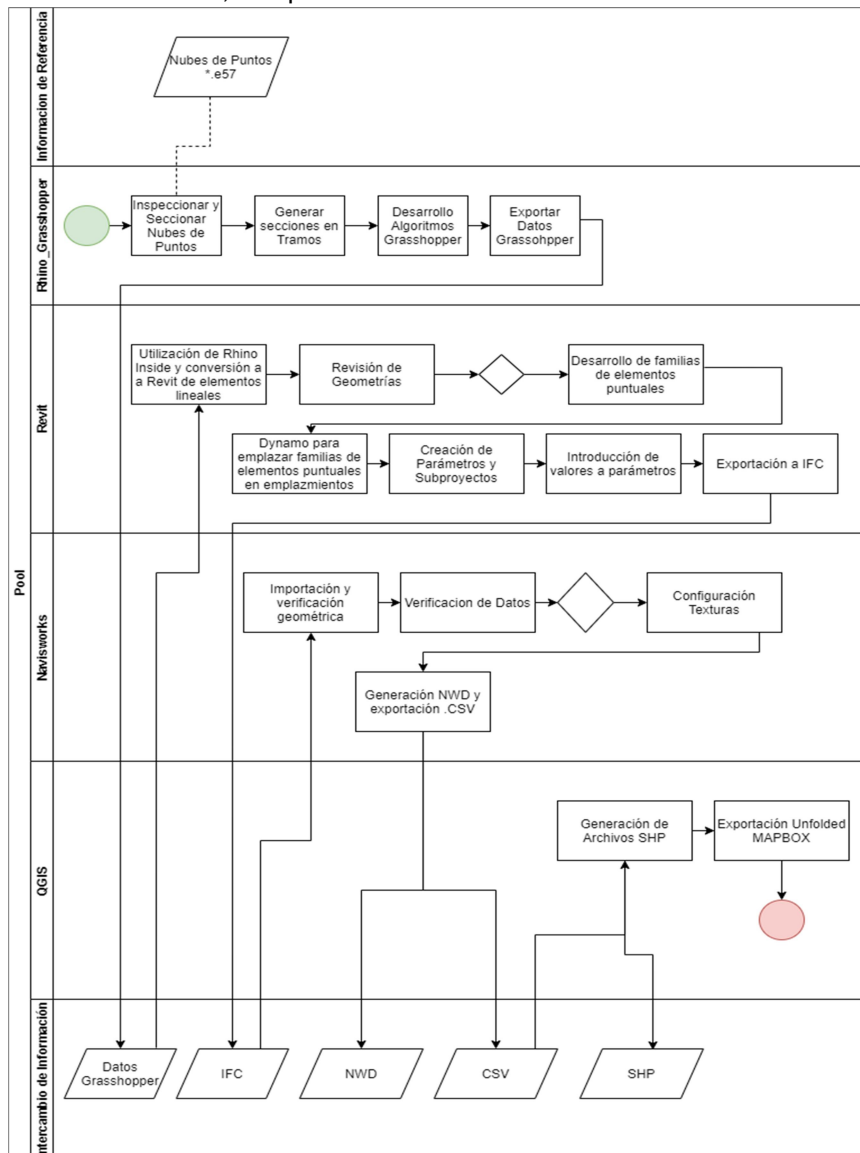


Fig 1. Arquitectura del sistema para la digitalización de puentes

Revit toma un rol muy específico en nuestro trabajo, ya que es utilizado como un hub de información que parte de los datos facilitados por el Modelo de Rhino-GRASSHOPPER y los completa insertando elementos (familias RFA) a través de DYNAMO en los emplazamientos designados. De esta forma, Revit se convierte en un receptor y gestor de geometrías, eludiendo el modelado convencional. Por otro lado, Revit permite la gestión de información requerida mediante la creación de parámetros para cada uno de los elementos y su posterior introducción. Por último y no menos importante se permite realizar la exportación de información vía IFC según los requisitos.

Se escoge Navisworks como herramienta de coordinación y de gestión de los modelos en forma de IFC emitidos por parte de Revit porque permite:

- Generar un modelo coordinado de todas las especialidades requeridas para cada túnel (Firmes, Estructuras, Instalaciones, Señalización, Espacios, etc)
- Generar un entregable NWD que es publicado en Autodesk Docs y que muestra las propiedades agrupadas según las directrices del proyecto.
- Realizar la auditoría geométrica y de información de los elementos para garantizar la correcta calidad del modelo según lo requerido en el BEP.
- Realizar la configuración de texturas de los elementos y mejorar su capacidad de comunicación en la nube.

Una vez verificada la información desde todos los puntos de vista se realiza la extracción de la información de los elementos puntuales de instalaciones (luminarias, semáforos, Ventiladores, Extintores, Radares, etc.) a formato CSV para que posteriormente sean transformados en elementos GIS

La parte final del proceso se centra en transformar la información exportada en forma de CSV a GIS, para ello se utiliza QGIS. Por una parte se genera el archivo requerido como entregables (shp) y por otra mediante el complemento de publicación de *Unfolded* permite transmitir esa información en un visor web 3D con la tecnología de *Mapbox*.

Por último, una de las claves de la metodología BIM y de su aplicación consiste en mejorar la comunicación con los agentes del proyecto. Para ello se ideó la generación de una página web específica y la utilización en todo momento del *Autodesk Collaborate (BIM 360 Docs-Design* como “entorno común de datos” (CDE)). En la página web se establecieron dos secciones. La primer de seguimiento y de gobernanza, en donde se proporcionaba la información de avance del proyecto con links para acceder a los BEP ubicados en Docs. Y otra sección de entregables en donde se ubican los links de acceso a Autodesk Docs de cada entregable, además en esta sección se incorporaron apartados de Maps para ubicar la ubicación de los diferentes túneles y también la ventana de *Unfolded* con todo el inventario de GIS finalmente extraído para todos los túneles.

3. Aplicación a un caso de estudio

En esta sección describimos el caso práctico sobre el que hemos aplicado la metodología descrita en la sección anterior. En concreto, nuestro objetivo se centra en poder disponer de los activos digitales de los elementos que conforman la red de túneles urbanos de la ciudad de Barcelona para poder ser transmitidos a sistemas de gestión y mantenimiento.

El trabajo de modelado en Rhino-GRASSHOPPER a partir de las nubes de puntos se divide en tres casos:

- Modelado de elementos lineales: Firmes, Muros, Pintura, Aceras, Bordillos, Barreras
- Modelado de posicionamientos de elementos: ubicación de luminarias, de señales verticales, de extintores, ventiladores, etc.
- Modelado de Espacios: Elementos de identificación de zonas en donde se ubican los activos de gestión futuros

Para el modelado de los elementos lineales a partir de las nubes de puntos lo primero que se realiza es un análisis y un seccionamiento por tramos del túnel para poder gestionar mejor la información. En el BEP se incluyen los criterios con los que se va a seccionar cada túnel. Por ejemplo, un firme no puede ser continuo a lo largo de toda la geometría del túnel, se debe de dividir por zonas concretas según los criterios de gestión. Así pues, en cada sección se redibuja el perfil de cada uno de los elementos lineales según la nube de puntos, y los elementos puntuales se colocan cajas con posición y orientación específicas.

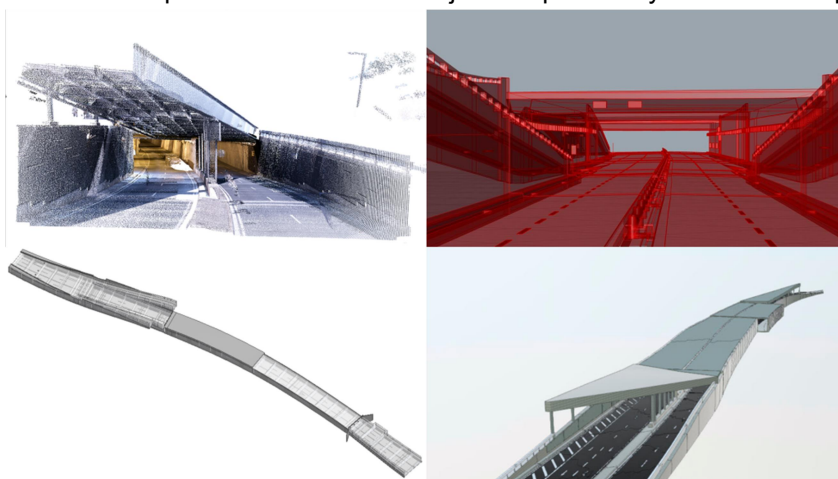


Fig.2 Representación del proceso que lleva de la nube de puntos, pasando por GRASSHOPPER, REVIT y NAVISWORKS

Una vez generado el modelo en GRASSHOPPER, mediante RhinoInside se puede convertir a entidades nativas de Revit. Además, en este paso será necesario ubicar en coordenadas a los elementos puntuales según los datos aportados por GRASSHOPPER. La tabla 1 muestra el criterio utilizado para la conversión, según la naturaleza de los elementos a categorías de Revit.

Tabla 1. Mapeo de entidades

Elementos identificados en la nube de puntos	Categorías de Revit
Espacios	Mass
Luminarias/Tubos de electricidad / Cuadros eléctricos	Electrical Equipment
BIEs/Extintores	Specialty Equipment
Suelos	Site
Pilares	Columns
Estructura (Muros, Techo, Tunel)	Structural Framing
Biondas, quitamiedos, aceras, bordillos, etc.	Site
Cunetas, sumideros	Plumbing Fixtures

Una de las características más destacables en este flujo de trabajo es la utilización de Revit de un modo distinto a la forma tradicional de modelar. En este caso Revit se ha convertido en Hub de recepción y conversión de geometrías, y por supuesto en un ente gestor de información.

La organización del trabajo en Revit se divide en 2 etapas principales, por un lado, la de construir la geometría y por otro lado la de gestión de información. Los trabajos de geometría consisten en:

- Una primera comprobación de los datos que llegan a través de RHINO INSIDE
- Generar los elementos lineales cómo geometrías directas o nativas
- Modelar de forma automática los elementos puntuales a través de un script de Dynamo, que lee un parámetro específico e inserta familias de componente que previamente se han modelado. De esta forma se obtienen perfectamente posicionados los elementos puntuales del modelo.

Por otro lado, las tareas de gestión de la información se abordan mediante la creación de los parámetros según lo estipulado en el BEP. Estos se rellenan con sus correspondientes valores. Para ellos se utiliza el complemento de DiRoots (ver imagen 3).

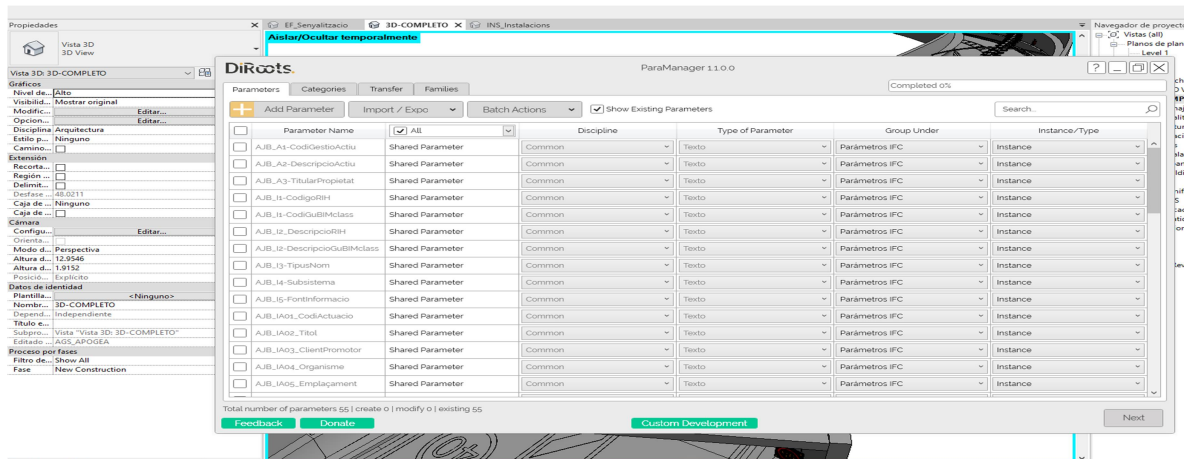


Fig 3. Creación de Parámetros en Revit Mediante DiRoots

Completada la geometría y rellenos los parámetros, queda pendiente la tarea de exportar los diferentes IFC del modelo del túnel según las especialidades definidas en el BEP, de forma que para un mismo túnel se exportan los siguientes modelos:

Tabla 2. Exportación de IFC para cada modelo de túnel

Nombre del Archivo IFC	Especialidad
20004128-PROJ-PR-FE_Mir	FE - Firmes
20004128-PROJ-PR-ES_Mir	ES - Elementos estructurales
20004128-PROJ-PR-EF_Mir	EF - Señalización vertical, horizontal y balizamiento
20004128-PROJ-PR-INS_Mir	INS – Instalaciones de Alumbrado, Ventilación, Incendios
20004128-PROJ-PR-URB_Mir	URB - Elementos de urbanización: acera, bordillo, etc
20004128-PROJ-PR-DR_Mir	DR - Drenaje
20004128-PROJ-PR-ESP_Mir	ESP – Espacios de localización

Con el fin de facilitar la exportación a IFC de cada una de las especialidades se realiza la creación de subproyectos a los que se asignan los elementos correspondientes a la especialidad. Así posteriormente podemos obtener vistas de exportación separadas para cada especialidad. Finalmente se efectúa la exportación mediante el uso de un archivo de mapeo .txt que asegure la asignación de parámetros en agrupaciones según los requisitos del BEP.

En este flujo de trabajo Navisworks tiene un papel fundamental. Los diferentes IFC generados para cada túnel se insertan en un solo modelo coordinado.

Por un lado, esto nos ayuda a realizar el control de calidad de la información geométrica y paramétrica de modo que podamos garantizar el cumplimiento del BEP. Por otro lado se utiliza como un vector para transmitir la información en forma de modelo coordinado (NWD) para Autodesk Docs – CDE y GIS mediante la exportación de un CSV.

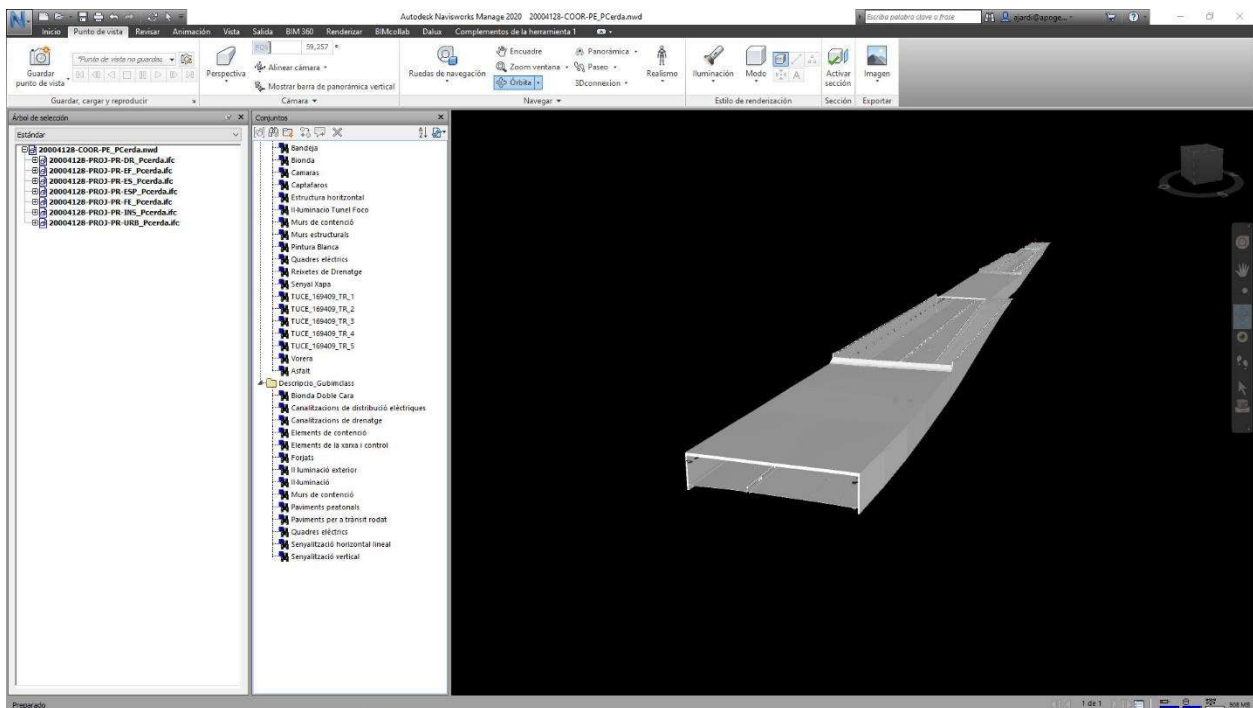


Fig 4. Control de calidad en Navisworks

Validada la información, se procede a la configuración de texturas para mejorar la comunicación visual en Autodesk Docs, de forma que se pueda visualizar en la nube por parte de todos los agentes (ver imagen 5).

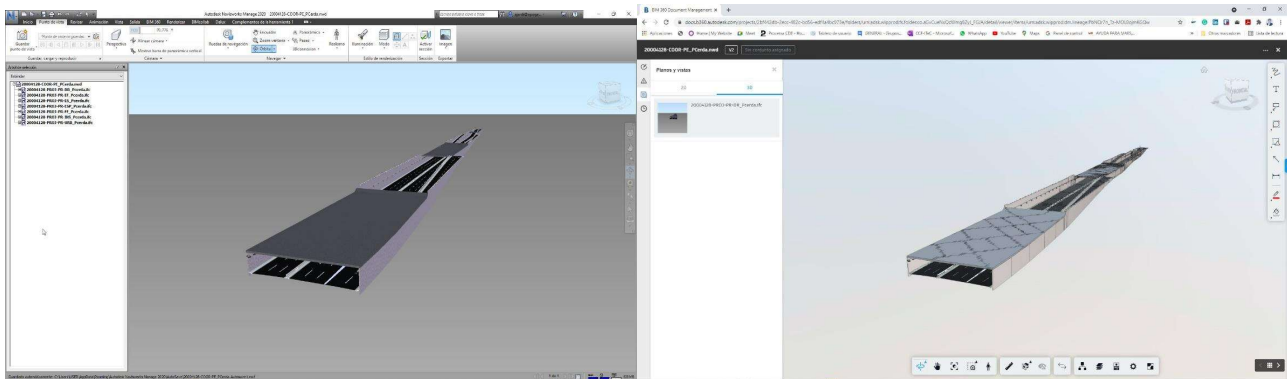


Fig 5. Configuración de texturas en Navisworks (izq.) y visualización del modelo en Autodesk Docs (der.)

En la parte final del proceso de publicación se realiza la exportación de Navisworks a CSV para los elementos puntuales, de forma que posteriormente se puedan convertir a GIS de forma sencilla. Para ello se realizaron dos pasos; el primero es la exportación utilizando la extensión *Properties+* de un CSV que contenga el listado de los elementos requeridos con todos los campos de información (véase imagen 6)

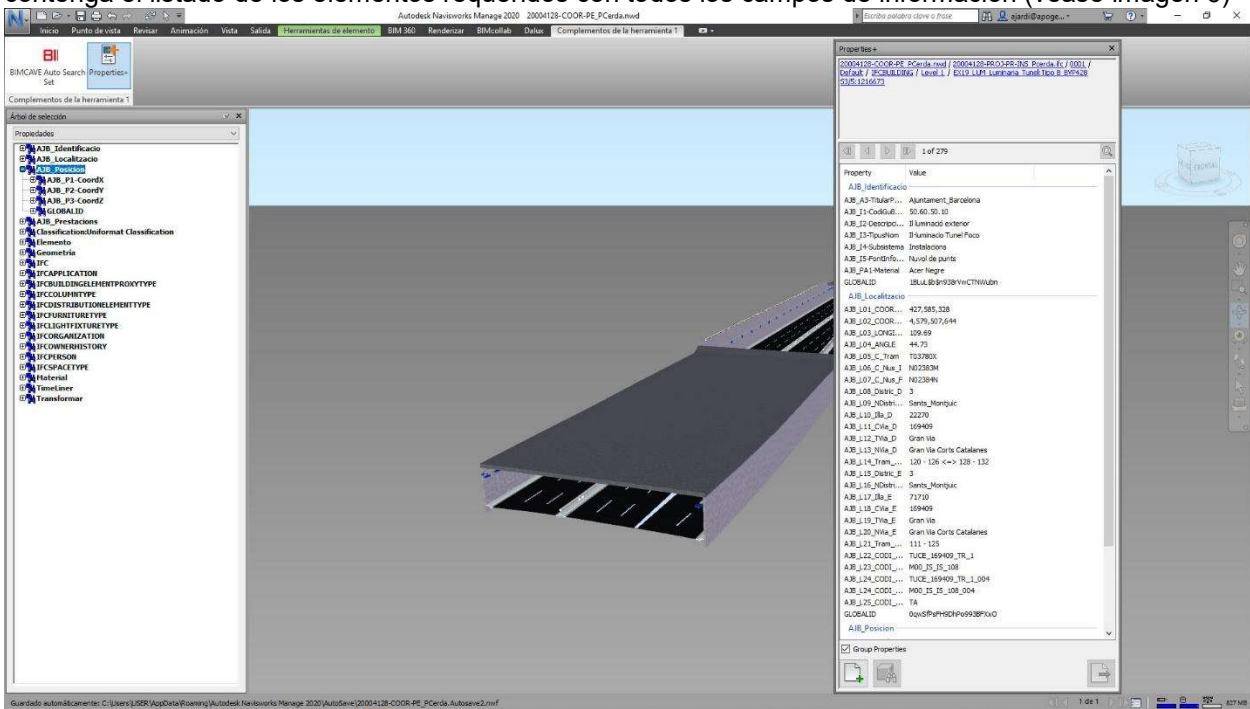


Fig 6. Exportación de CSV en Navisworks

A partir de la tabla elaborada queda pendiente un último paso, su inserción en el software QGIS y la posterior transformación y guardado de un archivo GIS vectorial de puntos (*.shp) con la ubicación y datos de cada uno de los activos originados en el modelo BIM (ver imagen 7).

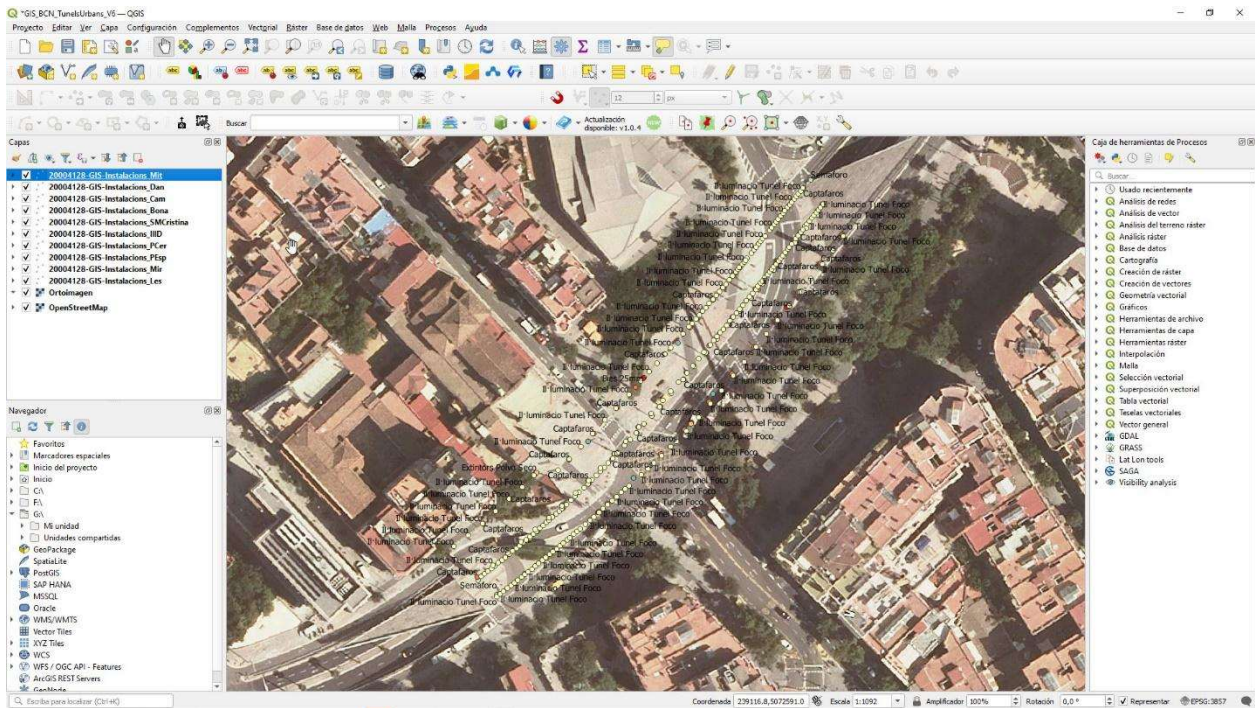


Fig 7. Generación del archivo GIS a partir del CSV

Cabe destacar que para la gestión del proyecto se utilizaron Autodesk Docs como CDE y luego la aplicación Google Sites para crear un portal web del proyecto. De esta forma se consiguió que todos los agentes del proyecto tuvieran una comunicación más rápida, directa y eficiente.

Autodesk Docs se utilizó para compartir la información dentro de todos los ámbitos: tanto para el *Work In Progress* como para los procesos de revisión y publicación. Esto nos permitió que los diferentes responsables del modelado estuvieran trabajando en la nube y de forma deslocalizada, y por otro lado, se establecieron los procedimientos de gestión documental para almacenamiento y revisión de todos los archivos siguiendo las directrices de la norma UNE-EN ISO 19650.

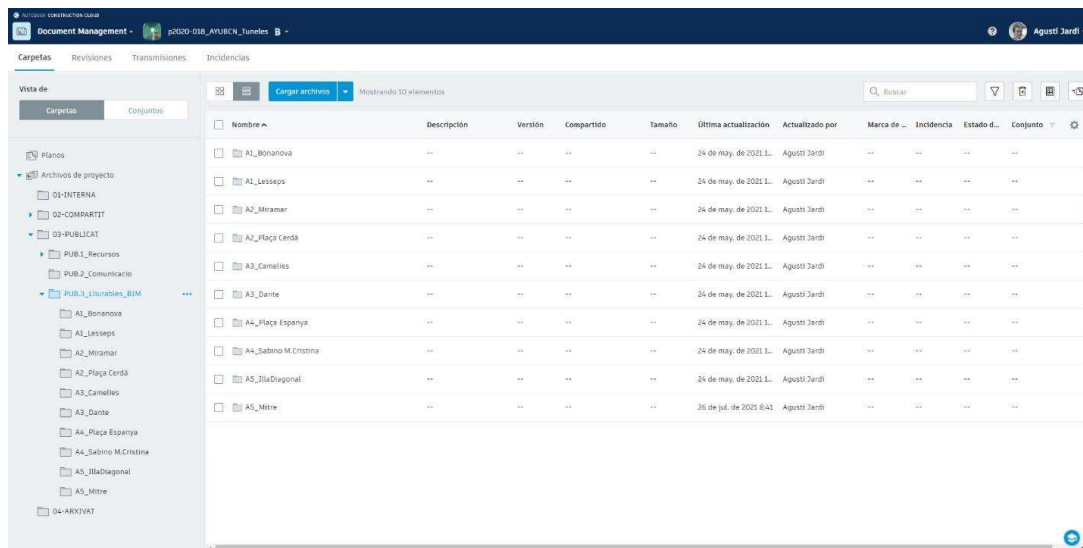


Fig 8. Organización del CDE - Autodesk Docs.

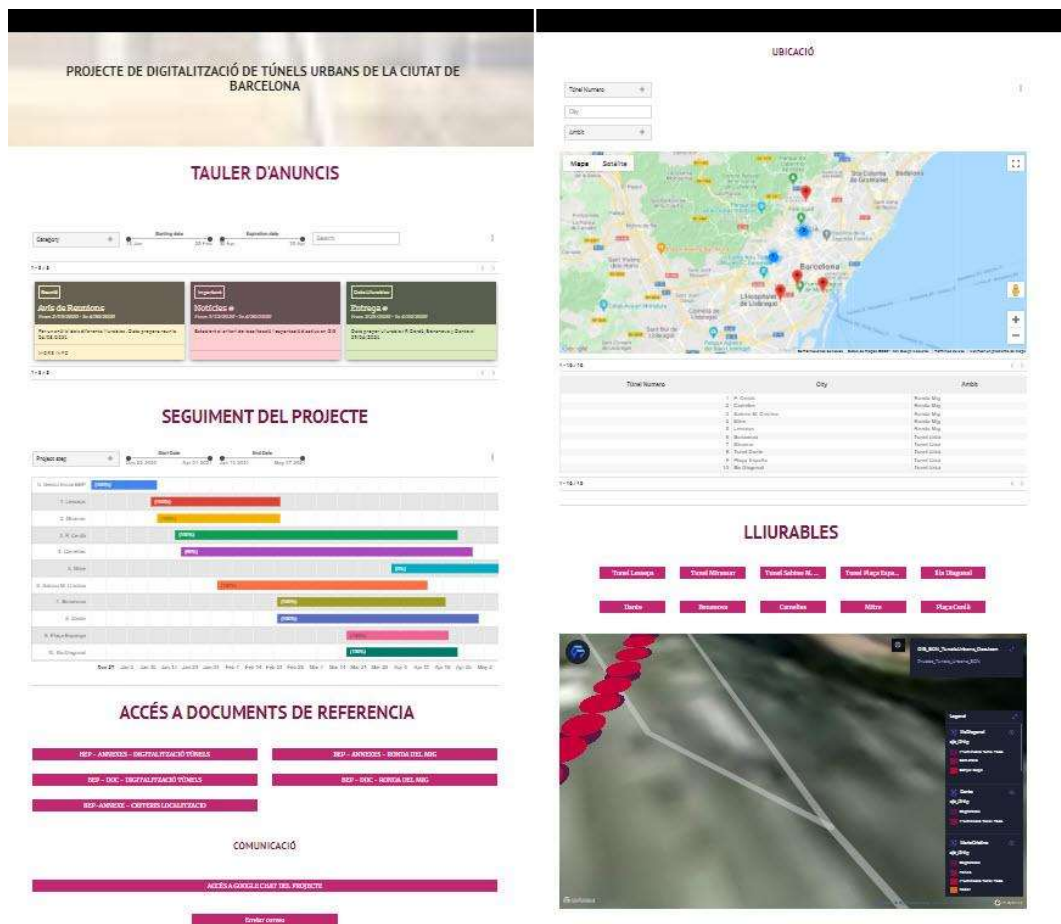


Fig 9. Vista de la página web <https://digitalizacioutunelsbcn.apogeaconsulting.com/>

Con el objetivo de facilitar el acceso a la información y también para jerarquizar aquella que es más relevante en el transcurso del proyecto (cumplimiento de planning, incidencias, acceso a documentos de referencia, etc.) se creó una página web en el entorno de Google Sites. En esta se insertaron los diferentes links a los documentos almacenados en Docs: tanto para documentos de referencia como para entregables.

4. Conclusiones y trabajos futuros

Mediante esta metodología hemos logrado convertir las nubes de puntos a objetos de REVIT informados, que luego han podido ser exportados a múltiples IFC y a GIS. La conexión mediante RHINO INSIDE ha sido fundamental para poder poner en contacto el sistema paramétrico con el software de BIM. El uso de sistemas paramétricos ha permitido gestionar las nubes de puntos de tal modo que hemos podido extraer toda la información de las mismas.

Este proceso ha mostrado algunas problemáticas en la conversión de elementos de la nube de puntos a BIM. En primer lugar, sólo hemos podido exportar de forma cómoda usando geometrías genéricas en REVIT en vez de generar directamente muros, pavimentos, etc. Solo en algunas ocasiones hemos podido generar algunos forjados no sin ciertas dificultades. La conversión a elementos nativos de REVIT en esta ocasión no era fundamental, pues no se había necesidad de modificar el modelo una vez introducido en REVIT. Sin embargo, de existir tal necesidad, poder generar elementos nativos de REVIT habría sido necesario y ese paso aún resulta complejo con los sistemas actuales.

Por otro lado, la conversión de las nubes de puntos a sólidos usando GRASSHOPPER presentaba en algunas ocasiones anomalías que impedían su conversión a REVIT. Esto ha causado algunos retrasos y revisiones a lo largo del proceso y es que la conversión de las nubes de puntos a geometría aún resulta muy difícil de estandarizar debido principalmente a la excepcionalidad de cada nube y de los elementos en

ella contenidos. Esto obliga a desarrollar específicamente un algoritmo en GRASSHOPPER para cada túnel, cosa que da lugar a errores y problemas inesperados que son inherentes a cada caso.

En un futuro sería necesario desarrollar mecanismos por los que se pudieran sistematizar ciertos procedimientos que se van repitiendo en todos los casos, especialmente en GRASSHOPPER, que es el apartado que más tiempo nos está consumiendo. Para ello se deberían plantear un procedimiento estándar que sea efectivo para todos los casos y convertirlo en un nodo que ahorre trabajo y simplifique los scripts. También sería necesario encontrar formas más robustas de convertir las geometrías de GRASSHOPPER a elementos de REVIT, que hasta el momento ha sido un proceso muy problemático.

A pesar de los problemas mencionados se ha logrado un proceso fluido con el que se han resuelto todos los túneles en un breve periodo de tiempo a pesar de la variedad de situaciones que presentaban. De no haber usado estas estrategias este trabajo habría supuesto un tiempo y una complejidad no rentables.

Referencias

Boeykens, S., 2012. Bridging building information modeling and parametric design. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2012*, p.453.

GRASSHOPPER. <<https://www.rhino3d.com/es/6/new/GRASSHOPPER/>>

NAVISWORKS. <<https://www.autodesk.es/products/navisworks/overview>>

REVIT. <<https://www.autodesk.es/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>>

RHINO INSIDE. <<https://www.rhino3d.com/inside/revit/1.0/>>

Song, Z., Shi, G., Wang, J., Wei, H., Wang, T. and Zhou, G., 2019. Research on management and application of tunnel engineering based on BIM technology. *Journal of Civil Engineering and Management*, 25(8), pp.785-797.

Barazzetti, L., Banfi, F., Brumana, R. and Previtali, M., 2015. Creation of parametric BIM objects from point clouds using NURBS. *The Photogrammetric Record*, 30(152), pp.339-362.

Thomson, C. and Boehm, J., 2015. Automatic geometry generation from point clouds for BIM. *Remote Sensing*, 7(9), pp.11753-11775.

Justo, A., Soilán, M., Sánchez-Rodríguez, A. and Riveiro, B., 2021. Scan-to-BIM for the infrastructure domain: Generation of IFC-compliant models of road infrastructure assets and semantics using 3D point cloud data. *Automation in Construction*, 127, p.103703.

Macher, H., Landes, T. and Grussenmeyer, P., 2017. From point clouds to building information models: 3D semi-automatic reconstruction of indoors of existing buildings. *Applied Sciences*, 7(10), p.1030.

Bassier, M. and Vergauwen, M., 2020. Topology reconstruction of BIM wall objects from point cloud data. *Remote Sensing*, 12(11), p.1800.

Badenko, V., Volgin, D. and Lytkin, S., 2018. Deformation monitoring using laser scanned point clouds and BIM. In MATEC Web of Conferences (Vol. 245, p. 01002). EDP Sciences.



DEVELOPING A DECISION SUPPORT SYSTEM AND A BUILDING MANAGEMENT SYSTEM FOR BUILDING PORTFOLIO MANAGEMENT

Di Giuda, Giuseppe Martino^a; Tagliabue, Lavinia Chiara^b; Pellegrini, Laura^c; Meschini, Silvia^c; Seghezzi, Elena^c; Schievano, Marco^c y Marenzi, Giorgia^c; ^aDepartment of Management, Università degli Studi di Torino, Turin, Italy, giuseppemartino.digiuda@unito.it; ^bDepartment of Computer Science, Università degli Studi di Torino, Turin, Italy, laviniachiara.tagliabue@unito.it; ^cDepartment of Architecture built environment and construction engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy, laura1.pellegrini@polimi.it, silvia.meschini@polimi.it, elena.seghezzi@polimi.it, marco.schievano@polimi.it, giorgia.marenzi@polimi.it.

Abstract

The organizational effectiveness and functioning during the Operation and Maintenance (O&M) phase are influenced by occupancy and space use, which are highly variable over time. Therefore, spaces can be inadequate for actual uses, leading to poor levels of space use and cleanliness. This, as well as Indoor Environmental Quality (IEQ), affects user well-being, satisfaction, and productivity. Real-time occupancy and IEQ monitoring and analyses are needed to achieve effective and efficient asset management and user well-being. The article presents an ongoing research project to define a Decision Support System and a Building Management System for Facility Management based on IoT sensor networks and a dashboard. Recent updates concern: the integration of modules to monitor man-down and social-distancing, as a consequence of COVID-19 pandemic-related situation; the installation of sensors to monitor IEQ in a limited number of rooms; the definition of the dashboard enabling data analytics at floor and building level, and simulations of what-if scenarios. The methodology is being applied and tested in a pilot study building. The research aims to support the optimization of buildings operational stage regarding space use, O&M activities, and indoor conditions, increasing workplace adaptability to changing conditions and needs, and ensuring increased user satisfaction and well-being.

Keywords: Building Management System, Decision Support System, IoT sensor network, Digital Twin, Indoor Environmental Quality, Facility Management, occupancy.

Resumen

La eficacia y el funcionamiento organizativo durante la fase de explotación están afectados por la ocupación y el uso del espacio, que son variables con el tiempo. Por eso, los espacios pueden ser inadecuados para los usos reales, provocando niveles inadecuados de uso y limpieza. Esto, además de la Calidad Ambiental Interior (IEQ), afecta al bienestar y la productividad de los usuarios. Para conseguir una gestión eficiente del edificio y el bienestar de los usuarios, se necesita monitorizar y analizar la ocupación y la IEQ en tiempo real. La investigación aspira a definir un Sistema de Apoyo a las Decisiones y un Sistema de Gestión de Edificios basado en redes de sensores y un tablero de mandos, y se está probando en un caso de estudio. Recientemente se ha integrado la monitorización del hombre caído y del distanciamiento social, en relación con la pandemia COVID-19, y los sensores para monitorizar la IEQ, y se ha definido el tablero de mandos, que permite el análisis de datos, y la simulación de escenarios hipotéticos. Este estudio se propone optimizar la fase de explotación sobre el uso del espacio, las actividades y la IEQ, aumentando la adaptabilidad del espacio a las condiciones variables y garantizando una mayor satisfacción y bienestar de los usuarios.

Palabras clave: Sistema de Gestión de Edificios, Sistema de Apoyo a las Decisiones, Red de sensores, Gemelo Digital, Calidad Ambiental Interior, Gestión de edificios, ocupación.

Introduction

Asset management, and the effectiveness and functioning of an organization, are strongly affected by occupancy and space use (Bento Pereira 2016; Zimmerman 2001). Space use, cleanness, and Indoor Environmental Quality (IEQ) are, in turn, related to user well-being, satisfaction, and productivity (Agha-Hosseini 2013; Al Horr 2016). Consequently, it is critical ensuring an efficient asset management during the Operation and Maintenance (O&M) phase and to ensure user satisfaction and well-being regarding their workplace.

During the design phase occupancy and space uses are typically sized according to use-based standardized data, such as expected values for energy models (Dong 2018), while, during the O&M phase, they are typically represented by static schedules. However, occupancy and space uses are highly variable over time. In addition, user need and space organization requirements are not considered as design parameters or, by the time the building is constructed and operated, they have changed (Zimmerman 2001). Consequently, occupancy and space uses typically differ from the values considered during the design phase, causing poor levels of space use and cleanness. Additionally, since early 2020 the current COVID-19 related situation strongly affected asset management and workplaces organization. Many workers have been forced to remote working practices (Kniffin 2020), drastically accelerating the spread of remote working, a slowly growing phenomenon in the last 10 years (European Union 2020). Recently, in the Italian context, governmental policies tried to facilitate a return to normality by revoking the adoption of remote working practices for Public Administration workers (Italian Parliament and Government 2021). On the other hand, remote working practices have been partially maintained in private companies. In addition, some companies or institutions have decided to convert some underutilized spaces into spaces that can be used by reservation via app. Consequently, it has become even harder to predict workplace occupancy and to consider fixed scheduled occupancy as a reliable information to define and manage FM activities and space organization. Another critical aspect considering facility management and user flows in the current COVID-19 related situation is linked to the respect of social distancing, the use of masks, and temperature monitoring (World Health Organization 2021). Furthermore, another aspect strongly influencing user well-being, satisfaction, and productivity regarding their workplaces is represented by IEQ (Al Horr 2016; Choi 2012). A continuous evaluation of IEQ factors, such as thermal and lighting conditions, air quality, and space assessment, during the building lifecycle, is a key strategy to guarantee building quality and sustainability (Parkinson 2019).

All the above highlights the need of continuous real-time building monitoring of occupancy and indoor conditions, and data analysis to achieve effective and efficient Facility Management (FM) processes, to improve existing buildings' use and space organization, and to ensure user satisfaction and well-being. In addition, space monitoring is fundamental to guarantee safety in existing buildings, especially considering the current sanitary emergency related to COVID-19 pandemic (Capolongo 2020).

The research investigates the definition of a Decision Support System (DSS), supporting facility managers in the decision-making process during the O&M phase, and of a Building Management System (BMS), allowing to monitor and control space uses and indoor environmental conditions. The system includes Post-Occupancy Evaluations (POEs) and IoT sensor networks for building monitoring, integrating occupancy levels, indoor environmental conditions, and additional relevant building data. The research aims to manage and optimize existing buildings' FM activities and services, space organization, and IEQ according to actual occupancy and user needs. The research project will lay the groundwork for the definition of a Digital Twin for occupancy-oriented FM to monitor, analyze, and optimize existing building space management and organization, and FM activities and services according to actual user needs, occupancy, and indoor environmental conditions.

The paper briefly introduces the general methodology of the ongoing research project, then focuses on latest updates concerning the integration of modules to monitor man-down and COVID-19 related measures, the installation of sensors to monitor IEQ in a limited number of rooms, and the definition of the first prototype of the dashboard enabling data analytics at floor and building level.

1. Literature review

The literature review briefly investigates past and current approaches for building and occupancy monitoring and optimization in relation to occupancy and IEQ, focusing on Post-Occupancy Evaluations (POEs), Building Information Modelling (BIM), and Digital twins (DTs).

POEs have been applied for about 50 years with several projects all over the world (Li 2018) aiming at assessing building performances, users' behavior and feedback during the O&M phase (Di Giuda 2020; Hadjri 2009). In recent years they have been applied to assess building energy performances and user satisfaction (Agha-Hosseini 2013; Day 2019; Straka 2009), to investigate the gap between actual energy performances and design targets (Agha-Hosseini 2013), and to optimize the design phase (Daher 2018). POEs can be performed at three levels, i.e., Indicative, Investigative, and Diagnostic POEs, with increasing level of detail, but also of user privacy invasiveness and implementation costs (Hadjri 2009). Main limitations of POEs are users' reluctance to POE applications due to privacy issues, implementation costs (Leaman 2010), liability for building owners and facility managers, lack of benchmarks to evaluate POE results (Zimmerman 2001), and limited research on techniques to visualize and communicate POE results (Li 2018).

The application of BIM for FM results in several benefits, such as time and cost savings resulting from better planning, higher data consistency (Codinhoto 2014; Oti 2016), having a single source and storage of geometrical and O&M data, thus enabling the visual representation of POE data and detected issues in the building space (Pin 2018; Rogage 2019). However, a BIM approach for FM lacks information richness, analysis and simulation capabilities, that are typically manually implemented and time-consuming. In addition, effective and efficient FM during the O&M phase strongly relies on real-time building data continuous flows (Lu 2019, 2020), and BIM models lack integration with different data sources, e.g., sensor data, and automatic updating over time (Lu 2020).

DTs allow to connect a physical system to its virtual counterpart through bi-directional communication, using temporally updated data, enabling data analytics and simulations, thus supporting optimization processes and prediction of future states (Al-Sehrawy 2021; Boje 2020). DTs can be considered as an evolution of POEs, since they enable building continuous monitoring and analysis while connecting the physical entity to its virtual counterpart. DTs can include: an acquisition layer, such as an IoT network (Bolton 2018); a dashboard to visualize and manage sensor data, and return insights, simulations, and predictions (Tomko 2019); a BIM model as starting point for the geometrical virtual building replica (Boje 2020; Lu 2020); tools to provide predictions, simulations, and data analytics (Lu 2019, 2020); actuators and other tools to act on the physical world and apply data-driven decisions (Al-Sehrawy 2021). Some challenges for DT definition are: the integration and automation of the functioning of actuators and other tools to act on the physical world, the selection of sensor types most suitable for specific applications (Boje 2020), the proper spatial distribution of sensors (Tomko 2019), IoT sensor network calibration (Yan 2017), collected data quality evaluation (Manngård 2020), and the integration of different data sources in the DT (Al-Sehrawy 2021; Lu 2019).

2. Methodology

The ongoing research project aims to define a comprehensive methodology, integrating different methods and tools, to perform efficient building monitoring, management, and optimization in relation to actual occupancy.

The system will act as a Decision Support System (DSS) supporting decision makers during FM processes, and as a Building Management System (BMS) for facility managers to monitor and control building conditions. It is based on Post-Occupancy Evaluations (POEs), IoT sensor networks, integrating building data, real-time occupancy and IEQ monitoring, and a dashboard enabling data visualization, analytics, and comparison of occupancy scenario simulations.

The methodology is divided in four main steps as presented in Figure 1.

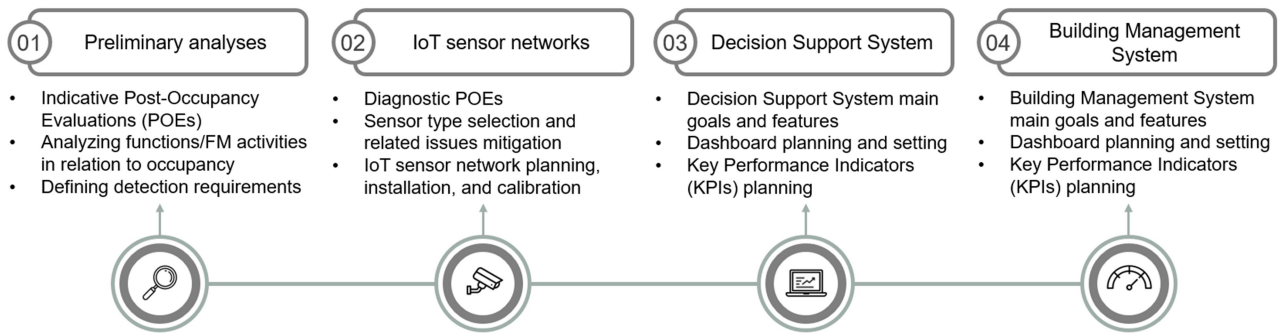


Figure 1. Methodology main steps

2.1. Preliminary analyses

The first step of the methodology (Figure 1) has been previously published in (Seghezzi 2021). It includes Indicative POEs, i.e., non-invasive, quick, and inexpensive building surveys to briefly analyze building performances, and the analyses of functions and FM activities in relation to occupancy. The first step aims to define the building critical areas to be analyzed through the system. Areas characterized by variable occupancy, that will be further monitored and analyzed, and the monitoring network requirements are defined.

2.2. IoT sensor networks

2.2.1. IoT sensor network for occupancy monitoring

The second step of the methodology (Figure 1) enables to perform Diagnostic POEs in existing buildings through continuous monitoring and evaluating actual conditions and usage of buildings during the O&M phase by means of sensor networks. The Diagnostic POEs aims at deeply investigate building conditions related to occupancy, space usage, and indoor environmental conditions affecting user comfort and satisfaction, in order to optimize building use, space organization and user satisfaction regarding their workplaces. The second step has been partially published in (Seghezzi 2021) as regards the occupancy monitoring sensor network, including the selection of the most suitable sensor type for occupancy monitoring, the analysis of possible issues, in particular privacy issues and user data protection, and strategies to overcome them. In addition, the network installation, testing, and calibration phases have been investigated.

The IoT sensor network allows to anonymously monitor occupancy at floor and building level. Internet of Things (IoT) sensor networks have been widely adopted for occupancy monitoring (Wang 2019) and are characterized by the universal presence of objects, such as sensors, with digital identification and addressing schemes enabling them to work together to achieve some common objectives (Giusto 2010). Cameras with an embedded deep learning algorithm, installed in corridors and common areas, allow to detect people moving and immediately converts them into anonymous agents, avoiding capturing or storing any real image or videorecording. The network calibration phases ensure the collected data quality, i.e., reliability and accuracy, and proper functioning of the network for the subsequent phases of the methodology (Seghezzi 2021).

The IoT sensor network is assessed and maintained through an online platform. The platform enables to verify all cameras' location, orientation, settings, functioning, and connection with the other network components. In addition, the platform allows to visualize in real time the anonymous movement of users, represented by anonymous agents, and is used to test and calibrate the sensors and the whole network.

2.2.2. IoT sensor network for Indoor Environmental Quality monitoring

The second step of the methodology has recently been further developed by investigating the planning of sensors to monitor IEQ, including the selection of the spaces to be monitored, the definition of the necessary components and the related features. Unlike sensors to monitor occupancy, which are installed in corridors, IEQ monitoring sensors are installed inside rooms to monitor the indoor environmental conditions of workplaces, i.e., temperature, humidity, and CO₂ level. A limited number of rooms is selected to test the system. The selected rooms must be representative of all possible conditions of building spaces in order to properly test the system, including different orientation, number of users typically occupying the room, and frequency of room usage. The last two values are identified through the first data analysis from the occupancy monitoring system. As regards the system necessary components, they include: sensors to monitor selected IEQ parameters, and converters to connect sensors to the local servers of the occupancy monitoring system.

2.2.3. Integration of modules to monitor man down and COVID-19 related measures

Due to the current COVID-19 related situation, some modules have recently been integrated in the system to monitor social distancing, the use of masks, and temperature monitoring. In addition, man-down is monitored for safety reasons, allowing to intervene in a short time in case of illness of users. This is especially useful in the early hours in the morning and in the late hours in the evening when office buildings are typically occupied by fewer people. Social distancing and man-down are monitored in corridors and common areas through the same cameras of the occupancy monitoring network. Social distancing is monitored by checking the interpersonal distance between two people moving or standing still. An alarm is triggered when a distance inferior to 1 meter is detected for more than five seconds. The delay can prevent alarms from being triggered every time two people walk by each other in corridors without stopping or interacting. Similarly, aiming to monitor man-down, an alarm is triggered every time a single person remains still in a corridor or common area for more than three minutes. The two types of alarms are notified directly in the online platform, allowing the FM staff to intervene. In addition, social distancing is displayed in the platform in the real-time user movements visualization page through a line connecting two anonymous agents approaching each other in corridors. The line is displayed as green when social distancing is observed, and yellow otherwise. Finally, a tablet is identified as a tool to measure body temperature and to verify the proper use of masks for people accessing the building. Similarly to IEQ sensors, a building area which is most used according to first analysis of occupancy data, is selected to test the check-in tablet, which is located at the entrance of the selected area. In particular, the correct check of body temperature below 37 °C and the proper use of the mask unlocks the door allowing the user to access the area, which normally only requires the verification of the personal identification card.

2.3. Decision Support System

The third step of the methodology (Figure 1) includes the strategies to plan and set the Decision Support System (DSS) which is based on data from previous steps and on a dashboard integrating building data from preliminary analyses, and occupancy and IEQ monitoring data from the IoT sensor networks. Data analytics and occupancy scenario simulation through the dashboard, and the evaluation of scenarios by means of KPIs define the DSS. The DSS is intended to support facility managers' decision-making, particularly decisions related to planning FM services and organizing and redistributing space over time, including assigning functions and number/type of users to spaces, and monitoring and controlling IEQ.

2.3.1. Dashboard for data analytics and simulation

The dashboard is composed by two modules. A data analytics module includes selected graphs, charts, and visuals built on collected data, aggregating data and investigating occupancy and vacancies at floor and building level, on daily, weekly, and monthly level, and in relation to functions and user roles inside the organization. Collected data on IEQ are also included in the data analytics module to monitor space

conditions through graphs and charts. A simulation module enables to compare alternative occupancy scenarios: the facility manager can hypothesize new occupancy values for the spaces, based on insights from the data analytics module, and then compare through the dashboard the hypothesized scenarios with actual building usage, investigating the effects of the hypothetical scenarios on FM services, in terms of time of performing and costs, and on the overall building occupancy and vacancy rates.

Facility managers will be supported by the insights from the data analytics module of the dashboard that will uncover actual building occupancy patterns and possible issues of over- or under-utilization of spaces. Consequently, it will be possible for the facility manager to plan optimizations of FM services and space organization by investigating strategies and scenarios with the support of the dashboard simulation module.

The tools to define the dashboard are selected considering the following critical aspects: data analytics capabilities, visualization and communication proficiencies, accessibility and usability by non-experts, such as building owners, need for a license and related costs, availability of developers/online community support, learning curve and level of necessary skills.

2.3.2. Key Performance Indicators

The third step of the methodology includes the definition of Key Performance Indicators (KPIs) in relation to which evaluating the proposed occupancy scenarios. Each hypothetical occupancy simulation from the dashboard will be evaluated in relation to the defined KPIs. Based on the evaluation results, the facility manager will be able to select the most suitable strategy to be applied on the actual building.

The proposed KPIs are the following:

- KPI_1: percentage of use of building available spaces. The lower this value, the higher the percentage of vacancies;
- KPI_2: evaluation of FM activities and services time of performing. It is a percentage of the current total FM activity time (representing the 100%), that can be reduced or incremented, considering actual occupancy and space uses, or the hypothetical occupancy scenarios;
- KPI_3: evaluation of the economic aspects related to the analyzed FM activities. It is a percentage of the total costs resulting from the updated FM activities costs, deriving from the updated FM activities time (KPI_2), plus a percentage considering the added costs for the system implementation.

2.4. Building Management System

The fourth step of the methodology (Figure 1) defining the Building Management System (BMS) is still under development. It will enable to monitor and control indoor environmental conditions of spaces. The BMS will be supported by the dashboard for IEQ data visualization and analytics. The BMS will then enable to optimize IEQ and to avoid energy and resource waste through system local controls. It will allow to optimize indoor conditions and use of systems according to actual occupancy, space organization and user need.

3. Pilot study

The building selected as pilot study hosts the Department of Architecture, Built environment and Construction engineering (DABC) of Politecnico di Milano. It is a four-story building, with a total of 4300 square meters of gross floor area. The building has a symmetrical layout, with a common space in the center and two side corridors. Offices and workspaces are located on either sides of the two side corridors, while in the common space in the center are located the entrance hall at the ground floor, and connections and snack areas at the other building floors.

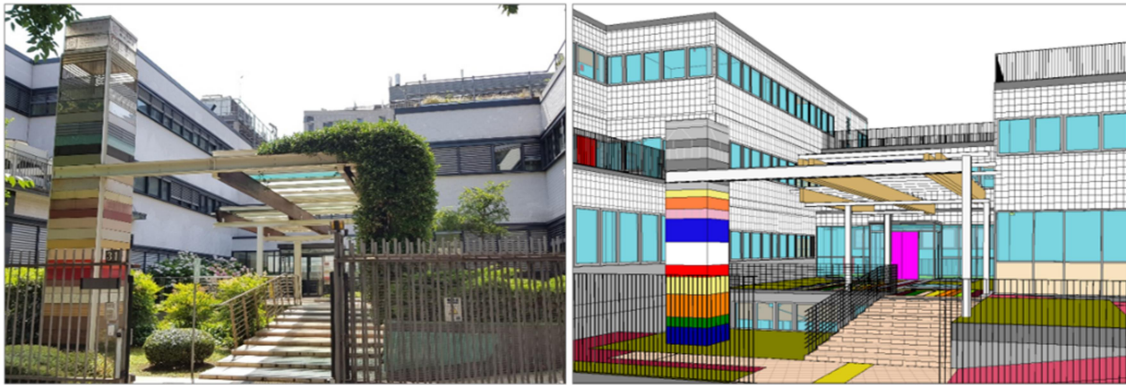


Figure 2. Pilot study: DABC of Politecnico di Milano (left) and related BIM model view (right).

The presented research is integrated into a departmental research project for facility management optimization with the goal of testing the proposed methodology and evaluating advantages and disadvantages, to assess further application to other university facilities. In addition, a BIM model of the building was already available from a previous research project (Figure 2) (Di Giuda 2020).

4. Results and discussion

4.1. Preliminary analyses and IoT sensor network for occupancy monitoring

The first step and partially the second step of the methodology application to the pilot study have already been published in (Seghezzi 2021). The application of Indicative POEs allowed to identify the critical areas to be analyzed in the subsequent phases, i.e., administrative offices, research spaces and laboratories, meeting rooms, university staff offices, and restrooms, for a total of 70 out of 87 spaces of the building. The selected spaces are characterized by variable occupancy in terms of number of people and/or time of occupation, as defined through the functions/spaces and occupancy analyses. The analysis of FM activities in relation to occupancy investigated FM services and the use of systems, to identify which type of occupancy, i.e., in real-time, on hourly or daily basis, influences them (Seghezzi 2021). Cleaning services and space organization are selected among the FM services trying to optimize them through the pilot application, according to actual occupancy or hypothesized occupancy scenarios. The selected FM activities are influenced by real-time and on hourly basis occupancy respectively, which represent the detection requirements for the sensor network.

As regards the planning and setting of the occupancy monitoring IoT sensor network, cameras were selected among the sensor types considering their high accuracy for real-time occupancy monitoring and the possibility to perform other kind of analyses, such as security and safety monitoring, allowing to increase the scalability of the system. The selected sensors are High Quality Bullet Pro Camera PoE: they provide HD quality images, have a 110-degree view angle, and a Wide Dynamic Range (WDR) to compensate issues due to exposure to light. The network is installed in a dedicated and private Virtual Local Area Network (VLAN), and a static IP is provided for each network element. Cameras are installed only in common spaces and corridors (Figure 4). This phase also included the mitigation of some issues of cameras (Seghezzi 2021):

- Detection only within sensor field-of-view, through the use of the building BIM model to optimize location and orientation of sensors and to maximize the area covered by the sensors' field-of-view;
- Privacy issues, by avoiding monitoring private workstations, by setting up the system to anonymously monitor users and not save nor store any image in the process. The system never displays any image to the system operators nor to the department staff responsible for the network, not allowing to recognize users directly or indirectly, thus the system is fully compliant with EU General Data Protection Regulation (GDPR). In addition, users have been fully informed of the system before its installation. Finally, information signs to be displayed in the monitored areas and a document, describing system goals, features, data anonymization process, and how data is

processed, and identifying the people responsible for the system, are under revision and will soon be implemented and made available to users.

An online platform, set up along with the occupancy monitoring IoT sensor network, shows the building blueprints and the real-time anonymized user movements, displayed as anonymous icons. The platform webpage is accessible and used by department staff to monitor sensor functioning and manage network settings. The only data collected by the system and stored in a database (DB) are the following:

- occupancy values, i.e., number of people, at room level (O);
- period of time (T) during which one or more agents occupy a room.

Data in the DB are only accessible by the facility manager and department staff, and they are then additionally anonymized by aggregating them at floor and building level for the subsequent phases of data analysis and simulation, to avoid any association of occupancy data with specific rooms. The system was calibrated through three calibration test campaigns performed in June 2020, in November 2020, and in May 2021, with three-month data collection for each test campaign (Seghezzi 2021).

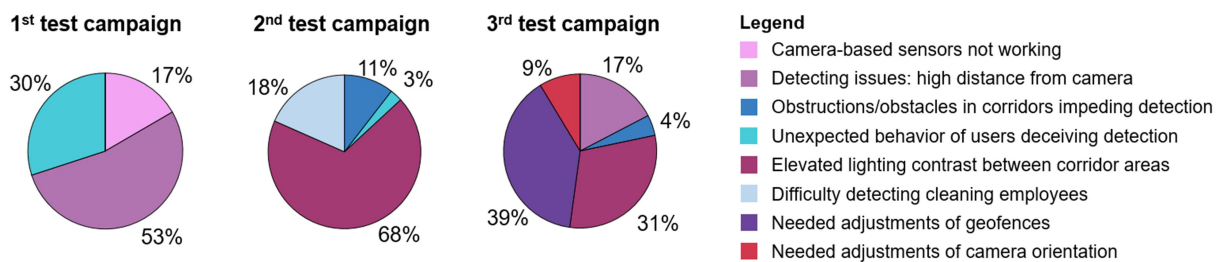


Figure 3. Three test campaigns to calibrate the IoT sensor network.

4.2. IoT sensor network to monitor Indoor Environmental Quality

The planning of the IoT sensor network to monitor IEQ included an initial investigation to identify the most suitable spaces to test the sensors. Spaces are analyzed in terms of space features, functions, and occupancy. Similarly to the occupancy monitoring network, spaces with variable occupancy and, among them, spaces with workstations, i.e., offices, laboratories, and administrative offices, have been considered. The selected space types have been analyzed in terms of occupancy for a five-month period between June and October 2021 through the installed and calibrated occupancy monitoring network and dashboard. Two spaces have been identified as of interest for monitoring the IEQ, also considering the orientation and floor:

- N. 1 Office with variable occupancy in terms of time, with presence of users for average values of 50% of the weekly working hours, and in terms of people, with variable presence of two to ten occupants; the office has orientation South-East and is located on the first floor;
- N. 1 Administrative office with fixed presence of occupant in terms of time, around 100% of weekly working hours, but variable presence of users from one to two people due to remote working practices; the Administrative office has orientation North and is located on the ground floor.

Once identified the spaces in which testing the new sensors, the network components have been selected:

- N. 2 sensors, one for each selected space, composed by: temperature sensor (0-50°C) – humidity sensor (0 - 100% RH, accuracy $\cong 2\%$) – CO₂ level sensor (0-2000 ppm) – touchscreen to visualize values and locally control system functioning – BACnet and Modbus protocols (via RS485);
- N.2 converters, one for each space, being the two spaces not close, with the following features: ethernet gateway – 2 ports and PoE (Power over Ethernet) – converter from Modbus RS485 to tcp-ip.

After the selection of spaces and network components, some tests to define the specific location of the sensors inside the rooms have been performed using the BIM model (Figure 4), considering the following main rules:

- Sensors should be located at around 150 cm from the ground for accurate IEQ monitoring;
- Sensors must be located approximately in the center of the room, away from windows, doors, and heat sources that may affect the accuracy of collected data;

- Converters should be located close to the sensors to limit the use of serial cables to connect them.

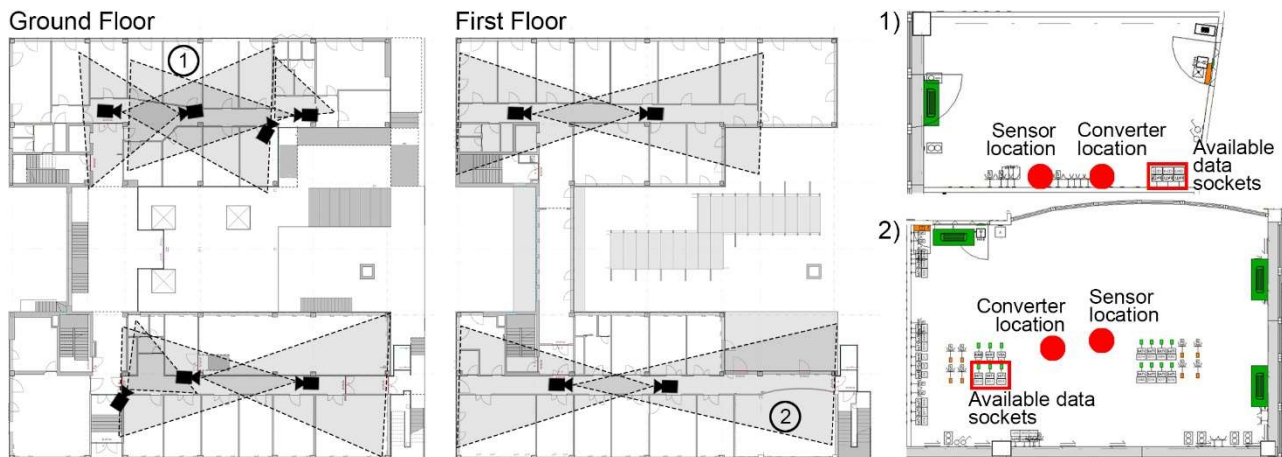


Figure 4. Location of cameras of the IoT occupancy monitoring network in the corridors of the ground and first floors (left and center); IEQ monitoring sensors and converters locations (right) in the Administrative office (n. 1) and university staff office (n. 2).

Regarding the university staff office (Figure 4), the sensor could not be placed on any of the walls due to the presence of doors, windows or heat sources. Consequently, sensor and converter are planned to be located on a stand on one of the workstations, in a central position in the room to ensure accurate collected data. The testing and calibration phase of the IEQ monitoring sensor network will be performed in the coming months.

4.3. Integration of modules to monitor man down and COVID-19 related measures

Regarding the integration of man down and COVID-related measures modules in the system, the requirements defined in the methodology section have been entirely observed. The system is set to monitor and notify social distancing below 1 meter of interpersonal distance, and man down after three minutes a person is standing still in common areas and corridors. In addition, a notification via e-mail to a selected mail address of one person among the security personnel has been defined.

In addition, the check-in tablet was located at the entrance of one corridor hosting Administrative offices. The same analysis performed in the five-month period between June and October 2021 through the occupancy monitoring system enabled to define the check-in tablet location. An Administrative area has been selected being one of the most used building areas from the analysis. The testing and calibration phase of the integrated modules will be performed in the following months.

4.4. Decision Support System and dashboard definition

After the planning and setting of the IoT sensor networks, the dashboard has been planned and set. The dashboard is easily accessed and used by non-experts to visualize and analyze building conditions and to select and take data to perform simulations of what-if scenarios. According to the requirements for the selection of the dashboard tool provided in the methodology section, Microsoft Power BI was selected to set the dashboard, allowing to produce shared reports containing dynamic charts and graphics. Reports are communicative, easily accessible and usable, and can be retrieved and shared with authorized people, who can view data and results without the need to install the software or own a license. Finally, Power BI does not require advanced coding skills and it is comparatively user friendly. In addition, data extracted from the dashboard are managed and processed by calculation models implemented by data sheets. Similarly, sensor data cleaning and processing is performed through data sheets, before being analyzed through the dashboard. The dashboard data analytics module has been set in a first configuration to analyze and manage occupancy data. Different web pages allow for collected data visualization, query, aggregation, and analytics through selected graphics (Figure 5), with data collected from June to October 2021.

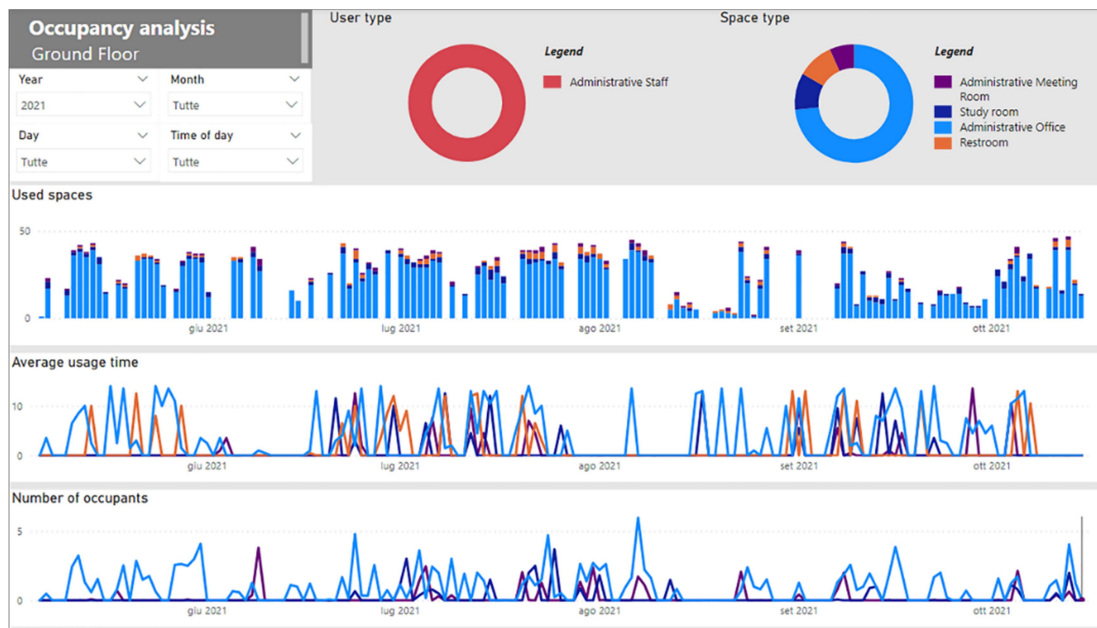


Figure 5. First configuration of the dashboard data analytics module of the ground floor.

The dashboard data analytics module allows to visualize and filter data according to space and user type, date, and time. The ground floor mainly hosts administrative staff and spaces are administrative offices, meeting rooms, study rooms, and restrooms. The graphics analyze used spaces, average usage time, and average number of users along the selected period. From this first data analysis some considerations can be made. There is a large variability in the use of offices especially in the period August-September probably due to summer holidays. However, most spaces are still used even if by fewer people and for less time. Regarding meeting rooms and study rooms, they are rarely used and by a highly variable number of users. Finally, the use of restrooms is proportionate to the use of other spaces. This first data analysis may highlight the lesser need to clean the study and meeting rooms which are currently cleaned as frequently as the offices and restrooms. On the other hand, during the summer period, offices and restrooms cannot be cleaned less since they are still used for the most part, albeit for less time and by fewer people.

The implementation of the simulation module and the integration of IEQ data in the dashboard is still under development and, once completed, data collected of all building floors and for a longer period (around one year since the last calibration test) will be analyzed. The simulation module will enable to simulate different space organization strategies, by inputting new occupancy values and time periods of use for spaces at floor and building levels. In addition, it will allow testing different occupancy scenarios, and consequently different cleaning strategies. Collected IEQ data analysis will allow to monitor and control indoor conditions over time. The proposed simulation scenarios will then be evaluated according to the KPIs described in the methodology section, investigating and evaluating the scenarios according to the results of the KPI application, defining a hierarchy of scenarios and acting as a DSS for facility managers and building owners. They will be able to select the most suitable strategy for testing and application in the building, supported by the DSS.

4.5. Building Management System definition

Monitoring, analyzing, and controlling IEQ, and consequently controlling building systems will enable to define the BMS for the building, which is still under development, aiming at optimizing space IEQ and reduce resource and energy waste over time, while increasing user satisfaction regarding their workplaces.

5. Conclusions and further developments

The proposed system will act as a DSS and BMS during the O&M phase, enabling an optimized management of spaces and indoor environmental conditions according to actual occupancy values. Building spaces will be organized and managed depending on the simultaneous use of rooms by multiple users and on the time they actually occupy them, considering actual user needs in terms of spaces and IEQ. Space reorganization and redistribution due to staff or activities changes over time will be supported by analyses and occupancy scenarios development through the DSS, consequently increasing the workplace adaptability to changing conditions and needs. In addition, insights and occupancy trends from the dashboard will allow to optimize cleaning activities and contracts that are currently based on building floor areas, allowing to optimize cleaning services based on actual space occupancy, therefore ensuring cost savings and increased comfort from reduced cleaning of underutilized spaces, and improved cleaning of the most used spaces. At the same time, this will ensure an increased satisfaction and well-being of users, also considering increased IEQ of spaces.

In a short-term view it will be possible to define optimizations and savings, accordingly enhancing facility managers and building owners awareness about the possible advantages of occupancy and IEQ monitoring, analysis, and simulation over time. Possible further developments of the research are the automation of the data cleaning and classification phase from the database of the sensors system, for the subsequent actuation of a real-time management through the dashboard. In addition, the simulation of occupancy, space use, and cleaning scenarios could be automated and performed directly by the dashboard on the basis of collected data analysis. Consequently, it could provide the operator with the simulation results and possible optimization strategies and suggestions. In addition, the possible implementation of a dashboard section gathering user opinion regarding IEQ and space organization would increase the system reliability by integrating the user perspective and satisfaction level. Furthermore, the integration of system controls and other tools to act on the physical building, e.g., an application for cleaning service staff notifying them of which spaces to clean according to actual occupancy, will enable to create a Digital Twin for occupancy-oriented FM and to directly optimize building use and FM services over time. In a long-term view the methodology will enable the definition of criteria for optimized design of future similar office buildings. In addition, it will be possible to define guidelines for occupancy monitoring, analysis, and simulation during the O&M phase, ensuring continuous improvement of existing buildings use and increasing building adaptability to changing needs over time.

Acknowledgements

The authors want to thank the Department of Architecture, Built environment and Construction engineering (DABC) of Politecnico di Milano for the pilot study availability and Eng. Francesco Paleari for the collaboration to the research project. The authors also want to thank Laser Navigation Srl for the collaboration to the research project as regards the technical implementation of the IoT sensor networks.

References

- AGHA-HOSSEIN, M. M., EL-JOUZI, S., ELMUALIM, A. A., ELLIS, J. AND WILLIAMS, M. (2013). "Post-occupancy studies of an office environment: Energy performance and occupants' satisfaction", in *Building and Environment*, vol. 69, , p. 121–130. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.003>
- AL-SEHRAWY, R. AND KUMAR, B. (2021). "Digital Twins in Architecture, Engineering, Construction and Operations. A Brief Review and Analysis", in *Lecture Notes in Civil Engineering*, vol. 98, issue 2010, p. 924–939. https://doi.org/10.1007/978-3-030-51295-8_64
- AL HARR, Y., ARIF, M., KATAFYGIOTOU, M., MAZROEI, A., KAUSHIK, A. AND ELSARRAG, E. (2016). "Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: A review of the literature", in *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 5, issue 1, p. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.03.006>
- BENTO PEREIRA, N., CALEJO RODRIGUES, R., FERNANDES ROCHA, P., BENTO PEREIRA, N., CALEJO RODRIGUES, R. AND FERNANDES ROCHA, P. (2016). "Post-Occupancy Evaluation Data Support for Planning and Management of Building Maintenance Plans", in *Buildings*, vol. 6, issue 4, p. 45. <https://doi.org/10.3390/buildings6040045>

- BOJE, C., GUERRIERO, A., KUBICKI, S. AND REZGUI, Y. (2020). "Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research", in *Automation in Construction*, vol. 114, , p. 103179. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179>
- BOLTON, A., BLACKWELL, B., DABSON, I., ENZER, M., EVANS, M., FENEMORE, T., ... WILSON, A. (2018). *The Gemini Principles: Guiding values for the national digital twin and information management framework*. Centre for Digital Built Britain, available at <https://www.cdbb.cam.ac.uk/system/files/documents/TheGeminiPrinciples.pdf>
- CAPOLONGO, S., REBECCHI, A., BUFFOLI, M., APPOLLONI, L., SIGNORELLI, C., FARA, G. M. AND D'ALESSANDRO, D. (2020). "COVID-19 and cities: From urban health strategies to the pandemic challenge. a decalogue of public health opportunities", in *Acta Biomedica*, vol. 91, issue 2, p. 13–22. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i2.9515>
- CHOI, J. H., LOFTNESS, V. AND AZIZ, A. (2012). "Post-occupancy evaluation of 20 office buildings as basis for future IEQ standards and guidelines", in *Energy and Buildings*, vol. 46, , p. 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.009>
- CODINHOTO, R. AND KIVINIEMI, A. (2014). "BIM for FM: A case support for business life cycle", in *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, vol. 442, , p. 63–74. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45937-9_7
- DAHER, E., KUBICKI, S. AND GUERRIERO, A. (2018). "Post-occupancy evaluation parameters in multi-objective optimization-based design process", in *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*,
- DAY, J. K., RUIZ, S., O'BRIEN, W. AND SCHWEIKER, M. (2019). "Seeing is believing: an innovative approach to post-occupancy evaluation", in *Energy Efficiency* <https://doi.org/10.1007/s12053-019-09817-8>
- DI GIUDA, G. M., GIANA, P. E., SCHIEVANO, M. AND PALEARI, F. (2020). "Guidelines to Integrate BIM for Asset and Facility Management of a Public University", in *Springer-Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*, pp. 309–318, Springer International Publishing. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-33570-0_28
- DI GIUDA, G. M., PELLEGRINI, L., SCHIEVANO, M., LOCATELLI, M. AND PALEARI, F. (2020). "BIM and Post-occupancy evaluations for building management system: weaknesses and opportunities", in *Springer Volume Research for Development - La digitalizzazione dei processi per la progettazione, costruzione e gestione dell'ambiente costruito*, pp. 319–327, Springer International Publishing. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-33570-0_29
- DONG, B., YAN, D., LI, Z., JIN, Y., FENG, X. AND FONTENOT, H. (2018). "Modeling occupancy and behavior for better building design and operation—A critical review", in *Building Simulation*, vol. 11, issue 5, p. 899–921. <https://doi.org/10.1007/s12273-018-0452-x>
- EUROPEAN UNION (2020). *Telework in the EU before and after the COVID-19: where we were , where we head to*. *Science for Policy Briefs*, available at https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc120945_policy_brief_-_covid_and_telework_final.pdf
- GIUSTO, D., IERA, A., MORABITO, G. AND ATZORI, L. (Eds.) (2010). *The internet of things*. Cham: Springer Nature.
- HADJRI, K. AND CROZIER, C. (2009). "Post-occupancy evaluation: purpose, benefits and barriers", in *Baltic Journal of Management*, vol. 27, issue 1/2, p. 21–33. <https://doi.org/10.2139/ssrn.2874560>
- ITALIAN PARLIAMENT AND GOVERNMENT "Adozione delle linee guida in materia di condotta delle pubbliche amministrazioni per l'applicazione della disciplina in materia di obbligo di possesso e di esibizione della certificazione verde COVID-19 da parte del personale.", (2021)Italy
- KNIFFIN, K. M., NARAYANAN, J., ANSEEL, F., ANTONAKIS, J., ASHFORD, S. P., BAKKER, A. B., ... VAN VUGT, M. (2020). "COVID-19 and the Workplace: Implications, Issues, and Insights for Future Research and Action", in *American Psychologist*, p. 17. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/amp0000716>
- LEAMAN, A., STEVENSON, F. AND BORDASS, B. (2010). "Building evaluation: practice and principles", in *Building Research & Information*, vol. 38, issue 5, p. 564–577. <https://doi.org/10.1080/09613218.2010.495217>
- LI, P., FROESE, T. M. AND BRAGER, G. (2018). "Post-occupancy evaluation: State-of-the-art analysis and state-of-the-practice review", in *Building and Environment*, vol. 133, , p. 187–202. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2018.02.024>
- LU, Q., PARLIKAD, A. K., WOODALL, P., DON RANASINGHE, G., XIE, X., LIANG, Z., ... SCHOOLING, J. M. (2019). "Developing a Digital Twin at Building and City Levels: A Case Study of West Cambridge Campus", in *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 53, issue 9, p. 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- LU, Q., XIE, X., PARLIKAD, A. K., SCHOOLING, J. M. AND KONSTANTINOOU, E. (2020). "Moving from Building Information Models to Digital Twins for Operation and Maintenance", in *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Smart Infrastructure and Construction*, pp. 1–9, <https://doi.org/10.1680/jsmic.19.00011>
- MANNGARD, M., LUND, W. AND BJÖRKQVIST, J. (2020). "Using Digital Twin Technology to Ensure Data Quality in Transport Systems", in *Researchgate.Net*, issue March Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Jerker_Bjoerkqvist/publication/339875335_Using_Digital_Twin_Technology_to_Ensure_Data_Quality_in_Transport_Systems/links/5e69f667299bf1b9f7ce3bb5/Using-Digital-Twin-Technology-to-Ensure-Data-Quality-in-Transport-System

- OTI, A. H., KURUL, E., CHEUNG, F. K. T. AND TAH, J. H. M. (2016). "A framework for the utilization of Building Management System data in building information models for building design and operation", in *Automation in Construction*, vol. 72, issue September, p. 195–210. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.043>
- PARKINSON, T., PARKINSON, A. AND DE DEAR, R. (2019). "Continuous IEQ monitoring system: Context and development", in *Building and Environment*, vol. 149, issue December 2018, p. 15–25. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.010>
- PIN, C., MEDINA, C. AND MCARTHUR, J. J. (2018). "Supporting post-occupant evaluation through work order evaluation and visualization in FM-BIM", in *ISARC 2018 - 35th International Symposium on Automation and Robotics in Construction and International AEC/FM Hackathon: The Future of Building Things*, <https://doi.org/10.22260/ISARC2018/0005>
- ROGAGE, K., CLEAR, A., ALWAN, Z., LAWRENCE, T. AND KELLY, G. (2019). "Assessing Building Performance in Residential Buildings using BIM and Sensor Data", in *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, issue 132829 <https://doi.org/10.1108/IJBPA-01-2019-0012>
- SEGHEZZI, E., LOCATELLI, M., PELLEGRINI, L., PATTINI, G., DI GIUDA, G. M., TAGLIABUE, L. C. AND BOELLA, G. (2021). "Towards an occupancy-oriented digital twin for facility management: Test campaign and sensors assessment", in *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 11, issue 7, p. 27. <https://doi.org/10.3390/app11073108>
- STRAKA, V. AND ALEKSIC, M. (2009). "Post-occupancy evaluation. Three schools from Greater Toronto", in *PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, issue June, p. 5. <https://doi.org/10.1128/AEM.01532-14>
- TOMKO, M. AND WINTER, S. (2019). "Beyond digital twins – A commentary", in *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, vol. 46, issue 2, p. 395–399. <https://doi.org/10.1177/2399808318816992>
- WANG, W., HONG, T., XU, N., XU, X., CHEN, J. AND SHAN, X. (2019). "Cross-source sensing data fusion for building occupancy prediction with adaptive lasso feature filtering", in *Building and Environment*, vol. 162, issue June, p. 106280. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106280>
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (2021). "Advice for the public: Coronavirus disease (COVID-19)", retrieved 25 February 2022, from <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>
- YAN, D., HONG, T., DONG, B., MAHDAVI, A., D'OCA, S., GAETANI, I. AND FENG, X. (2017). "IEA EBC Annex 66: Definition and simulation of occupant behavior in buildings", in *Energy and Buildings*, vol. 156, , p. 258–270. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.084>
- ZIMMERMAN, A. AND MARTIN, M. (2001). "Post-occupancy evaluation: benefits and barriers", in *Building Research & Information*, vol. 29, issue 2, p. 168–174. <https://doi.org/10.1080/09613210010016857>



RED DE ABASTECIMIENTO SILVOTA. INTEROPERABILIDAD DE SOFTWARES EN PROYECTOS DE INGENIERÍA CIVIL

León-García, José Ignacio^a; Ureña Bolaños, Rosa^b, Salcedo-Serra, Javier^c

^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

^cABAKAL(Departamento de obras hidráulicas, Coordinador BIM, España) e-mail: jsalcedo@abakal.com

Abstract

The project of Silvota's feeder supply in Asturias has been done completely in BIM methodology. The BIM model not only was it used for the design phase, but also has been modelled and given parameters taking into account the future operation stage of the asset.

Many challenges were found, during the design stage. In this communication, we want to highlight the interoperability between different software that were used for the supply feeder and the water distribution buildings. The workflow considered in the federation of the model was a key factor for the development of the Project. It was also important the capacity test of each program, as well as the coordination between the different disciplines involved in the Project and the conversion to the openBIM format that enables the information exchange regardless the software used for modelling. Thereby, a valuable experience has been gained for future Civil Engineering projects to be developed in BIM methodology.

Due to the abovementioned, this document is presented since we consider it could be interesting during the congress in the third category called "Real experiences with BIM"

Keywords: *interoperability, coordination, federation, clashes, accuracy, adaptation, improvement, experience, openBIM, future.*

Resumen

El proyecto de abastecimiento del ramal de Silvota en Asturias, se ha realizado íntegramente en metodología BIM. No solo se ha empleado el modelo BIM en la fase de diseño considerando su posterior construcción, sino que se ha modelizado y parametrizado teniendo en cuenta la futura fase de explotación-mantenimiento del activo.

Muchos han sido los retos encontrados a lo largo del diseño de la infraestructura. En esta comunicación se quiere poner el foco en la interoperabilidad entre softwares empleados tanto para las conducciones de abastecimiento como en los edificios de las arquetas. La determinación del adecuado flujo de trabajo para su federación en un único modelo, ha sido fundamental para el desarrollo del proyecto. También fue decisiva la prueba de las capacidades de cada programa, así como la coordinación entre los modelos de las distintas disciplinas y el paso a formato openBIM, que favorece el intercambio de información independientemente del software empleado. De este modo, se ha obtenido una experiencia muy enriquecedora para futuros proyectos de Ingeniería Civil que sean desarrollados mediante metodología BIM.

Por todo lo anterior, se presenta este documento considerando que puede ser de interés durante el congreso en la categoría 3 de experiencias reales con BIM.

Palabras clave: *interoperabilidad, coordinación, federación, interferencias, precisión, adaptación, mejora, experiencia, openBIM, futuro.*

Introducción

Hace varios años, la metodología BIM se comenzó a implantar en el sector de la edificación. Pasado un tiempo, dicha forma de trabajar se consolidó y en la actualidad ya se encuentra completamente asentada y normalizada a la hora de llevar a cabo proyectos de Arquitectura.

Sin embargo, en lo que respecta a proyectos de Ingeniería Civil, el proceso de implantación de la metodología BIM está llevando unos tiempos diferentes. 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, se sentaron las bases para un aumento de realización de proyectos de ingeniería civil mediante esta metodología.

Paralelamente, las empresas desarrolladoras de software de ingeniería han ido también creando y actualizando programas informáticos que permiten el modelado y parametrización de elementos, además de la exportación a formatos de intercambio, lo que ha posibilitado llevar a cabo modelos digitales que pueden considerarse propios de la metodología BIM.

En este contexto, favorecido tanto por la evolución del software como por la legislación que se ha ido adoptando en el sector, además del fomento por parte de algunas administraciones públicas y ciertas empresas, se está viendo una demanda cada vez mayor en cuanto a requerimientos BIM en proyectos de Ingeniería Civil.

Como muestra de ello, en las últimas ediciones de EUBIM, han aumentado las comunicaciones relacionadas con proyectos de Ingeniería Civil relativas al capítulo de “experiencias reales en BIM”. En la edición de 2021, destacaron las comunicaciones:

- “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.
- “Primer proyecto en BIM de Ingeniería Civil Portuaria en España. Ampliación Muelle Sur del Puerto de Valencia.” Siendo esta la comunicación que finalmente expuso en el congreso de EUBIM 2021. Este trabajo fue realizado por el mismo equipo que ha desarrollado la presente comunicación. 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.

En esta ocasión, como novedad de experiencia real en BIM, se ha considerado interesante presentar el proyecto llamado: “Proyecto de Reposición de las conducciones del Consorcio: Ramal Silvota”, al que en adelante se denominará “Ramal Silvota”. Como nuevas aportaciones propias de este proyecto que pueden ser interesantes para esta edición, caben destacar:

- Interoperabilidad entre softwares diferentes a la hora de gestionar un proyecto en metodología BIM
- Implantación reciente de la metodología BIM en una empresa de gestión de aguas, abriendo el campo de obras hidráulicas en BIM.
- Concepción del modelo de información del proyecto, no sólo como herramienta a lo largo de la fase de diseño y construcción, sino como base del futuro modelo de información del activo, pensando en la fase de explotación y mantenimiento.
- Posibilidad de realización de infografías y paseos virtuales por los futuros entornos digitales con mayor precisión y definición, pudiendo seleccionar elementos críticos.

Por todo lo anterior, se presenta esta comunicación para el 11º Congreso Internacional BIM.

1. Contexto de implantación de BIM en el Consorcio de Aguas de Asturias

El aumento de los requisitos BIM en proyectos de Ingeniería Civil en los últimos años, se debe a la implantación que se ha venido realizando en varias organizaciones, junto con la publicación de Guías BIM y sistemas de clasificación “ad hoc” para cierta tipología de obras. Como ejemplos, se pueden destacar:

- Puertos del Estado; publicación de la Guía BIM en junio de 2019, siendo ya adoptada por algunas Autoridades Portuarias como la APV (Autoridad Portuaria de Valencia) en varios de sus proyectos. Destaca el proyecto de “Ampliación del Muelle Sur del Puerto de Valencia” que fue un hito en España ya que se trató del primero llevado a cabo en metodología BIM dentro del sector de la Ingeniería Portuaria.
- Ferrocarriles de la Generalitat Valenciana (FGV): publicación del Manual BIM para el desarrollo de proyectos en esta metodología en diciembre de 2020.
- Publicación del Manual de Sistema de Clasificación BIM-RIH (Railway Innovation Hub) en diciembre de 2020.
- Dirección General de Movilidad e Infraestructuras viarias de la Junta de Extremadura; publicación de la Guía BIM para dar apoyo al desarrollo de contratos empleando dicha metodología.

Con estos antecedentes, el Consorcio de Aguas de Asturias (en adelante CADASA o cliente) ante las ventajas evidentes de la adopción de la metodología BIM, decidió llevar a cabo un proceso de implantación guiado por una empresa externa especialista. Una vez se definieron las principales directrices, tanto propias del Cliente, como los requisitos a exigir a futuros adjudicatarios (documentos EIR, BEP etc.), se comenzó a proponer la realización de los nuevos proyectos en metodología BIM. En la actualidad, CADASA está ya realizando su segundo proyecto en esta metodología. En la presente comunicación vamos a desarrollar la primera experiencia, que se corresponde con el proyecto indicado en la introducción de esta comunicación; “Ramal de Silvota” que procedemos a explicar en el siguiente apartado.

2. Descripción general del proyecto

El proyecto de “Reposición de las conducciones del consorcio: ramal Silvota”, contempla la renovación de la tubería existente mediante su desdoblamiento con un nuevo trazado que evite los terrenos de la urbanización de la Fresneda. Para ello se ha proyectado la construcción de una nueva tubería de una longitud aproximada de 2.500 m, entre la arqueta de derivación del V-134 en La Belga (Siero), y la cámara de toma del Polígono de Silvota, ubicada en los terrenos del Centro de Explotación del Consorcio (arqueta CEEX).

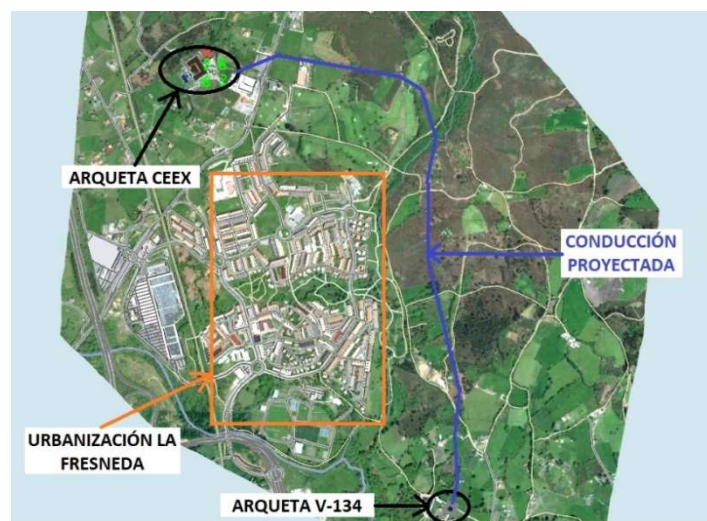


Fig. 1 Modelo en planta de actuación de Proyecto en Navisworks Manage.

Debido a la propia actuación del proyecto del Ramal Silvota y otra llevada a cabo en la arteria Oeste, se planteó también el rediseño hidráulico y funcional de la arqueta de derivación V-134. También influyó en esta decisión la antigüedad de las instalaciones y la conveniencia de mejorar las condiciones de mantenimiento y prevención.

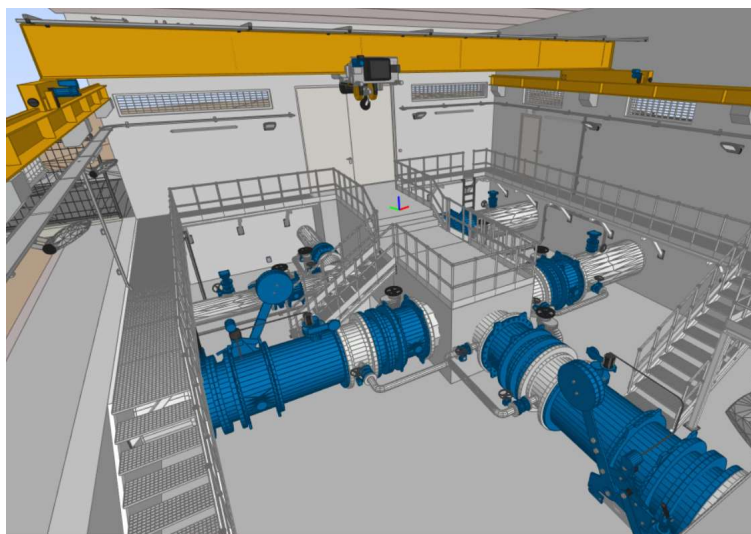


Fig. 2 Interior de arqueta V-134 (Arquitectura e Instalaciones).

De igual manera, se reformó la obra de entrega en las instalaciones del centro de explotación (CEEX) para su adecuación al nuevo trazado. En esta arqueta a nivel de modelo de instalaciones, se buscó un punto de conexión entre la conducción existente y el punto de salida de la conducción proyectada.

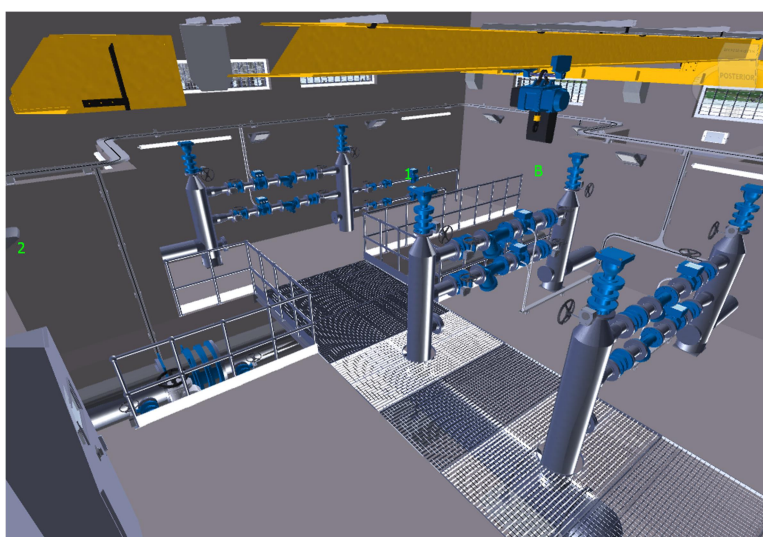


Fig. 3 Interior de arqueta CEEX con 3 líneas de control.

El diseño de los 2,5 km de conducción además del propio modelado, incluyó la definición del recorrido en planta, los perfiles longitudinales y transversales. Por otra parte, se especificó el número de pequeñas arquetas intermedias; 5 de tipo ventosa y otras 5 de tipo desagüe. La ubicación de estas arquetas intermedias, quedó registrada en el modelo del terreno con la señalización correspondiente y se modelaron ambas tipologías en 2 de esas 10 ubicaciones, con sus correspondientes modelos de arquitectura e instalaciones.

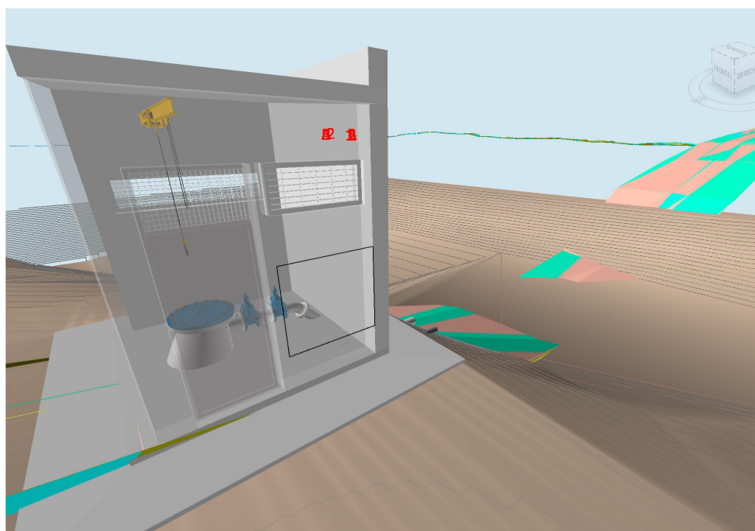


Fig. 4 Modelos de arquetas tipo desagüe y conducción proyectada.

3. Principales 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). La plantilla de dicho documento, fue llevada a cabo durante el proceso de implantación de la metodología BIM en CADASA, tras haber sido definido previamente tanto Manual BIM de la organización como el EIR tipo de la misma, tal y como se ha explicado en el apartado 1.

3.1. Nivel de detalle geométrico: LOD

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 Reposición de las conducciones del Consorcio: Ramal Silvota”, se propuso un LOD entre 200 y 300 dependiendo del elemento a modelar, siendo los más relevantes diseñados con un mayor nivel de detalle geométrico.

3.2. Niveles de información no gráfica

Respecto a la información paramétrica de los modelos BIM, se estableció un set de propiedades basado en el indicado en el “Manual BIM CADASA”, dentro del capítulo de “Property Sets”. Estas propiedades, se clasificaron a su vez según la fase de proyecto en:

- LOI 1: Proyecto ejecutivo
- LOI 2: Fase de obra / As Built
- LOI 3: Operación y mantenimiento

Tabla 1. Set de propiedades acordado con CADASA para los modelos BIM

SET DE PROPIEDADES CADASA		
CAA_01-Identificación	Tipo	LOI
CAA_0101_FamiliaTipo	texto	1
CAA_0102_SCO-Código	texto	1
CAA_0103_SCO-Descripción	texto	1

SET DE PROPIEDADES CADASA		
CAA_03-Geometría	Tipo	LOI
CAA_0301_Anchura	mm	1
CAA_0302_Altura	mm	1
CAA_0303_Longitud	mm	1
CAA_0304_Área	m2	1
CAA_0305_Volumen	m3	1
CAA_07-Mantenimiento	Tipo	LOI
CAA_0701_CoswinCódigo	texto	3
CAA_0702_CoswinDescripción	texto	3
CAA_0703_TAG	texto	2
CAA_TUBERÍA	Tipo	LOI
CAA_TUBERÍA_Material constructivo	texto	-
CAA_TUBERÍA_Diámetro nominal	mm	-
CAA_TUBERÍA_Longitud	mm	-

Este último capítulo de propiedades aplicó únicamente a las conducciones tanto existente como proyectada.

3.3. Usos BIM a los que se tuvo que dar respuesta en el proyecto

Los usos BIM son las metodologías aplicables durante todo el ciclo de vida del proyecto o activo para cumplir uno o varios objetivos específicos marcados en el proyecto.

Es habitual que en los requerimientos del Cliente (documento EIR), se indiquen los usos a los que hay que dar respuesta en un determinado proyecto. En otros casos, el Cliente sólo establece unos objetivos BIM y es el adjudicatario el que los tiene que encajar en los usos BIM correspondientes. Esta tarea debe realizarse con la precaución necesaria para no incurrir en costes excesivos ya que cada uso implicará mayor o menor dedicación y medios para darle respuesta.

A continuación, se indican los usos BIM a los que se dio respuesta en este proyecto.

3.3.1. Modelado 3D

Para el modelado en 3D, uno de los requerimientos que se especificaba en el plan de ejecución BIM (BEP), era el de categorizar los modelos según la función que se les iba a dar. De esta forma, a lo largo del proyecto se dispondría de los siguientes tipos:

- Modelado: modelos destinados a la creación y actualización de la información. Fueron los archivos nativos en cada uno de los programas informáticos de diseño.
- Exportación: modelos destinados al intercambio de información entre los agentes. Son los que se emplearon para la federación en Navisworks Manage, generando los archivos caché.
- Modelo de documentación: modelos federados de Revit destinados a la creación de planos y a la vinculación de mediciones 5D.
- Coordinación: modelos federados destinados a la visualización y coordinación entre las diferentes disciplinas mediante la gestión de colisiones. Durante la fase de diseño del proyecto, esos modelos se correspondían con los de extensión .nwf generados con los modelos federados de Navisworks Manage.

Para el diseño 3D, se utilizaron principalmente los softwares Revit para las arquetas (CEEX, V-134 y arquetas tipo ventosa y desagüe) e Istram para las conducciones existente y proyectada.

La estrategia de modelado para este proyecto tuvo en cuenta varias sub-disciplinas que fueron conformando cada uno de los 12 sub-modelos que integraban el modelo de coordinación final.

Tabla 2. Estructuración del modelo federado por disciplinas

MODELOS DE MODELADO (12)				MODELOS DE EXPORTACIÓN (12)	MODELO DE COORDINACIÓN (1)	
Nº de modelo	Modelo asociados al terreno	Software	Extensión	Extensión	Software	Extensión
1	Topografía	Istram	.tpt	.nwc	Navisworks	.nwf
2	Urbanización	Infraworks	fbx	.nwc		
	Modelos de conducciones	Software	Extensión	Extensión		
3	Existente	Istam	.isa	(de ifc).nwc		
4	Conducción proyectada	Istram	.isa	(de ifc).nwc		
	Modelos de arquitectura	Software	Extensión	Extensión		
5	Arqueta CEEX	Revit	.rvt	.nwc		
6	Arqueta V-134	Revit	.rvt	.nwc		
7	Arqueta tipo Ventosa	Revit	.rvt	.nwc		
8	Arqueta tipo Desagüe	Revit	.rvt	.nwc		
	Modelos de instalaciones	Software	Extensión	Extensión		
9	Arqueta CEEX	Revit	.rvt	.nwc		
10	Arqueta V-134	Revit	.rvt	.nwc		
11	Arqueta tipo Ventosa	Revit	.rvt	.nwc		
12	Arqueta tipo Desagüe	Revit	.rvt	.nwc		

3.3.2. Coordinación entre disciplinas (gestión de colisiones)

Dentro de un modelo BIM, es fundamental la labor de coordinación de los modelos de cada una de las disciplinas. Este trabajo se ha llevado a cabo a distintos niveles, dentro de los procesos de control de calidad de la metodología BIM que se aplican en la empresa.

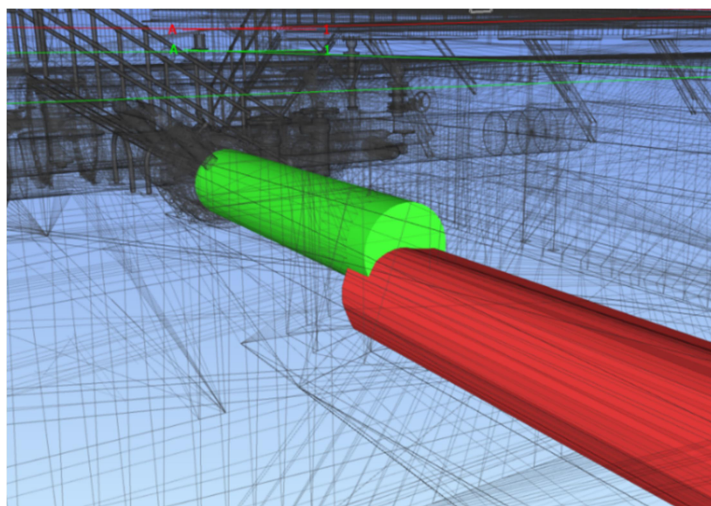


Fig. 5 Interferencia entre tubería de salida de arqueta y tubería de modelo de conducción proyectada.

Corresponde a los responsables de disciplina una primera revisión, para después pasar el filtro del coordinador BIM que pasa a federar los modelos y revisar el modelo con herramientas de detección de interferencias.

Para la coordinación y control de diseños, se utilizaron fundamentalmente los softwares BIMVision y Navisworks Manage. Dentro de este último, para la parte del análisis de colisiones se empleó la función “clash detective”, que permite la realización de informes de interferencias que fueron remitidos a los respectivos departamentos involucrados.

Un ejemplo de colisión que se produjo durante la federación de los modelos, fue la que se pudo observar en la conducción de salida de la arqueta V-134, que no cuadraba con el punto de unión del modelo de conducción proyectada. Como se puede observar en la imagen superior (figura 5), la desviación era aproximadamente la del radio de la conducción y pudo ser subsanada en versiones posteriores de los modelos.

Esta herramienta de control fue fundamental para la revisión del modelo y la subsanación de este tipo de situaciones, consecuencia natural del trabajo colaborativo de diferentes disciplinas y de la federación de modelos procedentes de softwares distintos.

3.3.3. Visualización y validación del diseño

La visualización 3D se llevó a cabo empleando, por un lado, el visor gratuito BIMVision y por otro el software Navisworks Manage. Aspectos como la ocupación de superficies, dimensionamiento de elementos principales de las arquetas, los costes aproximados y los procesos constructivos fueron más sencillos de prever, dando así respuesta a este uso BIM.

En el siguiente enlace, se puede realizar un recorrido por la arqueta CEEX de manera virtual que sirve de ejemplo sobre las posibilidades que puede ofrecer el diseño de modelos digitales y sus posibilidades de visualización: https://momento360.com/e/u/8decef09387d41ddb9f5f569f7713701?utm_campaign=embed&utm_source=other&size=medium.



Fig. 6 Ejemplo de representación de entorno virtual de arqueta CEEX.

La idea principal de este uso fue el empleo de los modelos BIM para favorecer la revisión del diseño y su validación. Dicho proceso fue llevado a cabo en las reuniones de seguimiento y a través de la notificación de incidencias de la plataforma BIMCollab, de este modo se fueron revisando los avances en el trabajo de diseño 3D. Se buscó así una mejor comprensión de los procesos y una fácil anticipación en la toma de decisiones.

3.3.4. Obtención de documentación 2D

Este uso BIM permitió un mayor grado de coherencia en la información contenida en planos. Con los Modelos realizados en el proyecto se garantizó que para la documentación 2D se obtuvieran del modelo los planos generales, plantas y alzados.

3.3.5. Vinculación con sistema GMAO

Desde el comienzo del proyecto, el Cliente dejó clara su intención de emplear el modelo no sólo durante las fases de diseño y ejecución, sino también en la de explotación y mantenimiento. Por ello, uno de los usos

BIM a los que se dio bastante importancia, fue al de la vinculación del modelo resultante para operación (modelo de información del activo) con el sistema de gestión de mantenimiento asistido por ordenador.

Esto se materializó con el capítulo de parámetros de mantenimiento; “CAA_07_Mantenimiento”, establecidos según el set de propiedades indicado en el apartado 3.2. En la tabla del set de propiedades propuesta por el cliente (tabla 1), se puede comprobar como dos de estas propiedades se corresponden con un nivel LOI 3 pensado para la fase de operación y mantenimiento. En todos los elementos de los modelos de instalaciones susceptibles de necesitar labores de mantenimiento, fueron añadidas estas propiedades. Concretamente se asignaron en la primera de las propiedades (“CAA_0701_CoswinCódigo”), los primeros 6 dígitos de los 14 totales que le corresponden a cada elemento en función de la arqueta a la que pertenecen. Dichos elementos una vez construidos y colocados en su posición final, serán inventariados en el GMAO y podrá completarse el código unívoco que le corresponde a cada uno de ellos. De esta manera, con una actualización periódica de los datos del modelo de información, se puede emplear el modelo digital resultante del activo como una herramienta más para la gestión de la operación y mantenimiento de las instalaciones.

3.3.6. Comunicación BCF

Otra novedad respecto a otros proyectos, fue el uso de la plataforma BIMCollab para llevar a cabo las comunicaciones. De esta forma, el correo electrónico fue prácticamente sustituido como medio de notificación por dicha plataforma. También se realizaron pruebas piloto con el modelo aplicando el protocolo de incidencias bcf, que consiste en un estándar OpenBIM para notificar incidencias de diseño, a través de los modelos BIM compartidos entre los diferentes agentes.

3.3.7. Entorno Común de Datos (CDE)

Uno de los requisitos establecidos por el Cliente en este proyecto fue la utilización de un repositorio común de información o entorno común de datos (CDE), en el que toda la información del proyecto se encontrase incluida en sus diferentes carpetas. La plataforma que se empleó para este fin fue Microsoft One Drive. Se buscó en todo momento que los modelos BIM fuesen la fuente estandarizada y centralizada de toda la información del proyecto.

En este CDE, la transmisión de la información y su almacenamiento en función del estado de cada archivo siguió la norma UNE-EN ISO 19650 (alineada con la original PAS1192), con los repositorios: “en progreso”, “compartido”, “publicado” y “archivado”.

4. Problemas encontrados durante el proyecto

4.1. Georreferenciación de modelos

Una de las principales dificultades en cualquier proyecto realizado mediante metodología BIM, es la de georreferenciar correctamente todos los sub-modelos de forma que haya correspondencia entre su posición real y la establecida en el modelo digital. Consiguiendo esto, el modelo federado resultante de incluir todos los sub-modelos anteriores, conformará el modelo definitivo del proyecto constructivo. Esta dificultad se acentúa cuando, como en el caso del proyecto de Reposición de las conducciones del Consorcio: Ramal Silvota, se emplean diferentes softwares de modelado para las partes del proyecto. Como se ha mencionado anteriormente, la conducción proyectada se diseñó en Istram mientras que las arquetas fueron realizadas mediante Revit. Ambos programas tienen distintas formas de referenciar los modelos por lo que durante su diseño hubo que poner especial atención a la hora de federarlos.

La federación se llevó a cabo con Navisworks Manage generando así el modelo de coordinación. En un principio se pensó en federar los archivos ifc de cada uno de los modelos. Sin embargo, esto dio lugar a

problemas en la georreferenciación en los modelos de las arquetas que procedían de Revit. Por ello, se tuvo que modificar el flujo de trabajo y generar los archivos caché de Navisworks (extensión .nwc), a partir de los archivos nativos de los modelos de Revit quedando correctamente ubicados. Los modelos de conducciones existente y proyectada sí obtuvieron sus archivos caché a partir de archivos ifc dado que no daban estos problemas.



Fig. 7 Errores en la georreferenciación de los modelos de las arquetas al federar.

Una vez modificado el flujo de trabajo para la obtención del modelo de coordinación, no hubo problemas en la georreferenciación de los 12 sub-modelos y se pudo llevar a cabo la coordinación y visualización del modelo global en las sucesivas revisiones realizadas durante la fase de diseño.

4.2. Interoperabilidad entre softwares de modelado

Al emplear para el modelado del proyecto programas informáticos de empresas de software distintas, la interoperabilidad de sus archivos nativos no es completa pudiendo en algunos casos, perderse cierta información de los mismos o, directamente no funcionando cuando se intenta abrir un modelo con el otro programa. Por una parte, Istram es un software pensado para obras lineales y redes de abastecimiento mientras que, para cualquier tipo de edificación como en el caso de los 4 edificios de arquetas modeladas, es común el empleo de Revit como así se hizo para el proyecto del ramal de Silvota.

A la hora de salvar esta problemática, derivada de las diferencias entre los modelos procedentes de programas informáticos distintos, fue muy importante la exportación de archivos nativos a formato ifc, trabajando desde el enfoque openBIM. De esta forma se consiguió que archivos de distinto origen, se pudieran federar en uno solo que sirviera como modelo del proyecto definitivo.

4.3. Parametrización de modelos en Navisworks

Como se indicó en el apartado 3.2, los modelos fueron parametrizados según el conjunto de propiedades indicadas por CADASA. Una de las peticiones del cliente fue intentar plasmar dicho conjunto de propiedades en los modelos de coordinación generados para el seguimiento de los avances del modelo, en el software Navisworks. Aunque este software es muy apropiado para manejar todo tipo de extensiones de archivos procedentes de diferentes programas informáticos, parte de la información paramétrica se perdía en algunos casos y no era visible en el menú de propiedades al seleccionar los elementos.

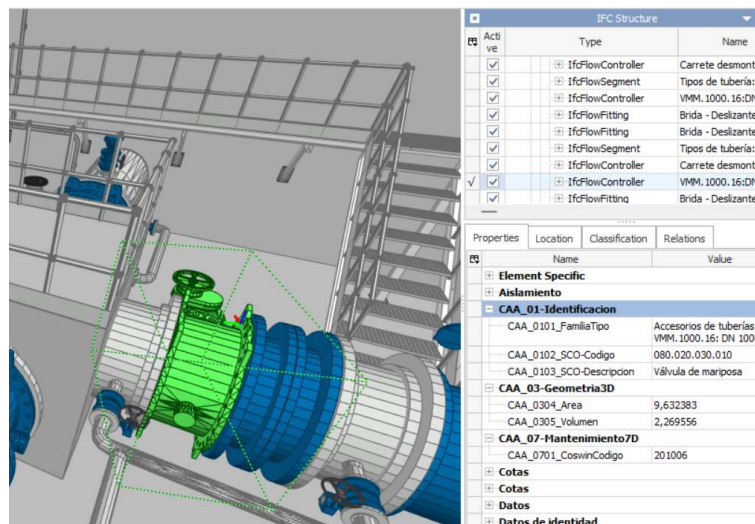


Fig. 8 Ejemplo de visualización de set de propiedades en visualizador ifc.

En esta situación, se acordó en una reunión de seguimiento con el cliente usar los modelos de coordinación (extensión .nwf) para la revisión espacial y geométrica mientras que, para la comprobación del set de propiedades se usaron directamente los modelos definitivos en formato ifc. En este último formato, el conjunto de parámetros de CADASA quedó configurado por capítulos de manera jerarquizada y perfectamente identificable en el visualizador ifc que se empleó.

5. Conclusiones

En el presente artículo, se ha descrito el procedimiento de redacción del “proyecto de reposición de las conducciones del consorcio: ramal Silvota” en Asturias, explicando cómo se desarrolló el proceso de licitación, las particularidades que ha supuesto al realizarse íntegramente con metodología BIM y la respuesta que se dio a cada uno de los usos BIM del proyecto junto con las dificultades encontradas. Las principales conclusiones obtenidas tras la realización de este proyecto son:

1. El proyecto de “Reposición de las conducciones del consorcio: Ramal Silvota”, al ser el primero llevado a cabo en metodología BIM en CADASA, ha significado un antes y un después en los proyectos de obras hidráulicas. Constituye un punto de partida muy significativo de lo que pueden ser en el futuro esta tipología de proyectos en cuanto a desarrollo de requisitos BIM (4D, 5D, infografías y recorridos virtuales, uso del modelo en fase de operación y mantenimiento, etc.)
2. Desde el punto de vista de experiencia en la empresa, este proyecto ha servido para asentar los conocimientos previos que se tenían en la metodología BIM y sumar una experiencia real más, abriendo camino en el sector de las obras hidráulicas. También se han incrementado las habilidades en el trabajo colaborativo respecto a otras experiencias ya que, en el proyecto explicado participaron varios agentes con los que fue necesaria una adecuada coordinación.
3. 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. En este caso, se utilizaron como medio para terminar de decidir la solución definitiva, la detección de colisiones entre las distintas disciplinas y para revisión y seguimiento del avance de los trabajos.
4. Independientemente de los softwares de modelado empleados, la existencia de herramientas de visualización openBIM permite que todos los agentes implicados en el Proyecto puedan realizar de forma sencilla y gratuita 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. De igual forma, cualquier agente puede realizar una comprobación rápida y sencilla de mediciones.
5. La implantación de metodologías nuevas debe probarse sobre proyectos reales. En base a la experiencia obtenida en BIM, cuando se trabaja en proyectos teóricos, o que no son de producción, se pierde la tensión del aprendizaje. En este sentido, se demuestra la clara voluntad por parte de algunas administraciones públicas de cambiar esta situación, proponiendo para sus proyectos la aplicación de la metodología BIM y, en algunos casos como el de CADASA, promoviendo esta estrategia con su propia guía BIM.
 6. 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. Sin embargo, este fruto de aplicar la metodología BIM no va a ser inmediato. En las primeras experiencias siempre habrá un sobrecoste hasta que la implantación en las organizaciones esté madura y asentada, momento en el cual se podrán comparar los beneficios productivos que redundarán en una mayor eficiencia y productividad de los procesos.
 7. La posibilidad de desarrollo de entornos digitales muy cercanos a la realidad virtual tiene cada vez más potencial en diversos ámbitos. A partir de levantamiento del modelo digital, se pueden llevar a cabo todo tipo de infografías, videos y recorridos virtuales por las principales ubicaciones del proyecto que sirvan para ayudar a entender cuál sería el resultado que se obtendría una vez construido.

Referencias

GÓMEZ-CALDITO VISEAS, M.A. et al. (2021). "Primer proyecto en BIM de ingeniería civil portuaria en España. Ampliación del Muelle Sur del Puerto de Valencia." *Congreso Internacional EUBIM 2021*. Valencia. "The BIM meeting. Libro de actas". Páginas 125 a 136.

PASTOR VILLANUEVA, JM et al. (2019). "*BIM en obras civiles. Proyecto para la futura línea 10 de la red FGV en Valencia*." Congreso Internacional EUBIM 2019. Valencia. "EUBIM 2019. Libro de actas". Páginas 244 a 254.

CADASA (2021): "Manual BIM CADASA" [Consulta: 20 de enero de 2022]

TPF-Getinsa-Euroestudios (2021): Manual BIM para infraestructuras TPF-Getinsa-Euroestudios. [Consulta: 18 de febrero de 2022]

BIM Forum: "Level of Development (LOD) Specification" <<https://bimforum.org/lod/>> [Consulta: 16 enero 2022]

ABAKAL: "Paseo y la visualización de la arqueta del centro de explotación y mantenimiento (CEEX)": https://momento360.com/e/u/8decef09387d41ddb9f5f569f7713701?utm_campaign=embed&utm_source=other&size=medium [Consulta: 22 febrero 2022]

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, documento 32014L0024

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.

Asociación Española de Normalización (2019,2020 y 2021): *Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling)*. UNE-EN ISO 19650. España

British Standards Institution (2013): *Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling*. PAS 11-2-2:2013. Reino Unido.



EVALUACIÓN DE DAÑOS MEDIANTE MODELO MATEMÁTICO INTEGRADO EN HERRAMIENTA WEB

Otal-Simal, Rafael^a y Pérez-González, Pedro-Enrique^b

^aIngeniero de Software, goldrak@gmail.com. ^bEspecialista BIM, pedenry@gmail.com.

Abstract

This initiative to quantify the dangerousness of property damage is not the first and, surely, it will not be the last. The difference in this mathematical model is that it evaluates various quality requirements such as security, habitability, functionality or even aesthetics. In its preparation, it has been intended to be understandable to the largest number of users. This translates into a simple formula that can be expressed as follows:

$$GP = E + H + F + So + Se$$

Its use is very simple, the technician who evaluates the damage of a property, often must fill in some fields to categorize and analyze the data. These fields have been represented in a form where each piece of information has a numerical value incorporated. In turn, this form is integrated into a web tool so numerical values are automatically obtained as the information is entered.

Throughout this article, the operation of this mathematical model will be developed, the variables that are taken into account will be exposed and it will be shown how it can support decision-making.

Keywords: Pathology, mathematical model, automation, web tool, quantification.

Resumen

Esta iniciativa para la cuantificación de la peligrosidad de los daños en los inmuebles no es la primera y, seguramente, no será la última. La diferencia en este modelo matemático es que, evalúa varios requisitos de calidad como la seguridad, la habitabilidad, la funcionalidad o, incluso, la estética. En su elaboración, se ha pretendido que fuera comprensible para el mayor número de usuarios. Esto se traduce en una simple ponderación que puede expresarse de la siguiente manera:

$$GP = E + H + F + So + Se$$

Su uso es muy simple, el técnico que evalúa los daños de un inmueble, a menudo debe rellenar unos campos para categorizar y analizar sus datos. Estos campos se han representado en un formulario donde, cada dato, lleva incorporado un valor numérico. A su vez, este formulario, está integrado en una herramienta web por lo que se obtienen automáticamente valores numéricos según se introduce la información.

A lo largo de este artículo, se desarrollará el funcionamiento de este modelo matemático, se expondrán las variables que se tienen en cuenta y se mostrará cómo puede dar soporte para la toma de decisiones.

Palabras clave: Patología, modelo matemático, automatización, herramienta web, cuantificación.

Introducción

La digitalización, en su acepción más primaria, no es más que la transformación de la realidad en valores entendibles por un ordenador.

Un ejemplo sería la representación de un color por medio de un código como el hexadecimal. Esto nos permite ver en una pantalla el color interpretado por el ordenador gracias a dichos caracteres. De la misma manera que a los colores se les pueden asignar valores, también se puede actuar de igual forma con otros elementos de la realidad como son las patologías y los datos asociados a estas.



Fig. 1. Representación gráfica de un color con su correspondiente código hexadecimal y código RGB. Fuente: <https://www.color-hex.com/color/ff82e0>

Con ello se puede conseguir una capacidad de análisis para cuantificar la peligrosidad de una patología por medio de una fórmula.

Cabe destacar que esta no es la primera iniciativa para aportar un valor numérico en la cuantificación de daño¹, la diferencia en este modelo matemático es que evalúa varios requisitos de calidad como la seguridad, la habitabilidad, la funcionalidad o, incluso, la estética.

Así mismo, se va a hacer mención a una herramienta web que ya fue objeto de una comunicación en 2021 en la cual, se detallaban las funcionalidades siendo la principal, el registro de patologías de un inmueble de la manera más eficiente posible².

1. El origen de la fórmula

Esta idea surge del sistema **Common Vulnerability Scoring System (CVSS)** para cuantificar las vulnerabilidades en materia de seguridad informática. Es un sistema de puntuación que proporciona un método estándar y abierto que se compone de tres grupos principales de métricas: Base, Temporal y de Entorno (*Environmental*) (Fig. 2). Cada uno de estos grupos se compone a su vez de un conjunto de métricas según su naturaleza³.

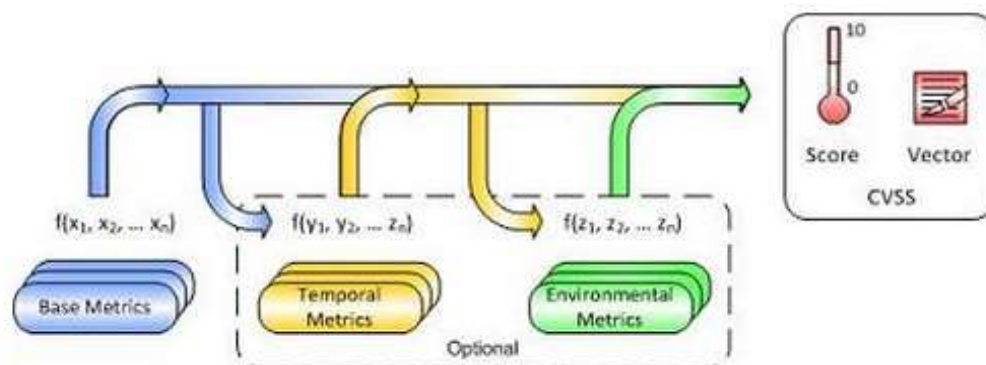


Fig. 2. Métricas y ecuaciones de la versión 2. Fuente: <https://www.certs.es/blog/cvss3-0>

Es en estos grupos de métricas es en los que se basa la fórmula para cuantificar lo que se denominará *Requisitos de calidad del inmueble*.

2. Finalidad

Antes de definir el fin de este método de cuantificación, hay que destacar que se siguen ponderando unos determinados aspectos que, en futuras versiones, se podrán matizar con más estudios y opiniones. Así mismo, la creación de esta fórmula tiene unos motivos intrínsecos y extrínsecos.

Los motivos intrínsecos y de funcionalidad inmediata son los de **ayudar al usuario de la aplicación a evaluar cada patología**, no solo por medio de tablas sino de una manera gráfica y cuantitativa que le sirva para la toma de decisiones.

Pero los motivos más importantes por su potencial de repercusión son los motivos extrínsecos de **hacer la fórmula pública y abierta a modificaciones**. Es por todo ello por lo que se ha pretendido hacerla lo más simple posible de tal forma que cualquier agente (institución, profesional o empresa) que quiera participar, pueda **proponer cambios con el fin de hacerla más ajustada** y con la misma capacidad de evolución que tendrá el sector de la construcción.

Esta idea también es gestada basándose en la historia del sistema CVSS cuyas andaduras parten del FIRST⁴, institución donde participan 421 equipos de más de 70 países y que publicó en 2014 un borrador que culminó en 2015 con una publicación definitiva de la tercera versión de este sistema de evaluación, teniendo en cuenta los nuevos contextos tecnológicos y amenazas actuales.

Así mismo, esta fórmula **es sólo el inicio de un modelo de evaluación de la peligrosidad de las patologías** para que el técnico tenga una herramienta más que le ayude a solucionar dilemas como, por ejemplo, cuando hay escasos recursos económicos y se debe priorizar a la hora de aportar soluciones que subsanen los daños de un edificio con el mayor impacto para aumentar su calidad.

3. Los requisitos de calidad de un inmueble

Para extraer los requisitos a tener en cuenta para cuantificar la calidad que debe tener un inmueble, se ha partido de las normas del Código Técnico Español (CTE) que fueron aprobadas por el REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo. Dichas normas en forma de exigencias básicas están compuestas de diferentes partes según su ámbito de aplicación:

- Exigencias básicas de seguridad estructural (SE)
- Exigencias básicas de seguridad en caso de incendio (SI)
- Exigencias básicas de seguridad de utilización y accesibilidad (SUA)
- Exigencias básicas de salubridad (HS). “Higiene, salud y protección del medio ambiente”
- Exigencias básicas de protección frente al ruido (HR)
- Exigencias básicas de ahorro de energía (HE)

De esta enumeración de exigencias básicas, se perciben tres requisitos que debe tener un inmueble para cumplir con la calidad y el confort adecuados a su uso:

- Seguridad
- Habitabilidad
- Funcionalidad

Cabe destacar que el modelo de la fórmula se podría haber orientado a cuantificar la afección que tendría cada patología en las mencionadas exigencias básicas. Esto que *a priori* puede resultar útil, resultaría poco operativo si se intentara internacionalizar esta fórmula adaptada a las normas de España, es decir, las cuantificaciones expresadas en los documentos del CTE serán, en casos aislados, iguales a las de otros

países. Por tanto, se ha pretendido extraer unos requisitos que fueran comunes en cada edificación del mundo para facilitar su futura comprensión, utilización y escalabilidad.

Continuando con los tres requisitos extraídos del CTE, se ha creído conveniente hacer ligeras modificaciones renombrando algunos requisitos y añadiendo otros para adaptar las afecciones de los daños producidos por las patologías:

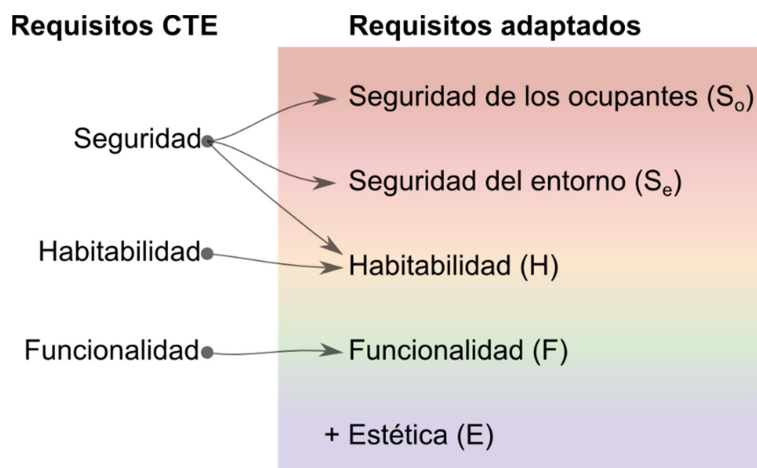


Fig. 3. Adaptación de requisitos basados en el CTE. Fuente: Elaboración propia.

Para entender mejor la repercusión que tienen estos requisitos, se establece una relación de estos con las exigencias a las que afectan:

Tabla 1. Relación de requisitos de calidad con la relación a los Documentos Básicos del CTE.

	SE	SI	SUA	HS	HR	HE
Estética						
Habitabilidad				■	■	■
Funcionalidad		■	■	■	■	■
Seguridad de los ocupantes	■	■	■			
Seguridad del entorno	■	■	■			

En la tabla se aprecia cómo en el CTE no se valora el valor estético de una edificación, quedándose solo en los valores cuantitativos que permiten guiar de una manera objetiva y práctica el proceso de creación de un edificio para conseguir unos estándares de calidad.

4. La fórmula

$$GP = E + H + F + S_o + S_e \quad (1)$$

Para su elaboración, se ha pretendido que fuera comprensible para el mayor número de usuarios, dando como resultado una simple ponderación de los cinco requisitos de calidad (definidos anteriormente) que pueden verse comprometidos a raíz de la aparición de una patología. No obstante, es importante resaltar que esta fórmula es una primera versión y que seguro se irá mejorando con la experiencia y la implicación de técnicos y usuarios.

La ponderación considera el uso mayoritario del inmueble y, por tanto, también es una variable a tener en cuenta como se desarrollará más adelante.

Los requisitos afectados tienen, a su vez, una serie de coeficientes que pueden minorar su valor en base a distintos parámetros introducidos mediante el formulario de la herramienta, lo que dejaría la fórmula de la siguiente manera:

$$GP = e \times C_e \times \%e + h \times C_h \times \%h + f \times C_f \times \%f + s_o \times C_{s_o} \times \%s_o + s_e \times C_{s_e} \times \%s_e \quad (2)$$

Donde:

- **GP**: Gravedad de la patología. Valor final comprendido entre 0 y 10.
- **e**: Factor estético bruto tomado de una matriz en función de la tipología de la patología.
- **h**: Factor de habitabilidad bruto tomado de una matriz en función de la tipología de la patología.
- **f**: Factor de funcionalidad bruto tomado de una matriz en función de la tipología de la patología.
- **so**: Factor de la seguridad de los ocupantes bruto tomado de una matriz en función de la tipología de la patología.
- **se**: Factor de seguridad del entorno bruto tomado de una matriz en función de la tipología de la patología.
- **C_e**: Coeficiente de minoración de e.
- **C_h**: Coeficiente de minoración de h.
- **C_f**: Coeficiente de minoración de f.
- **C_{so}**: Coeficiente de minoración de so.
- **C_{se}**: Coeficiente de minoración de se.
- **%**: Ponderación en función del uso mayoritario del inmueble.

El resultado final sería un valor entre 0 y 10 siendo más grave el daño cuanto más alto es el valor obtenido.

5. Actuación en función del valor GP

Al igual que en el sistema CVSS y siguiendo con el paralelismo con el que se empezó esta comunicación, se han establecido una serie de niveles según unos rangos.

Tabla 2. Correspondencia entre la puntuación CVSS y valor cualitativo (severidad). Fuente: <https://www.certs.es/blog/cvss3-0>

Puntuación CVSS		Severidad
	0	Nula
0,1 ~	3,9	Baja
4 ~	6,9	Media
7 ~	8,9	Alta
9 ~	10	Crítica

Con estas acotaciones de los posibles valores de GP, se pueden proponer unas formas de actuación que se traducen en periodos máximos de intervención por cada nivel.

Para establecer estos periodos se ha tomado como referencia el DECRETO 241/2012, de 21 de noviembre, concretamente el Artículo 12.j⁵ por el que se establecen unos grados del 1 al 5, siendo el 1 el más urgente, y el 5, el que entraña menor gravedad. Todo esto se resume en:

Tabla 3. Resumen de plazos de actuación según el grado de las lesiones.

Grado	Plazo de actuación	
5		Mantenimiento
4	>	12 meses
3	<	12 meses
2	<	3 meses
1	<	24 horas

Y llevado a los posibles valores de GP, nos quedarían los siguientes rangos con sus correspondientes plazos de actuación:

Tabla 4. Plazos de actuación según puntuación GP y rangos de severidad.

Puntuación GP	Severidad	Plazo de actuación
0	Nula	Mantenimiento
0,1 ~ 3,9	Baja	> 12 meses
4 ~ 5,9	Media	< 12 meses
6 ~ 8,9	Alta	< 3 meses
9 ~ 10	Crítica	< 24 horas

En cuanto a los rangos de GP, estos han cambiado con respecto a los del sistema CVSS ya que la interpretación de la severidad difiere del ámbito de las patologías en edificación al de la seguridad informática. También cabe mencionar que, a título nominal, se han cogido los niveles del sistema CVSS por ser estos más descriptivos con la consecuente forma de actuación.

6. Parámetros a tener en cuenta

De entre todos los parámetros que se definen al registrar una patología, se han seleccionado aquellos que podían cuantificar mejor el daño. También hay que destacar que no solo se deben tener en cuenta los parámetros propios del daño, sino que para valorar de una manera más exacta la gravedad, se debe tener en cuenta algunos parámetros propios del edificio y que, por tanto, afectarán a las demás patologías registradas que estén asociadas a él, lo que conduce a establecer dos grupos de parámetros:

- Los propios del inmueble:
 - *Uso mayoritario del edificio*
- Los propios de la patología:
 - *Tipo de patología*
 - *Elemento*
 - *Afecta a elemento estructural*
 - *Evolución de la lesión*

- Peligro de estabilidad
- Urgencia de intervención
- Inminencia del riesgo

Cada uno de ellos cuantificará de manera diferente a la hora de aportar los datos a la fórmula.

7. Conclusiones. El uso de la fórmula

7.1. Procedimiento manual

Para obtener los datos necesarios y poder calcular la gravedad del daño, se deben seguir tres pasos que nos llevarán a través de matrices en función de diversos parámetros:

1. Averiguar los **valores brutos** de afección de los requisitos en función de la patología.
2. Averiguar los **coeficientes de minoración** en base al elemento afectado por la patología.
3. Averiguar la **ponderación en función del uso mayoritario** del inmueble.

Para esclarecer mejor su uso, se ha trabajado en cada uno de los pasos según un ejemplo en donde se ha supuesto la introducción de datos de una patología (Tabla 5) tal y como se haría en la herramienta.

Tabla 5. Datos de ejemplo para el uso de la fórmula.

Patología Fisuras/Grietas	
Elemento Fachadas ladrillo cara vista	
Elemento estructural	No
Evolución	Estable
Peligro de estabilidad	Media
Urgencia	Media
Riesgo inminente	No
Uso del edificio Residencial privado	

7.1.1. Averiguar los valores brutos de afección de los requisitos en función de la patología.

$$GP = e \times C_e \times \%e + h \times C_h \times \%h + f \times C_f \times \%f + s_o \times C_{s_o} \times \%s_o + s_e \times C_{s_e} \times \%s_e \quad (3)$$

Tabla 6. Valores brutos de afección de los requisitos en función de la patología.

	e	h	f	so	se
Ataque biológico	10	5	5	5	5
Atascos y/o mal funcionamiento de instalación	5	5	10	5	5
Ausencia o deficiente colocación de elementos	10	10	10	10	10
Corrosión/oxidación	10	5	10	10	10
Daño estético	10	5	0	0	0
Defectos de acabado	10	10	5	0	0
Degradación y/o descomposición del material	10	10	10	10	10
Deslizamientos	10	10	10	10	10

	e	h	f	so	se
Desplomes	10	10	10	10	10
Desprendimiento/levantamiento	10	10	10	10	10
Disfunciones	5	10	10	5	5
Eflorescencias	10	0	5	0	5
Encharcamientos	10	10	10	10	10
Fisuras/Grietas	10	10	10	10	10
Humedad	10	10	10	10	10
Juntas entre piezas	10	10	10	10	10
Malos olores	0	10	10	10	10
Manchas/suciedad y/o tonalidad	10	5	5	5	5
Manifestación junta con paramentos	10	10	10	10	10
Pandeo	10	10	10	10	10
Percepción ruido más allá de lo admisible	0	10	10	5	7,5
Pérdida sección	10	0	10	10	10
Permeabilidad al aire	0	10	10	5	0
Planimetría	10	5	5	0	0
Resbaladidad	0	10	10	5	5
Otro					

En la tabla se muestran los valores máximos que puede tener un tipo de patología en cuanto a los requisitos definidos anteriormente. Como puede apreciarse, son valores comprendidos entre 0 y 10 que posteriormente se verán minorados en mayor o menor medida por otros parámetros definidos en la aplicación.

Ejemplo:

Tomamos los valores de la tabla para el tipo de patología definido como “Fisuras/Grietas” y obtenemos que:

- e = 10
- h = 10
- f = 10
- s_o = 10
- s_e = 10

Pudiendo sustituir en la fórmula:

$$GP = 10 \times C_e \times \%e + 10 \times C_h \times \%h + 10 \times C_f \times \%f + 10 \times C_{so} \times \%so + 10 \times C_{se} \times \%se \quad (4)$$

7.1.2. Averiguar los coeficientes de minoración en base al elemento afectado por la patología

$$GP = e \times C_e \times \%e + h \times C_h \times \%h + f \times C_f \times \%f + so \times C_{so} \times \%so + se \times C_{se} \times \%se \quad (5)$$

Una vez obtenidos los valores de los requisitos, procedemos a averiguar el coeficiente en función al elemento afectado por la patología y alguno de los parámetros definidos en la aplicación.

Conviene tener en cuenta que, si el usuario ha marcado la patología como riesgo inminente, automáticamente el valor GP pasa a ser el máximo.

Los coeficientes se obtienen de unas tablas en donde el resultado será la media de los diferentes parámetros definidos. Esto es así porque los diferentes parámetros tienen, en esta primera versión de la fórmula, la misma importancia a la hora de cuantificar la gravedad de una patología y por eso, no hay que descartar que en un futuro puedan operarse con ellos de una manera diferente.

Al haber parámetros que no afectan para la obtención de determinados coeficientes, se ha elaborado la siguiente tabla (Tabla 7) en donde se aprecia qué parámetros afectan a cada uno de los coeficientes.

Tabla 7. Afección de los parámetros a los tipos de coeficientes.

	C _e	C _h	C _f	C _{so}	C _{se}
Elemento estructural					
Evolución de la lesión					
Peligro de estabilidad					
Urgencia de intervención					
Riesgo inminente*					

*Afectará cuando exista el riesgo inminente

Ejemplo:

En el daño propuesto como ejemplo, se resume a continuación cada uno de los coeficientes obtenidos en las diferentes matrices:

Tabla 8. Valores de los coeficientes en función de los parámetros del ejemplo.

	C _e	C _h	C _f	C _{so}	C _{se}
Elemento estructural				0,75	0,75
Evolución de la lesión	0,75	0,50	0,75	0,75	0,75
Peligro de estabilidad		0,50	0,50	0,50	0,50
Urgencia de intervención		0,50	0,50	0,50	0,50
Riesgo inminente	-	-	-	-	-
Media	0,75	0,50	0,58	0,63	0,63

Que al insertarlo en la fórmula para el ejemplo quedaría de la siguiente manera:

$$GP = 10 \times 0,75 \times \%e + 10 \times 0,50 \times \%h + 10 \times 0,58 \times \%f + 10 \times 0,63 \times \%so + 10 \times 0,63 \times \%se \quad (6)$$

7.1.3. Averiguar la ponderación en función del uso mayoritario del inmueble

$$GP = e \times C_e \times \%e + h \times C_h \times \%h + f \times C_f \times \%f + s_o \times C_{s_o} \times \%so + s_e \times C_{s_e} \times \%se \quad (7)$$

Esta ponderación son los valores registrados en la siguiente tabla:

Tabla 9. Ponderaciones en tanto por uno según el uso mayoritario del inmueble.

	%e	%h	%f	%so	%se	
Residencial público	0,05	0,30	0,20	0,40	0,05	1,00
Residencial privado	0,05	0,30	0,20	0,40	0,05	1,00
Administrativo	0,05	0,20	0,30	0,40	0,05	1,00
Docente	0,05	0,20	0,30	0,40	0,05	1,00
Comercial/pública concurrencia	0,10	0,15	0,30	0,40	0,05	1,00
Industrial	0,05	0,10	0,40	0,40	0,05	1,00
Sanitario	0,05	0,20	0,30	0,40	0,05	1,00
Monumental	0,35	0,05	0,15	0,40	0,05	1,00

Los valores significan la importancia que tienen los requisitos afectados según el uso mayoritario del edificio.

A la hora de valorar la ponderación, conviene tener en cuenta el uso mayoritario del inmueble ya que en unos casos pueden ser más importantes unos requisitos frente a otros.

Tal es el caso de un uso monumental frente a un residencial donde el requisito estético gana importancia en el primer caso, al ser un inmueble al que se le saca rendimiento gracias a su valor estético.

Ejemplo:

En el caso del edificio donde se ha producido el daño que se está tratando, el uso mayoritario es *residencial público*. Esto se traduce en que las ponderaciones quedarían de la siguiente manera:

- %e = 0,05 = 5%
- %h = 0,30 = 30%
- %f = 0,20 = 20%
- %so = 0,40 = 40%
- %se = 0,05 = 5%

Lo que deja la fórmula con todos los datos definidos y preparada para evaluarla:

$$GP = 10 \times 0,75 \times 0,05 + 10 \times 0,50 \times 0,30 + 10 \times 0,58 \times 0,20 + 10 \times 0,63 \times 0,40 + 10 \times 0,63 \times 0,05 \quad (8)$$

Obteniendo primero los valores calculados de afección de cada requisito para después, obtener el valor GP:

$$GP = 0,38 + 1,50 + 1,16 + 2,52 + 0,32 = 5,88 \quad (9)$$

Este valor por sí mismo carece de importancia si no fuera por los rangos establecidos en el apartado 5 (*Actuación en función del valor GP*) para poder transformarlos en una forma orientativa de actuación.

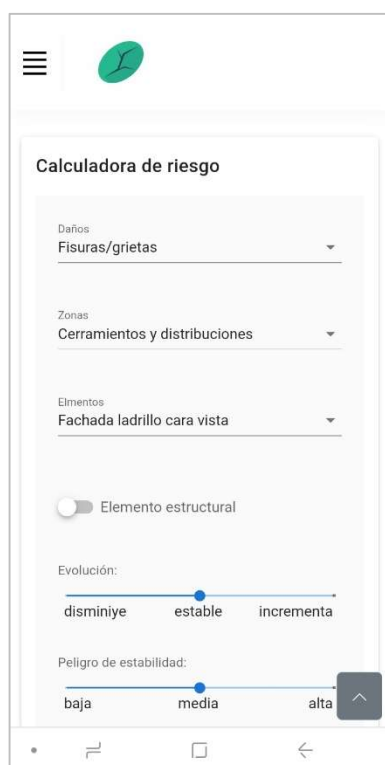
Con los niveles establecidos, la patología que tiene este valor tendría una severidad media lo que se traduce en un plazo de actuación **no mayor de 12 meses**.

Recordando sus parámetros, se trata de un daño manifestado en una fachada en forma de grieta o fisura que se encuentra en estado estable y que, a criterio del usuario con perfil técnico que ha introducido los datos en la herramienta, se ha creído conveniente una urgencia de intervención *Media* dado, entre otros factores, el peligro de estabilidad que tenía la patología. Por tanto, el plazo de actuación que sugieren los

niveles establecidos y más concretamente la fórmula propuesta, pueden considerarse consecuentes y correctos para esta primera versión del sistema de evaluación de la gravedad de una patología.

Es necesario incidir en el carácter larvario de este sistema ya que se está haciendo pública en estos momentos y se crearán los medios para, a corto plazo, que más gente colabore y aporte más valor. Esta fórmula debe seguir evolucionando para retroalimentarse y poder ser más ajustada en un futuro con el fin de aumentar su potencial de análisis.

7.2. Uso a través de la web



The screenshot shows the 'Calculadora de riesgo' interface. It features three dropdown menus: 'Daños' (set to 'Fisuras/grietas'), 'Zonas' (set to 'Cerramientos y distribuciones'), and 'Elementos' (set to 'Fachada ladrillo cara vista'). Below these is a toggle switch for 'Elemento estructural' which is currently off. There are two sliders: 'Evolución' with markers for 'disminuye', 'estable', and 'incrementa', and 'Peligro de estabilidad' with markers for 'baja', 'media', and 'alta'. A 'CALCULAR' button is visible at the bottom right.

Fig. 4. Entrada de datos en la calculadora de la herramienta.

Fuente: <https://calculator.codahistory.com/>



This screenshot shows the same calculator interface but with the 'Elemento estructural' toggle switch turned on. It also shows sliders for 'Urgencia de intervención' (with markers 'baja', 'media', 'alta') and 'Riesgo inminente' (toggle switch, currently off). The 'Uso del edificio' dropdown is set to 'Residencial privado'. The 'CALCULAR' button is prominent at the bottom.

Fig. 5. Entrada de datos en la calculadora de la herramienta.

Fuente: <https://calculator.codahistory.com/>

Con motivo de esta comunicación, se ha habilitado una calculadora web para probar esta fórmula. En esta calculadora, el usuario puede introducir los datos necesarios para cuantificar el grado de peligrosidad de cualquier daño (Fig. 4 y Fig. 5). A continuación, sólo se precisa pulsar en el botón “Calcular” para hallar el valor del grado de peligrosidad con su correspondiente información sobre el plazo de actuación (Fig. 6 y Fig. 7). En este momento, se ha hecho el proceso desarrollado en el punto 7, de tal manera que, también se pueden detallar las calidades afectadas en el inmueble debido al daño que se ha introducido.



Fuente: <https://calculator.codahistory.com/>



Fuente: <https://calculator.codahistory.com/>

Referencias

¹ RUIZ GORRINDO, F; AGUADO DE CEA, A y SERRAT PIÈ, C (2018). “Escala de gravedad de daños en edificios. De la asignación directa a la contrastación estadística” en *Contart 2018*, p. 635-644.

² OTAL SIMAL, R. y PÉREZ GONZALEZ, P.E. (2021). “Herramienta web para la gestión del estado de conservación de los edificios y su conexión con modelos BIM” en EUBIM 2021. Congreso internacional BIM / 10º Encuentro de usuarios BIM, p. 160- 171

³ LÓPEZ, A. (INCIBE) (2015). *Métricas de evaluación de vulnerabilidades: CVSS 3.0* <<https://www.certs.es/blog/cvss3-0>> [Consulta: 24 de abril de 2021]

⁴ *Forum of Incident Response and Security Team* <<https://www.first.org/about/mission>> [Consulta: 14 de mayo de 2021]

⁵ DECRETO 241/2012, de 21 de noviembre, por el que se regula la inspección técnica de edificios en la Comunidad Autónoma del País Vasco <<https://www.irekia.euskadi.eus/es/orders/201205588?track=1>> [Consulta: 8 de mayo de 2021]

BIM EN EDIFICIOS DE CASI 1000 AÑOS: APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA DOCUMENTACIÓN ARQUEOLÓGICA Y PATOLÓGICA DEL BIC DEL SIGLO XII 'CASTILLO DE DAVALILLO' EN LA RIOJA

Abellán-Alemán, José María^a; Duque-Chasco, Jesús Ángel^b; Buendía-Peláez, Juan Ignacio^c y García-Navas, Manuel^d

^aArquitecto – BiMMate (España) jm.abellan@BiMMate.com ^bDr. Arquitecto – JAD arquitectos (España) jduque@jadarquitectos.com ^cIngeniero de edificación – BiMMate (España) ignaciobuendia@gmail.com y

^dArquitecto técnico – BiMMate (España) mgnavas@gmail.com.

Abstract

Davalillo's Castle is a historical-artistic complex located in San Asensio, in La Rioja, built in the 12th century and of which the fence remains today, reinforced with cylindrical cubes, and the homage tower. It is a fortress that presents a great void walled by clean canvases in which the two cubes that flank the access door and the homage tower that presides over the parade ground stand out.

Davalillo's Castle is a relevant example of medieval military architecture, which has been degraded by erosion and abandonment, where only the skeleton of the original fortress remains.

For its rehabilitation and adaptation to a new use, a complete digitization of the property in its current state is required, where the data of the archaeological study must be incorporated to help understand the construction process and those of the pathological study that will make it possible to visualize the areas where intervention must be carried out.

Digitization will be the basis on which subsequent refurbishment projects will be drawn up, constituting a magnificent opportunity to apply the advantages of BIM to historic buildings (HBIM).

Keywords: castle, fortress, historic, medieval, HBIM.

Resumen

El castillo de Davalillo es un conjunto histórico-artístico situado en el T.M. de San Asensio, en La Rioja, construido en el siglo XII y del que queda hoy la cerca, reforzada con cubos cilíndricos, y la torre del homenaje. Se trata de una fortaleza que presenta un gran vacío amurallado por lienzos limpios en el que destacan los dos cubos que flanquean la puerta de acceso y la torre del homenaje que preside el patio de armas.

El castillo de Davalillo es un ejemplo relevante de arquitectura militar medieval, que se encuentra degradado por la erosión y el abandono, donde ya solo queda el esqueleto de la fortaleza original.

Para su rehabilitación y adecuación a un nuevo uso, se requiere una completa digitalización del bien en su estado actual, donde debe incorporarse los datos del estudio arqueológico que ayude a comprender el proceso constructivo y los del estudio patológico que permitirán visibilizar las zonas donde debe intervenir.

La digitalización será la base sobre la que se redactarán los posteriores proyectos de acondicionamiento, constituyendo una magnífica oportunidad para aplicar las ventajas de BIM a edificios históricos (HBIM).

Palabras clave: castillo, fortaleza, histórico, medieval, HBIM

Introducción

Pocos proyectos que utilizan metodología BIM requieren tanto ingenio para su desarrollo como aquellos que implican intervenir en entornos históricos con requisitos de documentación y representación gráfica más allá de lo habitual, donde no son tantas las referencias disponibles que consultar.

Es el caso del castillo de Davalillo, en la Rioja, un edificio del siglo XII en ruinas sobre el que se interviene para realizar obras de consolidación y rehabilitación. Se trata de un encargo para digitalizar su estado actual (HBIM) (López, 2018), donde, además de documentarse su geometría, debe incluirse el detalle de todas las unidades estratigráficas del estudio arqueológico y volcar el contenido del estudio patológico, en aras de utilizar dicha digitalización para la redacción del posterior proyecto de rehabilitación.

El reto, por tanto, consiste en desarrollar flujos de trabajo y técnicas de modelado que permitan reflejar estos elementos en un modelo BIM además de la información que llevan aparejada, sin olvidar la alta complejidad geométrica que conlleva modelar torres, bóvedas, arcos, oquedades y, en general, elementos construidos hace casi mil años.

La presente comunicación describirá la estrategia planteada, los trabajos de digitalización y toma de datos, los retos enfrentados y las técnicas de modelado utilizadas, y, la documentación de los modelos y preparación de entregables.

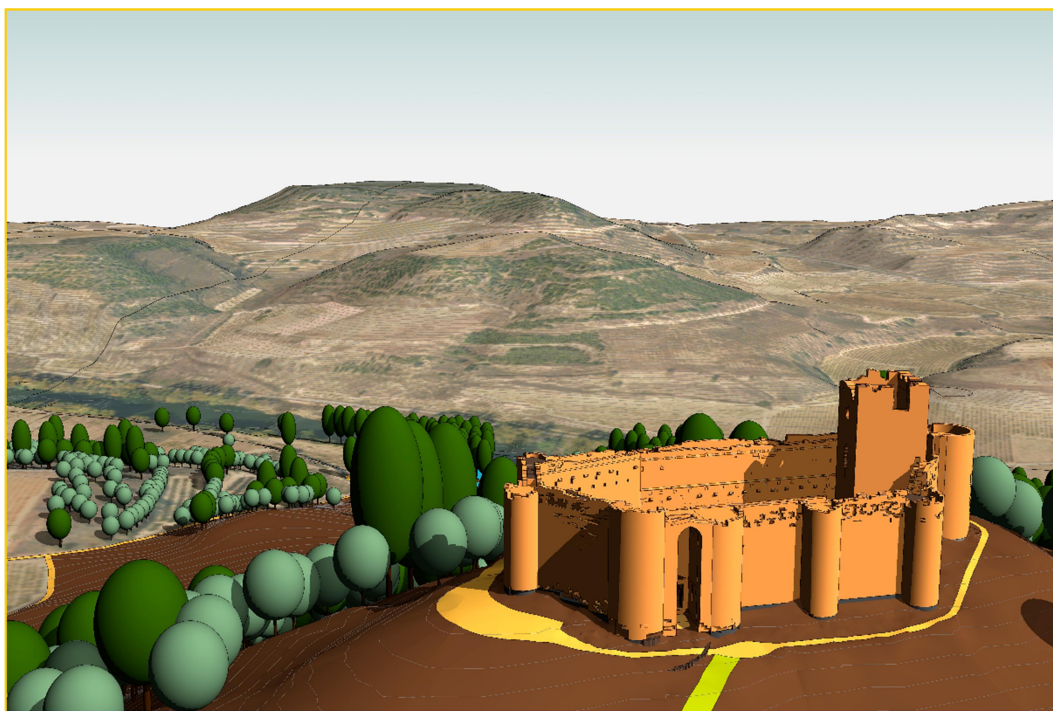


Ilustración 1. Modelo de estado actual. Elaboración propia. Año 2021.

1. Estrategia

La extensión del proyecto era reducida, por lo que se decide constituir un equipo de tres personas, aunque, la excepcionalidad del trabajo y la constante innovación en las técnicas de modelado requeridas implicaba que éstas deberían contar con un altísimo grado de especialización y conocimiento de las herramientas BIM. La estructura del equipo se organiza con un coordinador-supervisor y dos modeladores, aunque, por la alta especialización de cada uno, los puestos son fácilmente intercambiables entre sí.

Se elige, como herramienta de modelado principal, Revit™ en su versión 2020, aunque se emplea también Recap™ y Recap Photo™ 2020 para la gestión de nubes de puntos y fotogrametría, Navisworks™ para coordinación, y Autocad™ 2020 para gestión de documentos CAD provenientes del estudio patológico.

También se emplea el visor de Autodesk™ para algunos entregables. Estas decisiones vienen impuestas en parte por el director del proyecto, pero también por ser la herramienta de modelado que mejor dominan los miembros del equipo.

Al trabajar en equipo y de manera remota, se hace imprescindible la constitución de un entorno común de datos (Bouzas Cavada, 2017) contra el que todo miembro trabaja. Al utilizar grandes nubes de puntos y fotogrametría se descartan soluciones en la nube y se opta por una red privada virtual. En este punto quedan claramente descartadas las soluciones de discos virtuales compartidos en red por la poca seguridad que ofrecen en términos de acceso y de pérdida de datos por sincronización simultánea.

Otro punto clave para la coordinación y la consecución del éxito del proyecto son las comunicaciones; se establecen dos canales únicos para la comunicación entre los miembros del equipo: Trello™ como canal de planificación y sistema Kanban visual (Lendínez, 2019), y Slack™ como canal de comunicación escrita, excluyendo completamente correos electrónicos o llamadas telefónicas. Las reuniones se realizan online con periodicidad mínima semanal, aunque, para la resolución de incidencias, se alterna con agilidad entre tarjetas de Trello™, mensajes de Slack™ y reuniones con Meet™.

Todo lo anterior se recoge, milimétricamente, en un Plan de Ejecución BIM del Proyecto (Ortega & María, 2016) que evoluciona a medida que avanzan los trabajos, y que es crítico para mantener y coordinar una nomenclatura común para cada elemento o aspecto de un elemento que ha de intervenir en un modelo BIM.

Respecto de la organización de modelos, se trabajará con tres modelos federados (Beach, Petri, Rezgui, & Rana, 2017) (Bernal & Vivó, 2012) diferenciados y varios modelos vinculados:

Tabla 1. Organización de modelos. Fuente: Elaboración propia. Año 2021.

Modelos federados							
Modelo de estado actual	1	Modelo arqueológico	1	Modelo patológico	1		
Modelos vinculados							
Modelos de emplazamiento		Modelos de geométricos de estado actual		Modelos arqueológicos		Modelos patológicos	
Sectores A1-A3 ¹	3	Sobre rasante	1	Modelo arqueológico	1	Modelo patológico	1
Sectores B1-B3 ¹	3						
Sectores C1-C3 ¹	3	Bajo rasante	1				
Sector B2 específico ²	1						

¹ Modelo de emplazamiento general.

² Modelo de emplazamiento específico.

2. Digitalización y toma de datos

El exiguo presupuesto con el que se contaba no permitió realizar una toma de datos lo suficientemente precisa como para evitar las incertidumbres que posteriormente aparecieron a la hora de modelar determinadas zonas del activo.

En concreto se pudo contar con una nube de puntos tomada con tecnología láser-escáner, sin HDR, encargada por la propiedad y realizada con anterioridad a nuestra intervención en el proyecto, donde las fotografías esféricas estaban veladas en las zonas con contraste interior-exterior. Adicionalmente, el técnico que realizó la captura diezmó enormemente la nube resultante, imposibilitando la correcta identificación de sillares, aunque se pudo mejorar ostensiblemente la calidad de la nube de Recap™ con la que finalmente se trabajó al recuperarse los archivos de E57 originales.

Los puntos de escaneado no incluyeron ninguna toma desde el paseo de ronda o desde la Torre del Homenaje, puntos elevados de difícil acceso por el estado del activo, por lo que no existía información de las coronaciones. Descartada, por coste, la posibilidad de realizar un vuelo de dron para compensar mediante fotogrametría (Bernal & Vivó, 2012) la carencia de información, se aprovechó un vídeo grabado en HD que se localizó en YouTube™ (<https://www.youtube.com/watch?v=J0mkGliDVM>), con el que pudo generarse un modelo fotogramétrico que ayudó a comprender el estado de esas zonas poco accesibles, si bien, dado que el propósito de aquel vídeo no era el que finalmente se le dio, no se alcanzó precisión geométrica ni calidad de textura suficiente como para suplir las carencias del escaneado.

Es interesante destacar dos aspectos técnicos de la metodología de trabajo con las nubes de puntos y la fotogrametría dentro del software de modelado:

- Por un lado, el consumo directo de la nube de puntos desde cada uno de los modelos que la necesitaba provocaba que ésta se cargase irremisiblemente al abrirlas si el usuario anterior había olvidado apagarla, consumiendo demasiado tiempo en una tarea estéril. Por otro lado, cuando la nube se consume directamente en un modelo que actúa como vinculado de otro federado, se pierde el control de su visualización este último. Ambos problemas se resuelven con facilidad si se carga la nube en un modelo de Revit específico que no contiene nada más, referenciándose éste por superposición desde cualquier otro modelo que lo requiera, incluso uno federado.
- La segunda cuestión está relacionada con el consumo del modelo fotogramétrico generado con Recap™ Photo; se trata de un modelo de mallado texturizado que no se admite directamente en el software de modelado Revit™. El flujo de trabajo seguido fue el de colocar dicho modelo en otro de coordinación de Navisworks™ y, a su vez, referenciar éste desde el modelo que lo necesitase, ya en Revit™.

Como nota adicional, tras probar diferentes flujos de trabajo para trasladar información desde el informe arqueológico hasta el modelo BIM, quedó patente que era altamente productivo el volcado de dicha información en dos pasos: en un primer paso se volcaba cada unidad estratigráfica con su código a la nube de puntos de Recap™ en forma de etiqueta, de modo que se ubicaba tridimensionalmente en el espacio el contenido de una tabla de Excel, y, posteriormente, se volcaban todas las unidades, ya identificadas, al modelo BIM.

3. Modelado

Modelar un proyecto es relativamente fácil, bastando utilizar las herramientas específicas según el elemento que se modela: suelo, techo, puerta, etc. Modelar un edificio contemporáneo existente no es diferente tampoco. Ahora bien, modelar un edificio con casi 1000 años de antigüedad presenta unos retos completamente diferentes y debe abordarse de manera distinta, puesto que, con las herramientas de

modelado convencionales, no puede reproducirse con precisión la geometría de sus elementos. Tampoco es una cuestión puramente geométrica, pues determinados elementos deben individualizarse y deben mantener una identidad propia, además de que a muchos de ellos se les debe incluir información que tampoco es asimilable a la información estándar que se suele rellenar en forma de parámetros BIM. En definitiva, Revit™ no dispone de las herramientas torreón, cubo defensivo, adarve, o salmer que son necesarias para modelar y documentar el estado del activo.

Entonces... ¿es mejor utilizar una herramienta de modelado BIM específica, como, por ejemplo PetroBIM?. Bueno, en nuestro caso el modelado y documentación del estado actual de activo, y el objeto de esta comunicación, es solamente la primera de las fases en las que vamos a intervenir, pues, posteriormente, el edificio va a ser adecuado para un nuevo uso, y ahí sí que las herramientas convencionales están totalmente justificadas. Se podría inferir, por tanto, que la digitalización del edificio histórico debe hacerse con las mismas herramientas que un edificio de nueva construcción porque dicho trabajo de digitalización representa, solamente, una fracción de un trabajo más amplio.

Como consecuencia de lo anterior, puede centrarse el interés de esta comunicación en la documentación de los flujos de trabajo seguidos para digitalizar un edificio histórico usando herramientas de modelado convencionales, cuando éste va a mantener una utilidad más allá de su mera conservación, y, por consiguiente, donde su ciclo de vida se extiende y vuelve a tener sentido hablar de fases de proyecto, construcción, puesta en servicio y operación y mantenimiento.

Veamos, más en detalle, cuáles son estos flujos de trabajo específicos que permiten llegar donde las técnicas de modelado convencionales de Revit™ no llegan.

3.1. Masas, componentes adaptativos y componentes in situ

Nuestra primera opción fue modelar usando la herramienta de masa, que permite un control muy preciso de los volúmenes. Además, las masas permiten modelar por secciones adaptativas (Rivera & Padilla, 2017) cuando se trabaja en una familia separada, por lo que nuestras primeras aproximaciones estuvieron encaminadas a modelar secciones planas horizontales de los lienzos de las murallas y los torreones cada cincuenta centímetros de altura. En paralelo al modelado con masas, el otro modelador del equipo realizaba el mismo trabajo con componentes adaptativos, pero trazando secciones verticales de los lienzos cada metro.

Cuando, tras completar aproximadamente un 30% del modelado de elementos, comprobamos que las desviaciones y desplomes entre secciones no llegaban a los 2 cm entre ellas, según un análisis previo con herramientas específicas (Lopez & Montes, 2014), respecto de la nube de puntos de referencia, descartamos el flujo inicial porque:

1. El modelado en familias separadas del modelo, tanto de masa como de modelo genérico, requiere un flujo continuo de ida y vuelta, lo que ralentiza considerablemente el modelado.
2. Desarrollar familias adaptativas no siempre resolvía las infinitas situaciones con las que nos encontrábamos (Romero & Marcelo, 2018).
3. En el caso de las masas, éstas no pueden servir de base para la generación de piezas, por lo que su utilidad se limitaba a servir sus caras de anfitrión para la creación de otros objetos basados en ellas. En el caso de los componentes adaptativos, si éstos se asocian a la categoría de modelos genéricos, pueden realizarse en el modelo operaciones booleanas de adición y sustracción y convertirse en piezas directamente.

Se tomó, por tanto, una decisión simple y efectiva: se modelaría directamente como componentes in situ, en la categoría de modelos genéricos, de modo que se pudieran realizar operaciones booleanas de adición/sustracción, así como derivar las piezas directamente de la geometría. Con esta decisión estábamos constreñidos a las primitivas sólidas y vacías tradicionales de Revit™, pero dicha limitación se revelaba

suficiente y, en los casos más conflictivos, donde la geometría no fuese satisfactoria, se podría subdividir ésta en piezas tantas veces como se requiriera, habilitando la edición de la geometría resultante hasta alcanzar el nivel de precisión que se había fijado en 2 cm.

Con el flujo principal de trabajo ya definido, el camino estaba allanado para terminar la primera tarea, el modelado geométrico del estado actual sin descender, todavía, a la identificación de unidades estratigráficas o a las patologías detectadas.

3.2. Piezas

Cuando tuvimos acceso al estudio arqueológico, que comenzó su desarrollo al mismo tiempo que el propio modelado del estado actual, se nos facilitó una extensísima colección de unidades estratigráficas, numeradas y con una tabla de características que debíamos incluir en el modelo. El requisito del cliente era volcar el contenido de dicho estudio en el propio modelo BIM, de modo que pudiese consultarse de una manera gráfica y directa junto con el resto de los datos patológicos. Las diferentes unidades estratigráficas que incluía el estudio arqueológico en ocasiones coincidían con sillares concretos de los lienzos de las murallas, pero otras veces integraban varios de ellos en una misma unidad, y otras abarcaban una zona que no tenía un reflejo exacto en forma de sillares o elementos físicamente identificables, como, por ejemplo, oquedades en los lienzos interiores donde se empotraban las vigas de madera hoy desaparecidas.

El estudio patológico llegaría después, pero evidenciaría la misma problemática: en los lienzos de la muralla, de los torreones y de la torre del Homenaje, se identificaban zonas con presencia de patologías que no tenían una correspondencia directa con elementos físicos reconocibles; más aún, el estudio patológico incluía zonas de definición patológica que se solapaban entre sí, un problema difícil de resolver y documentar apropiadamente por cuanto el mismo espacio debía ser ocupado por varios elementos BIM.

Con esta situación quedaba patente que necesitábamos un flujo de trabajo flexible que nos otorgara la capacidad de dividir ilimitadamente, pero donde el resultado de cada división pudiese ser excluido o usarse como contenedor de información, es decir, que una subdivisión del modelo, incluso cuando ésta representaba un vacío, debía ser susceptible de tener un identificador y de almacenar información diferenciada, y, por supuesto, todo esto debería poder usarse para iluminar elementos del modelo de cara a una rápida localización o para representar vistas coloreadas por la propiedad que interesara... y el flujo adoptado fue la utilización de piezas.

En efecto, las piezas en Revit son una gran desconocida para muchos usuarios, los cuales a veces incluso optan por modelar muros paralelos para poder representar diferentes capas en diferentes fases de ejecución, o para distinguir altura de revestimientos respecto de altura de fábricas³, cuando las piezas en Revit™ resolverían directamente esta problemática sin introducir un factor de complejidad adicional en el modelado. En términos generales podría decirse que determinados elementos de un modelo de Revit™ pueden ser convertidos a piezas, y que, cuando dichos elementos están compuestos por capas, se constituye una pieza por cada capa. Una vez creadas las piezas, cada una de ellas, de manera individual, puede subdividirse hasta el infinito y cambiarse sus propiedades relativas a fase, subproyecto y otras, aparte de poderse alterar su propia geometría, esto es, una pieza no tiene por qué estar limitada geoméricamente por su anfitrión original o por las piezas colindantes en una subdivisión, es más, una pieza cualquiera puede existir como oquedad en lugar de como masa... parecería que Autodesk© desarrolló las piezas en Revit™ para resolver esta precisa necesidad.

Por higiene se desdobló el modelo geométrico de estado inicial en dos modelos diferentes: uno para documentar la arqueología y otro para documentar la patología, puesto que ambos ámbitos son independientes entre sí y no tienen relación, amén de que la información que cada uno necesita no tiene nada que ver con la del otro.

³ A efectos de medición, esto está hoy día perfectamente resuelto por otros medios

Los retos que encaramos fueron los mismos, aunque la manera específica en que se resolvieron fuera diferente:

3.2.1. Piezas diferentes en caras opuestas de la misma geometría

El gran espesor de las murallas (y su propio sistema constructivo), determina que en las caras opuestas de un mismo lienzo ocurran cosas diferentes, hasta el punto de que en un lado se detalle una unidad estratigráfica o se detecte una patología y al otro lado no. Por consiguiente, es necesario poder obtener piezas diferentes en las caras opuestas, algo que, a priori, no puede hacerse directamente pues la pieza atraviesa todo el espesor del elemento original. Un caso agravado de este ejemplo es aquel donde una pieza continúa en el plano de la jamba de un hueco con una forma que no es una extrusión directa de la forma definida en la cara exterior.

Esto se solucionó dividiendo el lienzo de manera longitudinal en primer lugar (1), para, a continuación, poder subdividir cada sublienzo paralelo como mejor conviniese (2). Para asemejar el despiece a la realidad constructiva se dividieron los lienzos con dos cortes longitudinales obteniendo tres piezas paralelas tangentes: las correspondientes a la hoja exterior e interior, y la correspondiente al relleno de la muralla. Esta técnica permite fácilmente obtener piezas diferentes a una cara y otra de los elementos de gran espesor (3).

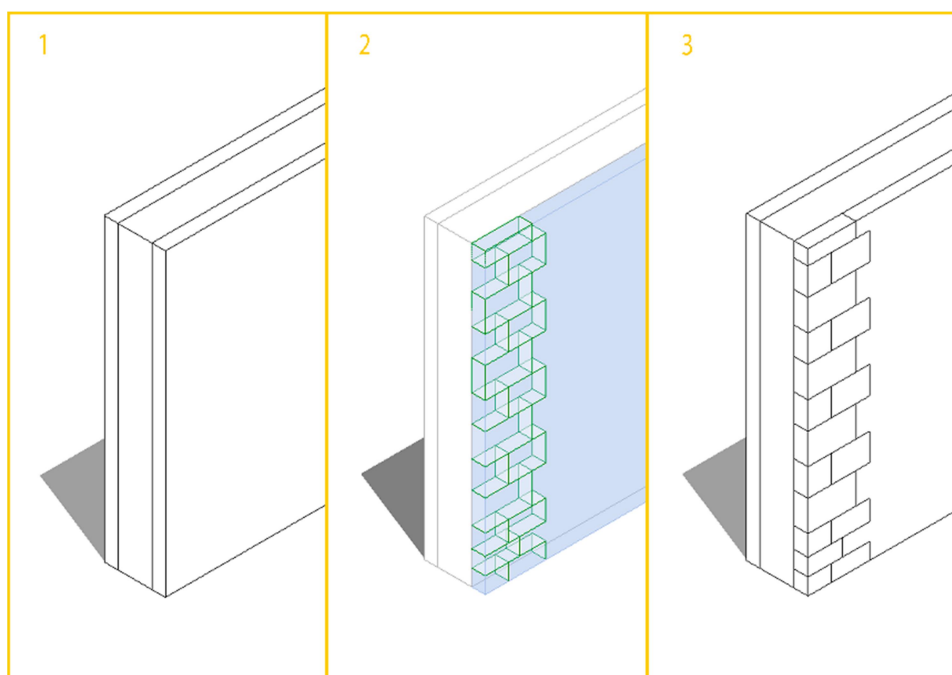


Ilustración 2. Piezas diferentes en caras opuestas de la misma geometría. Elaboración propia. Año 2021.

3.2.2. Piezas como oquedades

Este reto era fácil de superar, bastando excluir la pieza para ocultarla geoméricamente, aunque, al existir como elemento del modelo, sigue siendo susceptible de contener información (2). Por ejemplo, puede modelarse un nicho en un muro y asignársele información arqueológica, aunque no sea visible la pieza más que como vacío.

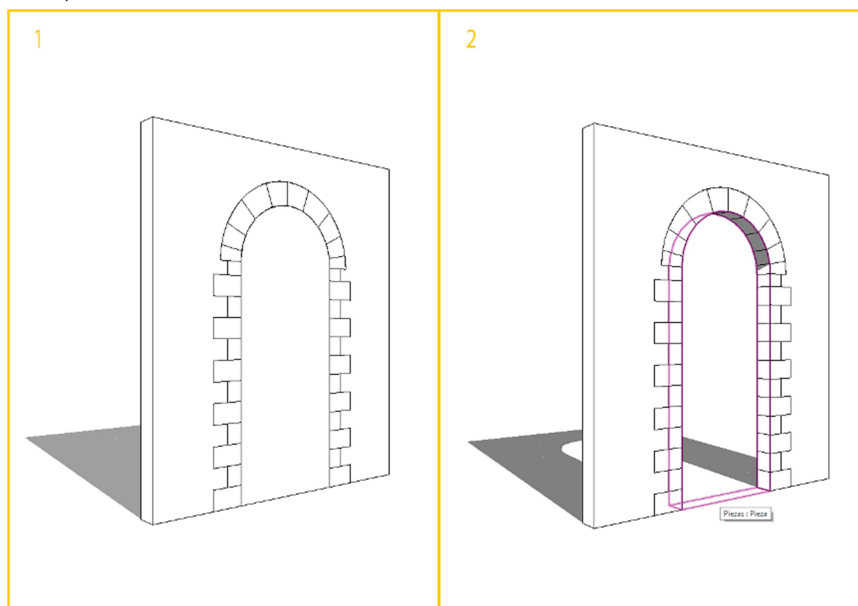


Ilustración 3. Piezas como oquedades. Elaboración propia. Año 2021.

3.2.3. Piezas en lienzos curvos

Generar una pieza con forma geométrica compleja en un lienzo curvo supuso uno de los principales retos que superar. En efecto, cuando se trabaja contra un lienzo rectilíneo, la subdivisión en piezas permite, directamente, dibujar un contorno preciso en su alzado, pero la cosa no es tan evidente cuando se opera en lienzos curvos. En estos casos encontramos dos aproximaciones que requerían inversiones de esfuerzo dispares:

- Si la pieza a subdividir no se extendía un ángulo excesivamente amplio desde su punto medio hacia cada lado, podía trazarse un plano tangente en dicho punto medio y dividir la pieza directamente dibujando su alzado sobre dicho plano⁴. Esto permite una rápida subdivisión con poco esfuerzo, pero, a cambio, la directriz de la pieza es perpendicular a dicho plano de tangencia, ergo los contornos no son radiales sino paralelos. Se trata de una buena aproximación para determinados casos, aunque, no obstante, antes de procederse con la subdivisión, debe tenerse en cuenta que se debe operar contra una pieza que es la capa envolvente (de un torreón, por ejemplo), puesto que, de lo contrario, la operación atravesaría la geometría en su totalidad llegando hasta el lado opuesto del mismo.
- En caso contrario, cuando la pieza a dividir abarca un ángulo importante, la operación es algo más compleja, pero también produce resultados más precisos. Se procede, en primer lugar, a dividir el lienzo en capas paralelas de fuera a dentro (1), dejando tres capas (por ejemplo, de un torreón): capa exterior, núcleo y capa interior. Se subdivide la capa exterior (o la interior, según la posición de la unidad estratigráficas) en alzado (2) y se corrige la extensión en planta para hacer coincidir la pieza resultante con la zona que interesa (3), es decir, se procede por tongadas (4). Finalmente se unen todas las tongadas que representarán la pieza final, por un lado (6), y todas las piezas descartadas, por otro (5), de modo que se obtengan dos únicas piezas diferenciadas.

En conclusión, dependiendo de la morfología y extensión de la pieza a generar, podía ser conveniente dibujar su extensión directamente en un plano tangente al lienzo curvo en su punto medio, o proceder por tongadas horizontales y agrupar al finalizar.

⁴ Curiosamente este problema es el mismo que el de la división en husos de los sistemas de proyección UTM.

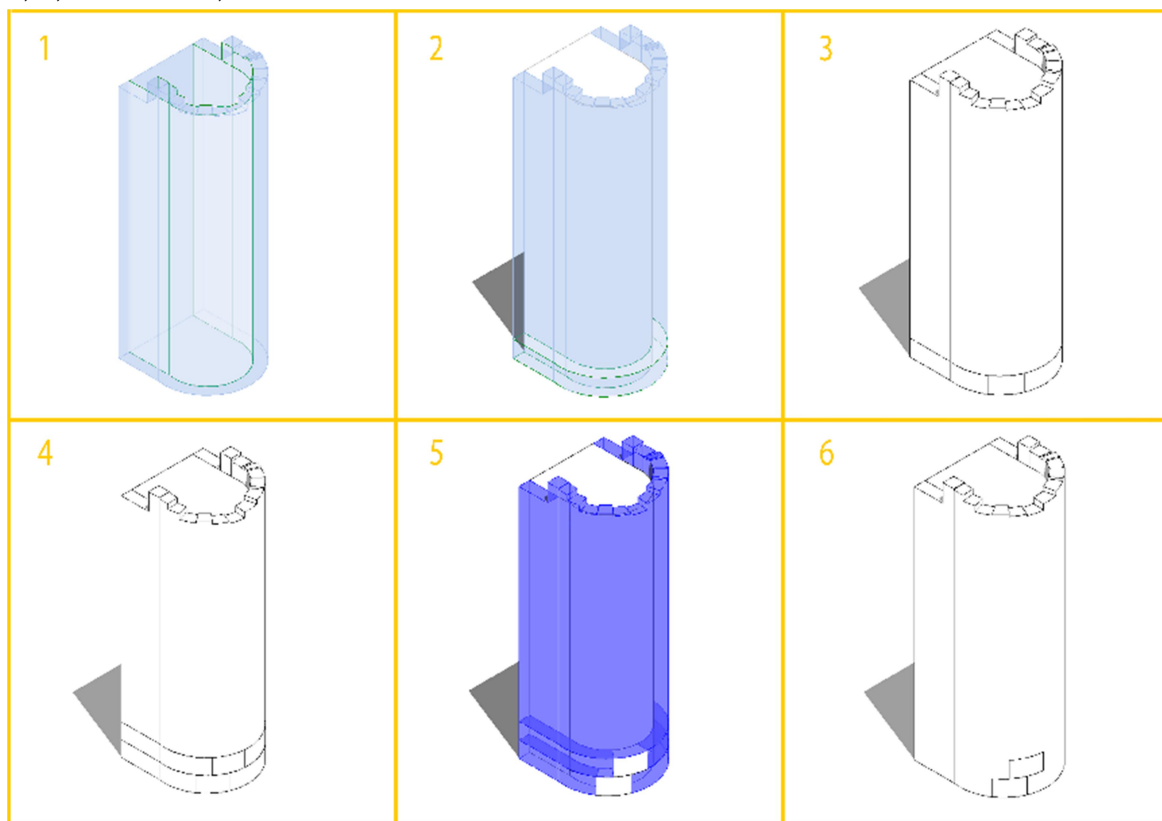


Ilustración 4. Piezas en muros curvos. Elaboración propia. Año 2021.

3.2.4. Piezas solapadas

Trabajar con piezas solapadas, una problemática que se presentó al trasladar el contenido patológico al modelo BIM, requirió el desarrollo de flujos de trabajo de cierta complejidad que dependían, esencialmente de si se intervenía sobre un lienzo rectilíneo o sobre un lienzo curvo.

- En el caso de los lienzos rectilíneos, el problema estribaba en que, aunque puede modificarse la geometría de cada pieza generada, incluso para su solape con otras, la pieza que no se modifica hereda la subdivisión de la otra. Otro problema adicional es que, en la representación de estas piezas sobre el lienzo original, no se rellenaba correctamente el color debido al solapamiento de elementos. Ambos problemas se decidió resolverlos con una solución original: La pieza que representa una hoja de lienzo se divide como inicialmente convenga (1), alterándose su geometría para regruesarla hacia afuera (2), para, a continuación, dividirla longitudinalmente de nuevo (3); de la parte posterior se restituye la geometría para tapar el hueco que inicialmente había dejado (4) y se une dicha subpieza con la original, dejando el muro intacto (5). El efecto que se consigue es el del modelado de una pieza paralela al lienzo, aunque deriva directamente de éste y está asociada al mismo elemento base (6); además, el solape permite que la representación de las patologías sea nítida, sin errores gráficos por superposición de caras.
- En el caso de los lienzos curvos la cosa es más compleja, pues Revit™ no tiene la capacidad de editar la geometría de caras concéntricas. En estos casos puntuales se optó por generar geometría nueva que se convierte a piezas, se opera sobre dicha geometría de nueva creación y, finalmente, se excluyen las piezas que no interesan.

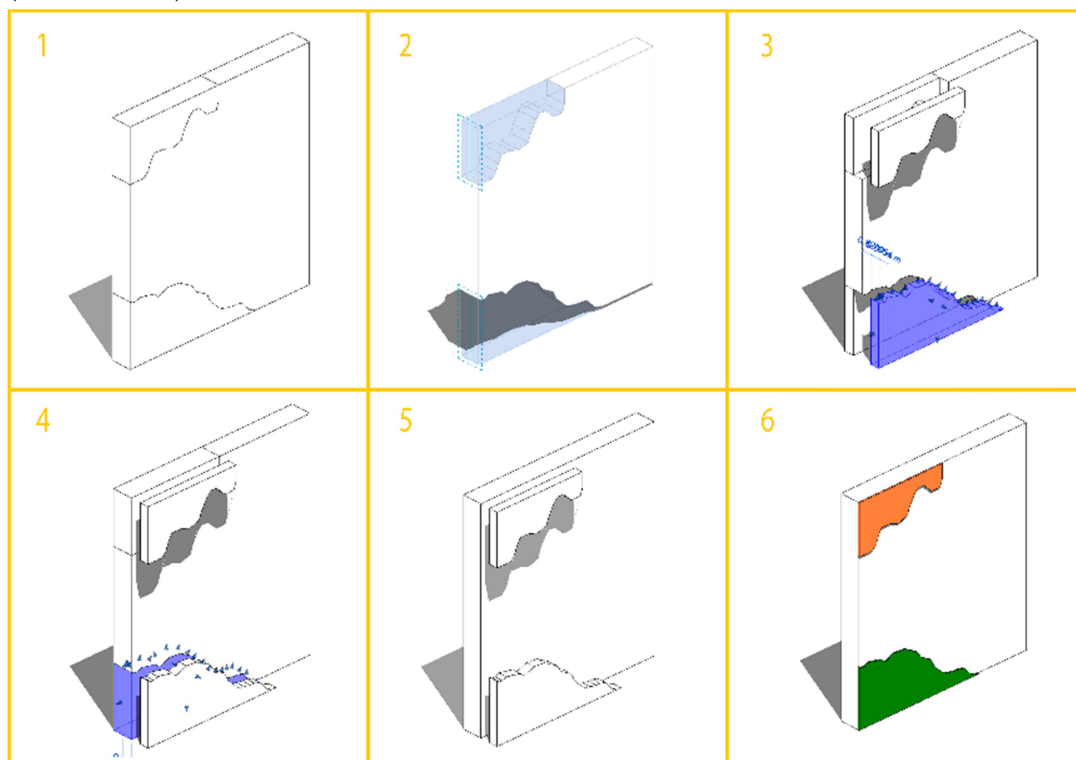


Ilustración 5. Piezas solapadas. Elaboración propia. Año 2021.

4. Documentación

Como consecuencia de las sucesivas modificaciones del estudio arqueológico, por duplicidad de códigos o errores de identificación, fue necesario desarrollar flujos de trabajo y scripts que inyectaran la documentación de manera automatizada en los elementos (piezas) de los modelos.

4.1. Inyección de datos

En general, el problema de inyección continua de datos se centró en el modelo arqueológico, donde los frecuentes cambios en el informe provocaban actualizaciones constantes de los datos incrustados. Con casi 500 unidades estratigráficas registradas, un flujo manual con continuas actualizaciones era inviable, por lo que se desarrolló un script en VB para Excel, de modo que, con la ayuda de un plugin de Revit™, pudiese volcarse la información rápidamente en el modelo mediante comparación de identificadores.

Asimismo, era un requisito de los entregables que las tablas de planificación que describían las unidades estratigráficas contuviesen la misma imagen en miniatura que el informe arqueológico, en aras de facilitar la identificación visual de cada unidad tanto en plano como en tabla. Tras extraer y renombrar masivamente las imágenes del informe, se desarrolló un script de Dynamo™ que inyectaba cada imagen en el parámetro correspondiente de cada unidad.

BIM en edificios de casi 1000 años: aplicación práctica de la metodología BIM en la documentación arqueológica y patológica del BIC del siglo XII 'castillo de Davalillo' en la Rioja. Abellán-Alemán, JM; Duque-Chasco, JA; Buendía-Peláez, JI; García-Navas, M

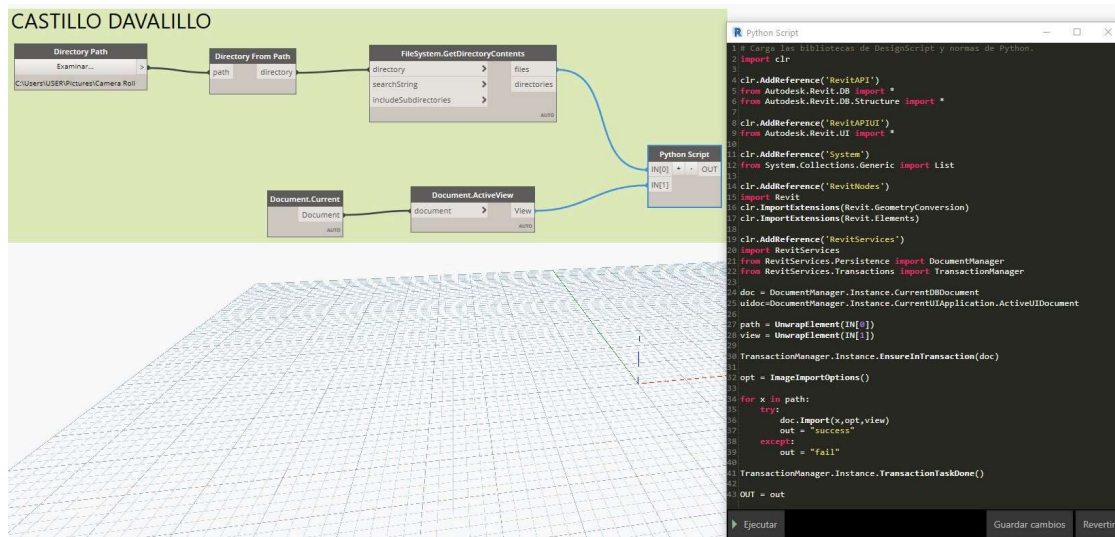


Figura 1. Script de Dynamo/Python para inyectar imágenes en unidades estratigráficas. Elaboración propia. Año 2021.

4.2. Navegación

Con los modelos finalizados y un peso de archivo de hasta 540 MB, la apertura de un modelo federado que incluyera nube de puntos, modelo fotogramétrico, modelos de emplazamiento y otros vínculos hace poco accesible, para cualquiera ajeno al equipo de desarrollo, la consulta del trabajo. Además, la revisión de dichos modelos se haría, mayormente, por funcionarios de la Dirección General de Cultura de la Rioja, con lo que la ligereza, fluidez y facilidad de manejo de un visor eran piezas clave en la elección del formato entregable.

Descartado el formato IFC (Building Smart, 2021), que es un formato de intercambio pensado para compartir información con otros técnicos, se optó, finalmente, por utilizar el visor de Autodesk®, que puede consumirse desde cualquier dispositivo cliente con conexión de banda ancha a internet, desde portátiles a teléfonos móviles. Ello brindó un prisma colaborativo que conseguía una presentación fluida y de fácil manejo para cualquier persona con pocos o ningún conocimiento de la metodología BIM.

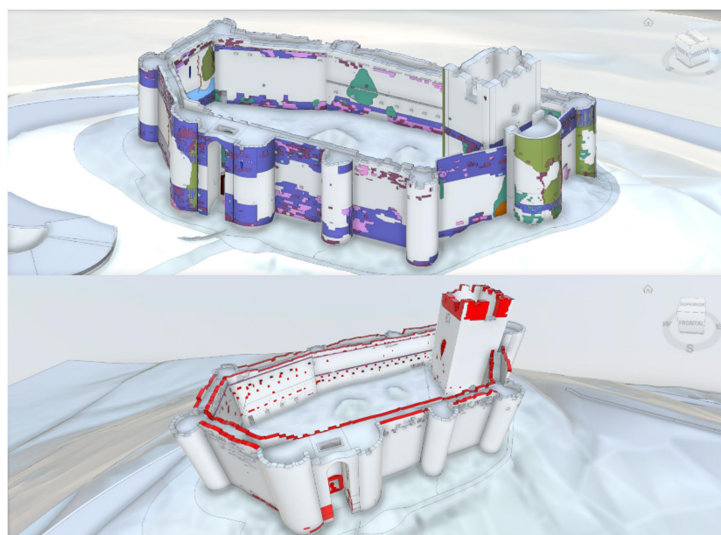


Ilustración 6. Modelos federados patológico (arriba) y arqueológico (abajo). Elaboración propia. Año 2021.

Puede consultarse el resultado en: <https://autode.sk/2P4BMIB>, <https://autode.sk/2RJzbEJ> y <https://autode.sk/3xavyYL>.

5. Conclusiones

Es posible consultar innumerables trabajos sobre casos de éxito en el modelado de proyectos e, incluso, en la digitalización de edificios existentes. Es posible, incluso, consultar varios estudios sobre la aplicación de la metodología BIM a la digitalización de edificios históricos o HBIM (*Heritage Building Information Modelling*), aunque, la mayoría de ellos, se quedan en el modelado de los elementos a partir de las nubes de puntos capturadas.

El objetivo de esta comunicación es dar un paso más allá y no solo presentar un nuevo ejemplo de aplicación de BIM a edificios históricos, sino llegar a individualizar partes de dichos elementos para integrarles información, cuando, además, dichas partes no tienen una correspondencia directa con elementos arquitectónicos, como salmeres, claves, pilares, portadas o bóvedas, sino con elementos provenientes del mundo de la arqueología (unidades estratigráficas) o de la patología (afecciones patológicas). El objetivo es, como ha quedado demostrado, que BIM puede ser la base para la representación y documentación precisa de cualquier elemento, parte de un elemento o agrupación de elementos, involucrando ámbitos habitualmente disociados del modelado, como la arqueología o la patología.

Referencias

- Beach, T. H., Petri, I., Rezgui, Y., & Rana, O. F. (2017). Management of Collaborative BIM Data by Federating Distributed BIM Models. *Journal of Computing in Civil Engineering*.
- Bernal, P. M., & Vivó, J. J. (2012). *FOTOGRAMETRÍA CON CÁMARAS DIGITALES CONVENCIONALES Y SOFTWARE LIBRE*. Retrieved 4 20, 2021, from <https://polipapers.upv.es/index.php/ega/article/view/1407>
- Bouzas Cavada, M. (01 de 04 de 2017). *Building Smart Spanish Chapter*. Obtenido de ¿Qué es un CDE?: <https://www.buildingsmart.es/2017/04/01/qu%C3%A9-es-un-cde/>
- Building Smart. (2021, 04 20). *Building Smart*. Retrieved from <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>
- Lendínez, L. C. (2019). Kanban. Metodología para aumentar la eficiencia de los procesos. *3C Tecnología*, 29(1), 30-41. Retrieved 4 20, 2021, from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6866058>
- López, F. J. (2018). *Reconstrucción tridimensional del patrimonio arquitectónico mediante la utilización de los sistemas BIM y HBIM. Validación con dos casos de estudio: la Iglesia Santa María la Real de Mave y el Castillo de los Comuneros de Torrelobatón*. Retrieved 4 20, 2021, from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=230717>
- Lopez, M. A., & Montes, F. D. (2014). USO DE ESCANER LASER PARA DETERMINAR LAS DEFORMACIONES EN LA GEOMETRÍA DE UNA ARMADURA MUDÉJAR. APLICACIÓN EN LA IGLESIA DEL CONVENTO DE MADRE DE DIOS DE SEVILLA. *Dyna*, 89(3), 276-280. Retrieved 4 20, 2021, from <https://recyt.fecyt.es/index.php/dy/article/view/43115>
- Ortega, R., & María, J. (2016). *Plan de Ejecución BIM de un proyecto de retail siguiendo las áreas de conocimiento del PMBOK*. Retrieved 4 20, 2021, from <https://riunet.upv.es/handle/10251/72024>
- Rivera, S. A., & Padilla, C. J. (2017). *Introducción al diseño paramétrico: utilización de herramientas digitales para la resolución de superficies complejas mediante la aplicación de algoritmos*. Retrieved 4 20, 2021, from [http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26945/1/trabajo de titulaci3n.pdf](http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26945/1/trabajo%20de%20titulaci%C3%B3n.pdf)
- Romero, B., & Marcelo, J. (2018). *Objetos inteligentes desarrollados en software BIM, caso específico: mampostería basada en especificaciones técnicas del material para la ciudad de Loja*. Retrieved 4 20, 2021, from [http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/22086/1/bravo romero jimmy marcelo.pdf](http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/20.500.11962/22086/1/bravo%20romero%20jimmy%20marcelo.pdf)



BIM MODEL CONTENT CHECKING: SHORT AND LONG TERM STRATEGIES FOR LARGE BUILDING PORTFOLIO OWNERS

Di Giuda, Giuseppe Martino^a; Tagliabue, Lavinia Chiara^b; Locatelli, Mirko^c; Pattini, Giulia^c; Paleari Francesco^c; Campi, Stefano^c y Tucci, Alessandro^c;

^aDepartment of Management, Università degli Studi di Torino, Turin, Italy, giuseppemartino.digiuda@unito.it;

^bDepartment of Computer Science, Università degli Studi di Torino, Turin, Italy, laviniachiara.tagliabue@unito.it;

^cDepartment of Architecture built environment and construction engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy, mirko.locatelli@polimi.it, giulia.pattini@polimi.it, francesco.paleari@polimi.it, stefano.campi@polimi.it, alessandro.tucci@polimi.it.

Abstract

Companies define modelling methodology via Building Information Modelling (BIM) protocols. BIM modelling protocols are detailed and documented methods of model production, exchange, and delivery (i.e., a set of modelling step, methodologies and, workflows). Validate and check the compliance between BIM models and modelling protocols is crucial to ensure deliverables are according to expected outcomes. Validation refers to the process of checking models for incompatibility with the defined modelling specifications. Model checking can be a manual or an automated task. The study describes, in the context of a real case study, a model content checking procedure and proposes a comparative analysis between a manual and an automated validation, quantifying the differences in terms of effectiveness and efficiency. Data about time and extent of the two different checking processes are provided. The study aims to identify and measure advantages and limitations of the two procedures in a short- and long-term scenario.

Keywords: BIM protocols, Regular expression (Regex), Model checking

Resumen

Las empresas definen la metodología de modelización a través de los protocolos BIM (Building Information Modelling). Los protocolos de modelado BIM son métodos detallados y documentados de producción, intercambio y entrega de modelos (es decir, un conjunto de pasos, metodologías y flujos de trabajo de modelado). Validar y comprobar la conformidad entre los modelos BIM y los protocolos de modelado es crucial para garantizar que los resultados se ajustan a lo previsto. La validación se refiere al proceso de comprobación de la incompatibilidad de los modelos con las especificaciones de modelado definidas. La comprobación de los modelos puede ser una tarea manual o automatizada. El estudio describe, en el contexto de un caso real, un procedimiento de comprobación del contenido del modelo y propone un análisis comparativo entre una validación manual y otra automatizada, cuantificando las diferencias en términos de eficacia y eficiencia. Se aportan datos sobre el tiempo y el alcance de los dos procesos de comprobación diferentes. El estudio pretende identificar y medir las ventajas y limitaciones de los dos procedimientos en un escenario a corto y largo plazo.

Palabras clave: Protocolos BIM, Expresión Regular (Regex), Comprobación de modelos

Introduction

Building Information Modelling (BIM) has been widely applied to support the design, engineering, and construction processes (Kensek 2015). Private and public companies, to expand the BIM-data related value to the Operation and Maintenance (O&M) phase, provides modelling protocols to the subject in charge of the modelling task. A critical section of BIM protocols is the definition of modelling methodologies (Cheng 2015), which aim to streamline the data integration of BIM-enabled O&M phase into company's procedures (Edirisinghe 2016). Modeling protocols are detailed and documented methodologies (e.g. steps and modelling methodology workflows) to produce, exchange, and allow access to the consumption of BIM data (Kassem 2014). Moreover, BIM approach cannot be properly exploited into company procedures without checking the consistency and quality of the BIM model against the company's internal modelling protocols.

BIM model checking and validation

The BIM data quality control process relies on a checking and validation procedure i.e., the activity of checking the compliance between BIM models and company's modelling protocols. BIM model checking and validation refer to the process of checking models for incompatibility with the defined modelling specifications ensuring the internal quality and consistency of the model. From this point of view, checking and validation is a process of quality assurance of the model and information content (Hjelseth 2015) defined in the Employer Information Requirement (EIR), and mutually agreed among the parties in the BIM Execution Plan (BEP).

In order to clarify and systematize the BIM checking concept Hjelseth proposed a classification of different types of BIM checking. The classification system separates the compliance checking solutions into:

- Validation checking
- Content checking

Verifying compliance with a predefined rule-set in a BIM-based design is the goal of the validation checking which compares BIM model constraints against pre-defined constraints in the rule-set; clash detection (geometry based) and code compliance checking (information based) are two practical example of validation checking (Hjelseth 2015).

Model content checking aims to check and examine the content of a model for a specified use. Typically, model content checking is a manual activity, performed during the design process. However, model content checking if planned and implemented as a systematic and automatic process can increase the quality of models exploiting the full potentiality of the BIM approach (Hjelseth 2016).

1. Context and scope: RAI information and asset management

The manuscript describes the model content checking procedures applied on the context of a real-case study (i.e., RAI Radiotelevisione Italiana S.p.A. – main Italian TV broadcaster). RAI started implementing the BIM approach in its asset management procedures since 2016 (Di Giuda 2016). During the biennium 2016-2017, a clear and shared set of Asset Information Requirements (AIR) was defined starting from company Organizational Information Requirements (OIR) based on internal asset management procedures. For this purpose, proprietary guidelines and modeling protocols have been defined. For further information on RAI BIM implementation process, the authors suggest to consult the book "Il BIM per la gestione dei patrimoni immobiliari: Linee guida, livelli di dettaglio informativo grafico (LOD) e alfanumerico (LOI)" (Di Giuda 2017).

To reach the goal of optimizing the management of the asset portfolio, BIM models of RAI building asset are being produced. The modelling activity is standardized and coordinated by sharing modelling protocols, procedures, and templates to exchange, and allow access to the consumption of BIM data and streamline BIM-enabled O&M phase into company's procedures, allowing to manage tenders and maintenance contracts. RAI portfolio is highly diversified and consists of several existing assets, planned new construction, and several maintenance and retrofit projects. To accelerate the digitization phase of its portfolio assets, RAI has decided to outsource the modeling activity to external parties.

The outsourcing of the modeling service allows savings in terms of time and costs. However, to ensure that the delivered BIM models are consistent with the information requirements, the delivered models must be checked and validated using predefined procedures.

The study provides a brief description of the checking activity and a comparative analysis of the manual and automated model checking and validation tasks, quantifying the differences in efficacy and efficiency. Short- and long-term advantages and limitations of the two checking and validation procedures are also examined in the study.

2. Methodology

2.1. Content checking: denomination and codification system

As stated, all the BIM models are produced by external design firms in charge of the information modeling of the buildings. BIM models are produced and delivered using the authoring software Revit in .rvt proprietary format to RAI. The denomination and codification system are fundamental for the client to connect BIM data models with the proprietary Database allowing the management of scheduling and recording maintenance operations, storing, and updating technical documents, also giving the possibilities to set up automatic alerts for recurring maintenance and control activities. To achieve a seamless flow of data between BIM models and the management Database the client has required that all objects of the Architectural, Structural, Mechanical and Electrical models must be codified, to univocally identified each object, via the following parameters:

- Settlement_id
- Settlement_code
- Building_id
- Building_code
- Floor_code
- Room_code
- Object_code

All the codification parameters are attributed and must be filled for all objects/instances. In particular, the Object_code must be filled according to the following rules, defined in the modelling protocols:

- System Families (Architectural and Structural models categories: Walls, Architectural and Structural Floors, Roofs, Ceilings, etc.), compiled according to the following rule:
 - <E.T.Code><Number>. With the <E.T.Code> correspondent to the Family Type denomination <E.T.Code>_<thickness cm>_<interior finishing code>_<exterior finishing code>_<Number>.
 - Example: Walls Family type name<CVO_30 cm_RII_RIE_12>, related Wall Type Cod_Object: <CVO12>.

Consequently, RAI requires consistency between specific fields in the object denomination string and the values entered in the codification parameters Cod_Object (e.g., CVO12).

- Loadable families, compiled according to the following rules:
 - Windows instances (Architectural model): progressive code of 2 numeric characters starting from 01 for each floor.
 - Doors instances (Architectural model): progressive code of 2 numerical characters starting from 01 for each room where the door allows access.
 - Instances belonging to other categories (Mechanical and Electrical models): progressive code of 2 numerical characters starting from 01.

Given the importance of compliance with the codification rules, RAI has set the objective of implementing a control and verification system for the content checking of the BIM models produced by external parties. In Table 1 is provided a short description of the related model checking procedures and aim.

Table 1. RAI model checking procedure examined

CHECKING ACTIVITY	DESCRIPTION AND AIM
System families, codification	Verification of the correspondence between the denomination string and the value of the codification parameters <Object_code> of the system families present in the Architectural and Structural model (floors, walls, roofs, ceilings, stairs, and railings).
Loadable families, codification	Verification of the codification parameters value <Object_code> of the loadable families present in the Architectural, Structural, Mechanical and Electrical model.

2.2. Manual model content checking procedure

The manual checking procedure of System families consists of comparing the values of the denomination string fields (<E.T.Code><Number>) checking the correspondence with the codification parameters value Cod_Object.

The manual procedure for Loadable families checks the presence of different instances codified with the same codification string (i.e., non-univocal identification of different objects), both the procedures are entire human based.

2.3. Automated model content checking procedure

The script to automatically perform the model content checking is developed in Dynamo using Regular Expressions (RegEx). A brief description of Regex origin and development is provided in the following paragraph.

2.3.1 Regular Expressions: brief introduction and definition

The term RegEx was coined in 1956 by the mathematician Stephen Cole Kleen in his work on finite automata (Kleene 1956) referring to studies in the field of neuroscience conducted by Warren S. McCulloch and Walter Pitts in 1943 (McCulloch 1943). Kleen proposed a mathematical annotation (named set/regular expression) which mathematically represent the McCulloch-Pitts neural model. Kleen studies influenced Ken Thompson who implemented the idea of Regular Expressions inside a text editor called QED (Thompson 1968). QED was the first real case application of RegEx in the field of information technologies and communication.

RegExes belong to the context of formal language theory, a RegEx is a sequence of characters that defines a (possibly infinite) set of text strings (Hopcroft 2001). RegExes are a powerful string manipulation tool, and nowadays all modern coding languages have similar functions. Regular Expressions are employed in data validation, classification, and extraction (Arslan 2005) to verify the structure of a string or process text information performing functions like:

- Searching a string
- Extracting substrings
- Replacing, rearranging parts of a string
- Breaking strings into smaller pieces

At its core, a RegEx is a search pattern composed by a set of symbols that helps to match, locate, and manage text and string data in general. As stated, RegExes are supported by modern programming languages like Python (e.g., Python RegEx module), JavaScript (e.g., JavaScript JS RegExp module), and

C# (e.g., Regex Class). An example of the splitting string function using the RegEx Python module (re package) is provided in Figure 1.

```
#import of the RegEx Python re package
import re

#definition of the string to split
str = 'PVI_85cm_FSR_RII_59'

definition of the function to split string into substrings using the delimiter '_'
substrings = re.split('[_],[_]',str)

#results
print(substrings)

output: ['PVI', '85cm', 'FSR', 'RII', '59']
```

Fig. 1 String splitting by delimiter, Python code example

2.3.2 Dynamo RegEx node: output and reporting

Dynamo nodes have been developed based on RegEx functions, available in the Clockwork package, to automatically check the accuracy of the codification parameters of the System and Loadable families. The Dynamo Clockwork package was chosen because it is one of the few packages that allows to easily implement RegEx functions in Dynamo environment, it is a stable package, constantly updated and based on Python language, the top programming language for PYPL (Popularity Programming Language index).

To streamline the checking activity, the outputs are exported in a .txt format and imported in a predefined grid which allows to identify possible errors and facilitates the reporting activity. In fact, all the identified codification errors must be communicated to the external parties in charge of modeling to be rectified. The ID (unique Identifier) of each instance is provided in the report shared to support the design firms in charge of the model updating.

As stated, for System families, RAI requires consistency between fields in the object denomination string and the values entered in the codification parameters Cod_Object (i.e., Wall type: CVO_90cm_RII_RII_CVO12 and Cod_Object: CVO12). The dynamo node for the system families check the consistency between the <E.T.Code> and <Number> fields of the denomination of the families and the values in the Cod_Object providing an output ready for the reporting.

An example of the outputs for a System family (Wall instances) with inconsistency between the denomination fields and the values of the Cod_Object is provided in Table 2.

Table 2. Example of the output of the Cod_object values checking for the Walls category

ID	FAMILY TYPE	COD_OBJECT	TRUE/FALSE
2009837	CVO_90cm_FSR_TES_14	CVO12	FALSE
2010106	CVO_90cm_FSR_TES_14	CVO14	TRUE
2010322	CVO_90cm_FSR_TES_14	CVO14	TRUE
2010916	CVO_30cm_FSR_50	CVO50	TRUE
2011045	CVO_30cm_FSR_50	CVO50	TRUE
2011446	PVI_85cm_FSR_RII_59	CVO51	FALSE
2011971	PVI_85cm_FSR_RII_59	PVI59	TRUE
2012079	PVI_85cm_FSR_RII_59	PVI59	TRUE
2012932	CVO_90cm_FSR_TES_14	CVO14	TRUE
2013375	CVO_16cm_RII_03	CV03	FALSE
2013660	PVI_20cm_RII_RII_23	PVI02	FALSE
2013788	PVI_20cm_RII_RII_32	PVI03	FALSE
2013983	PVI_15cm_RII_RII_24	PVI33	FALSE
2014067	PVI_15cm_RII_RII_24	PVI106	FALSE

The codification of the Loadable families includes a progressive code of 2 numeric characters starting from 01 for each floor for Windows instances, from 01 for each room for Doors instances, and instances belonging to other Categories (e.g., Fire alarms devices in the Architectural model, Mechanical equipment in the Mechanical model, Lighting Devices in the Electrical model etc.) are coded using a numeric progressive code from 01 for all the instances of the category.

The Dynamo node check if in the BIM model are modelled different instances with the same codification string, like:

- Different instances of doors on the same floor and room, same values for the parameter Cod_Floor and Cod_Room, and with the same Cod_Object
- Different instances of windows on the same floor, same values for the parameter Cod_Floor and with the same Cod_Object
- Instances of other categories (Architectural, Mechanical or Electrical) with the same Cod_Object

The model content checking activity on Loadable families allows to control and avoid the presence of different instances codified with the same codification string, an issue for the univocal identification of the objects modelled. In fact, non-univocal identification of different objects, due to codification errors, may interfere with the BIM management of the O&M phase, which is the reason why the checking operation is considered critical by the company.

An example of the outputs for a Loadable family (Doors instances) is provided in Table 3. The door instances have the same Cod_Floor, Cod_Room and Cod_Object and cannot be univocally identified.

Table 3. Example of the output of the Cod_object values checking for the Doors category

ID	FAMILY	COD_FLOOR	COD_ROOM	COD_OBJECT
2964468	ARC_S_2Ante_ORD_LGN	1	210	1
2982904	ARC_S_1Anta_ORD_LGN	1	210	1
4298609	ARC_S_1Anta_ORD_LGN	1	210	1
3750324	ARC_SFC_1Anta_ORD_VET_01	1	206	2
3750329	ARC_SFC_2Ante_ORD_VET_02	1	206	2
3750331	ARC_SFC_2Ante_ORD_VET_02	1	206	2
3750333	ARC_SFC_2Ante_ORD_VET_02	1	206	2
3750822	ARC_SFC_2Ante_ORD_VET_02	1	206	2
3750824	ARC_SFC_2Ante_ORD_VET_02	1	206	2

2.4. Monitoring and comparison of the manual and automated model content checking

Both the checking activities were performed manually, and the timing of the task was tracked by collecting data of different BIM models checking (15 models). The tasks include the checking of all the four disciplines: architectural, structural, mechanical, and electrical using the same procedure. The data about the time required to perform a manual activity is then compared to the time to design and run the script required to automate the same checking activities. Based on the data collected on the initial 15 models, the time required to verify all the models that constitute the RAI building assets was estimated.

To compare the manual and the automated model content checking activities comparison criteria have been defined as shown in Table 4.

Table 4. Criteria used to monitor and compare the manual and automated model content checking activity

CRITERIA	DESCRIPTION	U. M.	MANUAL CHECK	AUTOMATED CHECK
C 1)	Time to perform and update the model content checking procedure	[h]	t(1) Time required to perform the manual checking activity	t(1*) Time required to develop the script using RegExes in Dynamo

			t(2) Time required to modify and update the manual checking procedure	t(2*) Time required to maintain or modify and update the script
C 2)	Data sample checked	[%]	d(1) % of the data model checked	t(3*) Time required to run the script (i.e., perform the automated checking activity) d(1*) % of the data model checked
C 3)	Skills and competencies required to the personnel in charge of the model content check	-	s(1) Knowledge of RAI modelling methodologies and protocols s(2) Knowledge of the manual model content checking procedure	s(1*) Knowledge of RAI modelling methodologies and protocols s(2*) Basic skills in Dynamo (i.e., run a node and manage the outputs) s(3*) Advanced skills in Dynamo and Python (e.g. Dynamo node creation and updating, Python scripting and coding, and RegEx language knowledge)
C 4)	Flexibility: feasibility of the checking system to be adapted to changes in modelling methodologies	-	f(1) Flexibility level	f(*1) Flexibility level

2.5. Short- and long-term scenarios

Two scenarios, the first involving outsourcing the development of the Dynamo nodes necessary to automate the model content checking and a second scenario involving acquiring within the RAI organization the skills and knowledge necessary for the development and updating of the Dynamo nodes are compared because of the results obtained.

The scenarios comparison supports the identification of short- and long-term strategies for the implementation of BIM model content checking for large building portfolio owners like RAI.

3. Results

The results of the criterion C 1), time to perform and update or modify the model content checking procedure, are here provided:

- Manual checking activity
 - Time required to perform the manual checking activity on a BIM model (considering all the Architectural, Structural, Mechanical, and Electrical disciplines): 6 h < t(1) < 11 h
 - Time required to modify and update the manual checking procedure: t(2)=15 h
- Automated checking activity:
 - Time required to develop the script using RegExes in Dynamo: t(1*)=175 h
 - Time required to maintain or modify and update the script: t(2*)=15 h

- Time required to run the script (i.e., perform the automated checking activity on a BIM model, considering all the Architectural, Structural, Mechanical, and Electrical disciplines): $t(3^*)=1$ h

The results of the criterion C 2), percentage of the Data sample checked, are here provided:

- Manual checking activity
 - % of the data model checked (representative sample): $d(1)$: 70% (company-defined minimum verification threshold). Limited to a representative sample.
- Automated checking activity
 - % of the data model checked (representative sample): $d^*(1)$: 100%. Extensive, all the data.

The results of the criterion C 3), skills and competencies required to the personnel in charge of the model content check, are provided in Table 5.

Table 5 C 3) skills and competencies required

C 3)	MANUAL CHECK	AUTOMATED CHECK
s(1) Knowledge of RAI modelling methodologies and protocols	Required	Required
s(2) Knowledge of the manual model content checking procedure	Required	Optional
s(2*) Basic skills in Dynamo (i.e., run a node and manage the outputs)	Not required	Required
s(3*) Advanced skills in Dynamo and Python (e.g. Dynamo node creation and updating Python scripting and coding, RegEx language knowledge)	Not required	Optional

The results of the criterion C 4), feasibility of the checking system to be adapted to changes in modelling methodologies, are here provided:

- Manual checking activity
 - Medium feasibility
- Automated checking activity
 - Medium feasibility

4. Discussion

4.1. Comparison criteria results

The results of the criterion C 1) are plotted in the following chart (Figure 2). The graph shows on the x-axis the number of models checked/to be checked (53 BIM models), on the y-axis the time required for the model content checking activity. The orange line represents the time necessary for the control activity carried out manually, while the blue line represents the time for the automated checking. The automated activity intercepts the y-axis at a value of 175 hours ($t(1^*)$), the time required to develop and test the RegEx-based script.

The graph also shows the break-even point (red circle) between the two strategies manual and automated, i.e., the minimum number of models necessary to repay the 175 hours invested for the development of the node due to the higher efficiency of the checking activity. The break-even point occurs with the 23rd BIM model checked.

The automated verification is also more standardized in terms of the time required for the execution. The time necessary to verify 1 model is equal to an hour against a range that varies between 6 and 11 hours, for the manual activity, in function of the dimension of the model and of the experience and ability of the

operator. The reduced variability of the checking times allows a better planning of the activity facilitating the respect of the deadlines thanks to the standardization of the process.

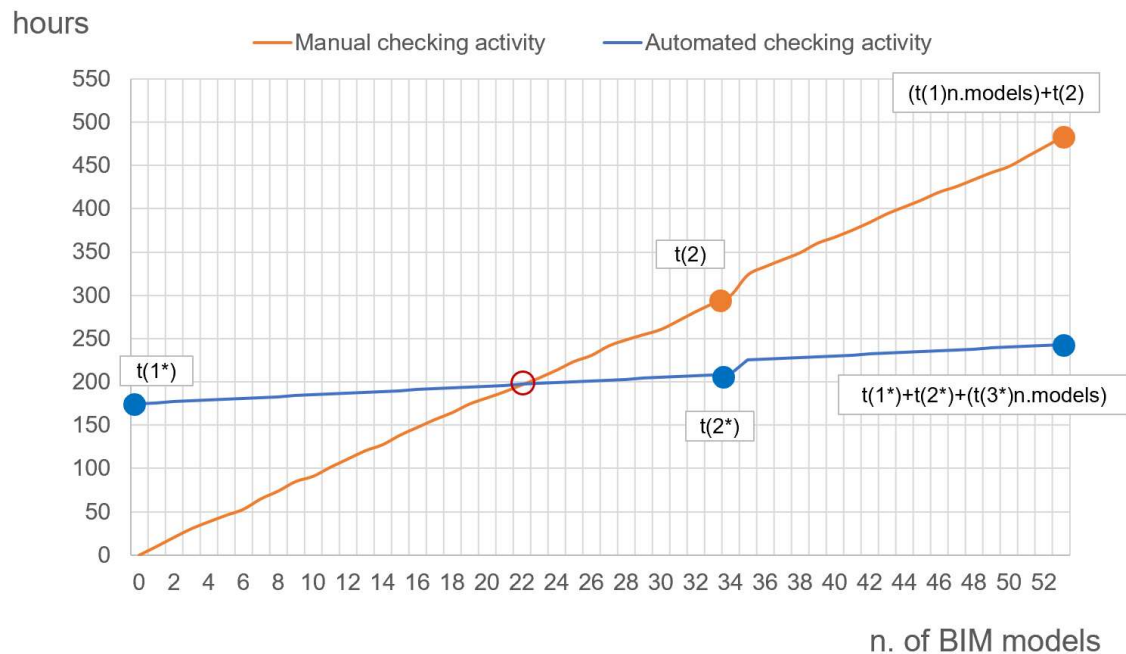


Fig. 2. Manual and automated checking activity comparison chart

Moreover, considering the results of the C 2) criterion, the automated activity allows to check the entire model with a 100% of accuracy, instead using a representative sample for the manual activity equal to the 70% of the data model, defined as the minimum checking threshold by the company. As a result, the manual activity has a lower percentage of data checked and a higher probability of missing errors in the BIM model, on the contrary the automated task has a null percentage of errors.

The results of C 3) criterion highlight the need for more advanced skills and expertise required to the personnel in using or modifying and updating the script used for the automated model checking. In fact, basic skills in Dynamo to run the node and manage the outputs, advanced skills in both Dynamo and Python for the node creation and/or updating, and RegEx language knowledge are required. On the opposite, to perform a manual checking the unique knowledge required to the personnel in charge of the manual activity is about RAI modelling protocols and methodologies, and basic checking procedure.

Both manual and automated procedure have medium flexibility, in terms of feasibility of the checking system to be adapted to changes in modelling methodologies. The time required to modify and update the manual checking procedure and the time required to maintain or modify and update the script are both equal to 15 hours.

4.2. Scenarios comparison

As stated, a comparison between the possible outsourcing or acquisition of the competencies and skills to develop the automated checking procedure is proposed in Table 6.

- First scenario, outsourcing the development of the Dynamo nodes necessary to automate the model content checking
- Second scenario, in-house development and updating of the Dynamo nodes necessary to automate the model content checking

Table 6. Outsourcing and acquisition skill scenarios comparison

CRITERIA	FIRST SCENARIO	SECOND SCENARIO
Personnel training time	Low	High
Availability of the know-how within the company	Low	High
Capacity to maintain and update the script	Null	High
Necessity of personnel training program	Low	High
Necessity of personnel dedicated to the script maintenance and updating	Null	High

Outsourcing the development of the script is considered by the company as a better short-term strategy because external development does not require having highly skilled staff in-house, leading to significant savings in terms of personnel training. In contrast, the in-house script development allows the company to acquire the know-how to develop similar solutions and automate several checking tasks with lower development, maintenance, and upgrade costs in a long-term scenario.

5. Conclusion

The manuscript describes the model content checking procedures applied on the context of a real-case study of a large portfolio owner (i.e., RAI – main Italian TV broadcaster). RAI outsources the modeling activity to accelerate the digitization phase of its portfolio assets with savings in time and costs. To ensure the delivered BIM models are compliant with the information requirements the models have been checked and validated using manual and automated procedures. A brief description of the checking process and a comparison of manual and automated model checking, based on the use of RegEx in a Python/Dynamo environment, are provided in the study. An examination of the short- and long-term advantages and limitations of both checking and validation procedure is also covered in the study.

5.1. Manual or automated checking?

The break-even point between the manual and automated strategy (i.e., the minimum number of models necessary to repay the 175 hours invested for the development of the automated checking system) that coincides with the verification of the 23rd checked BIM model highlights the positive return of investment of the implementation of the automatic verification system for the company.

Furthermore, all identified codification errors are communicated to the external parties in charge of modeling to be rectified. To streamline and facilitate the correction activity, a complete report generated semi-automatically is provided to the design firms in charge of the BIM model updating. The report provides the ID (unique Identifier) of each instance affected by a codification error supporting the external correction activity.

In addition, the error rate for the automated checking is null with a percentage of 100% of the data checked with a lower variability for the time needed to execute the check which allows a better planning of the activity thanks to the standardization of the process.

5.2. Short- and long-term implementation strategies

As stated, advanced skills and expertise are required of personnel in using or modifying and updating the script for automatic model checking, which is seen as a limitation by the Client.

In light of the results discussed, the best short-term strategy is to proceed in parallel with the manual model checking while the script/node development is outsourced to a third party. The strategy allows to proceed in parallel with the development of the node without involving internal personnel of the company and with the manual verification of the early models received from the designers.

The acquisition of the competences from the internal staff of the company results to be the best strategy considering the long period. The long-term strategy aims to produce in-house scripts useful for the automation of further verification activities, amortizing time and costs of personnel training making available the technical know-how within the company.

5.3 Next steps

The project wants to continue the implementation of new automated checking procedures and the related monitoring activity investigating possible advantages and disadvantages supporting RAI in short- and long-term strategic choices for the implementation of the BIM methodology in the O&M phase.

Acknowledgements

The authors take the opportunity to acknowledge Umberto Carenzo for the technical support in the development and testing of the Dynamo scripts.

References

- ARSLAN, A. N. (2005). "Multiple Sequence Alignment Containing a Sequence of Regular Expressions", in *Computational Intelligence in Bioinformatics and Computational Biology*, pp. 1–7, IEEE. <https://doi.org/10.1002/9783527678679.dg08059>
- CHENG, J. C. P. and LU, Q. (2015). "A review of the efforts and roles of the public sector for BIM adoption worldwide", in *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 20, issue July, p. 442–478.
- DI GIUDA, G. M., MALTESE, S., RE CECCONI, F. and VILLA, V. (2017). *Il BIM per la gestione dei patrimoni immobiliari: Linee guida, livelli di dettaglio informativo grafico (LOD) e alfanumerico (LOI)*. (Hoepli, Ed.)Milano, Italy
- DI GIUDA, G. M., RE CECCONI, F., DEJACO, M. C., MALTESE, S., VILLA, V. and SCHIEVANO, M. (2016). "Information management guideline for asset operational phase", in *Back To 4.0: Rethinking the Digital Construction Industry*, p. 39–49.
- EDIRISINGHE, R., KALUTARA, P. and LONDON, K. (2016). "An Investigation of BIM Adoption of Owners and Facility Managers in Australia: Institutional Case study Digital skin of the future construction site View project", in *The RICS Annual Construction and Building Research Conference (COBRA 2015)*, pp. 1–10, Toronto, Canada
- HJELSETH, E. (2015). "BIM-based model checking (BMC)", in *Building Information Modeling: Applications and Practices*, pp. 33–61, <https://doi.org/10.1061/9780784413982.ch02>
- HJELSETH, E. (2016). "Classification of BIM-based Model checking concepts", in *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 21, issue October, p. 354–370.
- HOPCROFT, J. E., MOTWANI, R. and ULLMAN, J. D. (2001). *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*. (M. Suarez-Rivas & K. Harutunian, Eds.)Second, USA: Pearson Education.
- KASSEM, M., IQBAL, N., KELLY, G., LOCKLEY, S. and DAWOOD, N. (2014). "Building information modelling: Protocols for collaborative design processes", in *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 19, issue July, p. 126–149.
- KENSEK, K. (2015). "BIM guidelines inform facilities management databases: A Case Study over Time", in *Buildings*, vol. 5, issue 3, p. 899–916. <https://doi.org/10.3390/buildings5030899>
- KLEENE, S. C. (1956). "Representation of events in nerve nets and finite automata", in *Automata Studies*, vol. 34, , p. 3–42.
- MCCULLOCH, W. S. and PITTS, W. (1943). "A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity", in *Bulletin of Mathematical Biophysics*, vol. 5, issue 1, p. 115–133. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01370-7_61
- THOMPSON, K. (1968). "Programming Techniques: Regular expression search algorithm", in *Communications of the ACM*, vol. 11, issue 6, p. 419–422. <https://doi.org/10.1145/363347.363387>



DIGITALIZACIÓN Y SOSTENIBILIDAD. PRIMEROS PASOS HACIA LA IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA ADMINISTRACIÓN REGIONAL VALENCIANA

Matarredona-Desantes, Nuria^{a b}; Ferreiro Chicote, Olimpia^b, Grisolia Peressini, Román^b, Ruiz Iznajar, Rafael^b, Tormo Jurado, Ester^b, Vaño Asensio, M^aEmpar^b

^aUniversitat Politècnica de València. numade@upvnet.upv.es ^bDirección General de Innovación Ecológica en la Construcción. Vicepresidencia Segunda y Conselleria de Vivienda y Arquitectura Bioclimática. Generalitat Valenciana.

Abstract

In response to the current climate emergency context, the Generalitat Valenciana, through the General Directorate of Ecological Innovation in Construction, incentivizes ecological and innovative public procurement of architecture. Within this framework, it is committed to the implementation of the BIM methodology in the Valencian regional administration as a digitization strategy towards the sustainability of the built environment.

Aware of the difficulties posed by this paradigm shift towards this new collaborative work environment but also of the benefits it entails, a pilot experience has been initiated through three public tenders for sustainable and innovative housing that incorporate this methodology from the writing of the project until its subsequent management.

This experience is making it possible to diagnose the state of the art, detect the main barriers and design the first responses. As a result of this learning process, the plan for a consistent and contextualized roadmap has been started to facilitate a successful implementation of the BIM methodology in this administration.

This text presents the main conclusions of the path traveled so far and the challenges that arise in the short, medium, and long term.

Keywords: BIM, public administration, green public procurement, innovative public procurement, tendering, housing, architecture, sustainability, digitization

Resumen

Como respuesta al presente contexto de emergencia climática, la Generalitat Valenciana a través de la Dirección General de Innovación Ecológica en la Construcción fomenta la compra pública ecológica e innovadora de arquitectura. En este marco, se apuesta por la implantación de la metodología BIM en la administración regional valenciana como estrategia de digitalización hacia la sostenibilidad del entorno construido.

Conscientes de las dificultades que supone este cambio de paradigma hacia este nuevo entorno de trabajo colaborativo, pero también de los beneficios que entraña, se ha iniciado una experiencia piloto a través de tres licitaciones públicas de vivienda sostenible e innovadora que incorporan esta metodología desde la redacción del proyecto hasta su ulterior gestión.

Esta experiencia está permitiendo diagnosticar el estado de la cuestión, detectar las principales barreras y diseñar las primeras respuestas. Fruto de este aprendizaje se ha iniciado la planificación de una hoja de ruta consecuente y contextualizada que facilite una implementación exitosa de la metodología BIM en esta administración autonómica

El presente texto presenta las principales conclusiones del camino recorrido hasta el momento y los retos que se plantean en un futuro a corto, medio y largo plazo.

Palabras clave: BIM, administración pública, compra pública ecológica, compra pública innovadora, licitación, vivienda, arquitectura, sostenibilidad, digitalización

1. Digitalización para la sostenibilidad. La administración pública como tractor en el contexto estatal.

Building Information Modeling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes. BIM supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en el plano, ya que incorpora información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), ambiental (6D) y de mantenimiento (7D).

El uso de BIM implica una perspectiva que trasciende la fase de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y obra, e incluso la fase de uso, extendiéndose así a lo largo del ciclo de vida del edificio, favoreciendo una mejor gestión de este durante todas sus etapas, incorporando incluso información relativa a su potencial deconstrucción gracias a la generación de un documento colaborativo y compartido que centraliza la información de manera ordenada y categorizada.

Su implementación se entiende como una “verdadera revolución tecnológica” para la cadena de producción y gestión de la edificación y las infraestructuras que para las administraciones públicas supone además “un facilitador de una política de construcción y edificación sostenible, de la eficiencia del gasto público, y de la competitividad nacional (CBIM 2022).

Entre los principales beneficios de su implantación, la Comisión BIM (2022) destaca:

- Transparencia de los modelos y su gestión
- Seguridad Mejora de la competitividad del sector
- Descarbonización
- Eficiencia de recursos
- Control del ciclo de vida de la infraestructura
- Incremento de la calidad y eficiencia de los proyectos y obras de edificación e ingeniería

Además del ahorro en costes que se estima del 13% frente a un 21% en la fase de construcción y del 10% frente a un 17% en la fase de operaciones (ECSO 2019)

Sin embargo, y a pesar de las bondades expuestas, la implementación BIM en España es todavía tímida, especialmente en el ámbito de infraestructuras de carácter arquitectónico a pesar de que ya hace casi una década desde que, en 2014, el Parlamento Europeo emite la Directiva 2014/24/UE por la cual se insta los 28 países miembros de la Unión a implementar la metodología BIM en todos aquellos proyectos constructivos de financiación pública.

En España, la Ley 9/2017, de 8 de 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 y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014, incorpora en el apartado 6 de su Disposición adicional decimoquinta, una referencia precisa a la exigencia de herramientas electrónica, como sería el entorno de modelado digital (BIM). En esta línea, la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, con el artículo 148 «Definición y cálculo del ciclo de vida», acentúa el ciclo de vida de la edificación como factor clave a considerar en los criterios de adjudicación de un contrato.

El Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda urbana crea en mayo de 2017 el Observatorio de Licitaciones Públicas BIM, con el objetivo de conocer el avance de la implantación de la metodología BIM en España en base a las licitaciones públicas en el Boletín Oficial del Estado y otros boletines, identificando y analizando la incorporación de requisitos BIM.

En 2018 se suceden dos importantes hitos en este sentido que supondrán un importante impacto en el proceso de implementación de BIM en España. Por una parte, se crea la Comisión Interministerial BIM del Gobierno de España (Real Decreto 1515/2018, de 28 de diciembre) y por otro se pone en marcha el “Mandato BIM” del Govern de Catalunya que establece el cronograma de implantación obligatoria en contratos de proyectos y de obras de importe mayor a 5M.

En abril de 2019 queda constituida la Comisión para la incorporación de la metodología BIM en la contratación pública, cuya principal función es elaborar el Plan de Incorporación de la Metodología BIM en la Contratación Pública de la Administración General del Estado y sus organismos públicos y entidades de derecho público vinculados o dependientes, que deberá ser acorde con los avances europeos en esta materia y la Estrategia Nacional de Contratación Pública.

En 2021, el anteproyecto de Ley de Calidad de la Arquitectura promovido por el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana incorpora en su articulado una clara apuesta por esta transición, manifestando en su artículo quinto relativo a "Medidas para que los poderes públicos preserven, fomenten y divulguen la calidad de la arquitectura" lo siguiente:

"Los poderes públicos procurarán ante todo la excelencia y sostenibilidad de la obra pública, de forma ejemplarizante para otros sectores de la sociedad. Impulsarán la investigación, el desarrollo y la innovación (I+D+i) en los proyectos y obras que promuevan y fomentarán la digitalización y la utilización de herramientas tecnológicamente innovadoras destinadas a hacer más eficiente, competitivo, seguro y de calidad, el proceso constructivo. Dichas herramientas facilitarán la redacción de proyectos, dirección de obra y dirección de ejecución, el uso y mantenimiento de la arquitectura. Entre otras medidas, se fomentará en los proyectos del sector público el uso de herramientas electrónicas específicas, tales como herramientas de modelado digital de la información de la construcción (BIM) o similares y la incorporación de técnicas innovadoras". (MITMA 2021: 13).

Asimismo, en la definición de las funciones del futuro Consejo sobre la Calidad de la Arquitectura propone que este actúe como responsable, en coordinación con la Comisión Interministerial BIM de "la digitalización del proceso constructivo, así como la incorporación progresiva de modelos de información integrada en el patrimonio público al objeto de facilitar, optimizar y hacer más sostenible su explotación y mantenimiento" (MITMA 2021:15).

En febrero de 2022, se constituye el "Comité técnico" de la Comisión Interministerial para la incorporación de la metodología BIM en la contratación pública, cuya misión será elaborar un borrador de Plan de implantación de la metodología BIM, que se prevé elevar a aprobación por Consejo de ministros en 2023. Este comité tendrá naturaleza de grupo de trabajo y será responsable de elaborar también borradores de documentación técnica de interés para órganos, organismos públicos y entidades de derecho público de la administración general del estado, con competencias de gestión y contratación de obras y mantenimiento sobre infraestructuras y edificios.

Además, actualmente, la implementación de BIM se recoge en el Programa Nacional de Reformas (2019), Plan Contratación Pública Ecológica (2019), Estrategia Española de Economía Circular (2020) y la Agenda Digital 2025 (2020).

La digitalización de la construcción en la Unión Europea se considera palanca para la neutralidad climática y la recuperación económica se enmarca entre otros en los objetivos del Pacto Verde Europeo (2019), Plan del Objetivo Climático para 2030 y la Ola de Renovación para Europa (2020). Esta cuestión inicia calar profundamente en la contratación pública. En efecto, el Observatorio de la Comisión BIM señala que en el último trimestre del año 2021 se consolida un creciente aumento de las licitaciones con requisitos BIM con un incremento de 169 nuevas licitaciones. Esta cifra supone un 35% del total publicado a lo largo del año y un aumento de un 47% respecto al trimestre anterior. Este volumen de licitaciones supone 518 millones de euros, representando un 47% del presupuesto total del año y un 132% en relación al periodo equivalente anterior. (CBIM 2022). En cuanto a la Comunitat Valenciana se refiere, el Observatorio de la Comisión BIM señala que desde 2017 se han invertido 102M de euros en 112 licitaciones publicadas en el ámbito de edificación, siendo la segunda comunidad autónoma en inversión acumulada tras Catalunya.

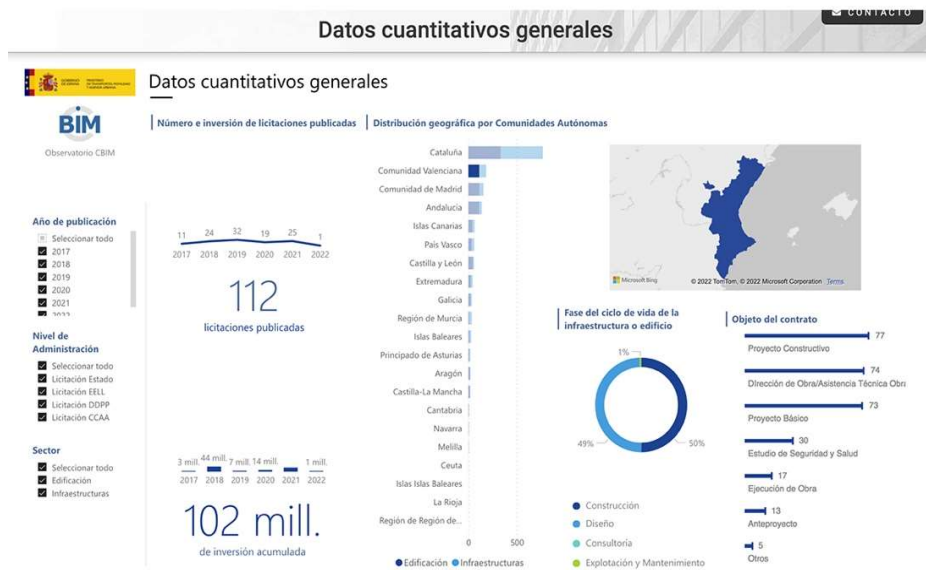


Fig. 1 Licitaciones públicas BIM en Comunitat Valenciana. Observatorio BIM MITMA (2022)

2. Implantación BIM experimental en la Generalitat Valenciana: los proyectos piloto de vivienda pública sostenible

La Vicepresidencia Segunda y Conselleria de Vivienda y Arquitectura Bioclimática a través de la Dirección General de Innovación Ecológica en la Construcción, impulsa en el marco de sus competencias la investigación aplicada y la transferencia de conocimiento hacia políticas públicas que promuevan la sostenibilidad del entorno construido en términos sociales, económicos y medioambientales.

Así pues, de manera alineada con las directrices europeas en materia de desarrollo sostenible, DGIEC persigue el fomento de transición ecológica de los espacios que habitamos basado en la innovación como catalizador de un imprescindible cambio de paradigma hacia una arquitectura responsable con el medio ambiente y las personas que garantice el bienestar físico y mental de las personas sin comprometer la calidad de vida de generaciones futuras.

En efecto, la Agenda 2030, poniendo en el centro a las personas, el planeta, la prosperidad y la paz, bajo el lema de "no dejar a nadie atrás", señala entre sus diecisiete objetivos la apuesta por unos asentamientos humanos que sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles y se insta a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Es decir, se insta a abordar los necesarios compromisos hacia la neutralidad climática sin perder de vista su dimensión social y económica.

Esta emergencia climática frente a la que nuestro territorio es particularmente vulnerable se suma a una acuciante emergencia habitacional. El incremento del parque público, la reactivación de las viviendas infrutilizadas o la actualización del parque existente para adaptarlo a las necesidades que las unidades de convivencia actuales requieren son las principales líneas de acción que propone el Plan Hábitat 20-30, la estrategia operativa diseñada desde la Generalitat para garantizar la función social de la vivienda.

Esta reflexión en torno a la vivienda se torna imprescindible ante un panorama señalado por las secuelas de la irrupción de la COVID 19. Precisamente los periodos de confinamiento y la necesaria distancia social derivados de esta pandemia ha acentuado su función original como refugio y han evidenciado la necesidad de disponer de hábitats flexibles capaces de sobreponerse a las adversidades, así como la estrecha relación existente entre arquitectura y bienestar. La generación de viviendas resilientes, inclusivas, seguras y confortables es una cuestión crucial que repercute de manera directa en la salud física y mental de las personas.

Desde DGIEC se contribuye a esta iniciativa de ampliación del parque público desde el fomento de una compra pública ecológica e innovadora como herramienta que permite garantizar una sostenibilidad holística que contemple sus dimensiones medioambientales, sociales y económicas.

La contratación pública supone el 20% del PIB según el Observatorio de Contratación Pública y permite poner en valor de la función ejemplarizante de la administración, al tiempo que supone un revulsivo para la iniciativa privada, fomentando la transición ecológica en el sector de la construcción hacia nuevas formas de producción más competitivas respetuosas con el medioambiente contribuyendo así a la lucha contra el cambio climático de manera compatible con el bienestar de las personas.

En este contexto, DGIEC pone en marcha el programa de Proyectos Piloto que impulsan la promoción de demostradores de construcción innovadora y responsable como catalizador de un cambio de paradigma acorde a una situación de emergencia climática, sanitaria y habitacional, potenciando la transferencia tecnológica y la investigación aplicada para mejorar la resiliencia de nuestro entorno construido.

Las primeras actuaciones promovidas en el marco de este plan se han impulsado en colaboración con la Entitat Valenciana d'Habitatge i Sol (EVha). Se trata de tres demostradores en materia de vivienda pública sitios en Alcoy, Castelló de la Plana y València. Cada uno de ellos aborda una singularidad específica que favorecerá la replicabilidad de las conclusiones en diversos contextos.

Estos proyectos, baluarte de innovación y sostenibilidad, permitirán evidenciar nuevas maneras de promover, evaluar su desempeño y replicar aquellas cuestiones que contribuyan definitivamente a los objetivos propuestos que abordan desde la generación de modelos habitacionales universalmente accesibles e inclusivos a la integración de los principios de la economía circular o el fomento de la biohabitabilidad.

Como medida de fomento de la calidad de la arquitectura, la contratación de los respectivos servicios de redacción de proyecto y dirección de obra en cada uno de los emplazamientos se ha realizado mediante concursos de proyectos en el marco de la Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público. Tanto el producto como el proceso en sí mismo son el resultado de una profunda investigación que permitiera alcanzar los resultados deseados. La propuesta ganadora del concurso se propone como adjudicataria del contrato de servicios de redacción de proyecto y dirección de obra.

Estos concursos se han regido bajo el principio de anonimato de las propuestas presentadas que son evaluadas por un jurado de expertos. La estructura en dos fases responde a una voluntad de favorecer la concurrencia y reconocer la labor intelectual que supone la preparación de este tipo de propuestas. Un máximo de cinco propuestas puede ser seleccionadas para su paso a la segunda fase, para las cuales se contempla un premio económico.

Como mecanismo de impulso a la excelencia arquitectónica y considerando el carácter de prestación intelectual del servicio, para la evaluación de las propuestas y selección de la ganadora, únicamente se valoran criterios basados en la calidad de estas, no contemplando criterios económicos para la adjudicación del contrato. El precio del contrato se ha establecido por la administración, calculado en base a los honorarios profesionales del servicio objeto del contrato referidos al presupuesto de ejecución material previsto para el proyecto.

Por otro lado, con el fin de posibilitar la promoción de talento joven o desconocido, el único requisito de solvencia técnica previsto es la titulación para el ejercicio profesional de la arquitectura. No obstante, a pesar de no exigir experiencia previa alguna al licitador, si se requiere que este acredite adscribir a la ejecución contrato un equipo de profesionales interdisciplinar con experiencia acreditada en perfiles que integran desde la sociología a la digitalización.

La implementación experimental de la metodología BIM se considera mecanismo imprescindible para la consecución de los objetivos de sostenibilidad y calidad arquitectónica establecidos desde DGIEC, garantizando la coherencia y fluidez de la información generada entre las diversas fases, desde la ejecución a la deconstrucción.

Los objetivos que pretenden satisfacerse con la implementación de la metodología BIM y que pueden apreciarse en la tabla adjunta fueron puestos de manifiesto en la licitación de la redacción de los proyectos piloto y la dirección de las obras derivadas. Sin embargo, el alcance de la definición de los mismos no establecía la totalidad de las exigencias derivadas y los outputs fruto de su consecución.

Tabla 1. Listado de objetivos BIM (DGIEC, 2022)

USO BIM	NOMBRE USO BIM	OBJETIVO ESPERADO
1	Información centralizada	Usar los modelos BIM como fuente única, estandarizada y centralizada de la información producida durante la redacción de proyecto constructivo para su almacenamiento entorno al modelo digital y para una más coherente y uniforme transferencia de información de la fase de redacción a la fase de obra.
2	Revisión de diseño	Uso de los modelos BIM potenciando su capacidad para revisar, modificar y complementar información del proyecto constructivo.
3	Visualización	Usar los modelos BIM para favorecer la visualización del avance de los trabajos de diseño permitiendo una mejor comprensión de los procesos y una más fácil anticipación en la toma de decisiones. Esto permite también favorecer el sistema de producción de información del proyecto.
4	Coordinación 3D	Mejorar la coordinación del proyecto integrando el uso de los modelos BIM en los procesos de coordinación entre disciplinas, incluso terceros externos al proyecto.
5	Obtención de documentación 2D	Obtener la documentación 2D a partir de los modelos BIM. Centralizar la producción de información 2D en los modelos BIM. Esto permite un mayor grado de coherencia en la información contenida en los planos.
6	Obtención de mediciones	Usar modelos BIM con información clasificada y estandarizada, para garantizar un mayor grado de trazabilidad para las partidas que componen el Presupuesto
7	Generación de Infografías	Generación de información visual realista y renderizados para uso y promoción de los trabajos realizados
8	Simulaciones constructivas	Uso de los modelos BIM para realizar simulaciones constructivas que permitan reducir riesgos e incertidumbres en la fase de obra, y la elección de los sistemas y procesos óptimos y seguros.
9	Medio Ambiente	Obtención de la Huella de Carbono de la solución proyectada mediante el uso de los modelos BIM.
10	Análisis de Alternativas	En las fases tempranas del proyecto, se usarán los modelos BIM como herramienta de evaluación de alternativas propuestas garantizando una mayor visibilidad y capacidad de decisión de la alternativa óptima a desarrollar
11	Gestión RAMS	Uso de los modelos BIM como apoyo para los análisis de riesgos y gestión RAMS.

1.1 Aspectos clave en la implementación experimental BIM en DGIEC.

La implantación del entorno BIM en el ámbito de la DGIEC se sustenta en cuatro pilares fundamentales:

- Entorno experimental en el marco de los proyectos piloto
- Asistencia técnica especializada aplicada
- Definición de estándares y procedimientos
- Formación específica aplicada
- Mejoras tecnológicas

En el marco experimental de los Proyectos Piloto descritos anteriormente, desde DGIEC se impulsa la implementación BIM con carácter experimental. Sin embargo, conscientes de la falta de madurez del ecosistema y en virtud de la naturaleza tan específica de la materia que aborda esta metodología, se requiere imprescindible el asesoramiento por parte de expertos con el fin de enfocar de la forma más adecuada las necesidades en la fase inicial de este proceso. En este momento cabe señalar el apoyo de la Mesa BIM coordinada por el Instituto Valenciano de la Edificación en la que se encuentran representados agentes públicos y privados, y especialmente al personal técnico de Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana, precedente indiscutible en esta materia en el ámbito de la obra civil en la Comunitat Valenciana.

1.2 Fase proyecto.

La licitación de los contratos de servicio para la redacción de los proyectos piloto, sabiendo que la exigencia del uso de la metodología BIM no es un fin por sí misma, planteó asociarla a usos concretos y aprovechar la información resultante para alcanzar los objetivos perseguidos por la DGIEC, sin embargo, qué información concreta se requería y cómo denominarla, no fue definido. En tanto que esta concreción no fue posible por el nivel de madurez BIM de que se disponía, los pliegos de requisitos BIM incorporados en la licitación se plantearon de manera general en este aspecto.

Considerando la carencia de experiencia propia en la licitación y ulterior gestión de este tipo de proyectos en este entorno BIM y con la firme voluntad de explotar los resultados obtenidos hacia la sostenibilidad de las edificaciones resultantes, se requiere necesaria la contratación de un servicio técnico especializado que preste soporte y acompañamiento al personal técnico de este centro directivo con el fin de garantizar el éxito del uso de dicha metodología en las primeras licitaciones en las que va a implementarse en el marco del Plan Proyecto Piloto, así como los futuros contratos de obras asociados a las mismas.

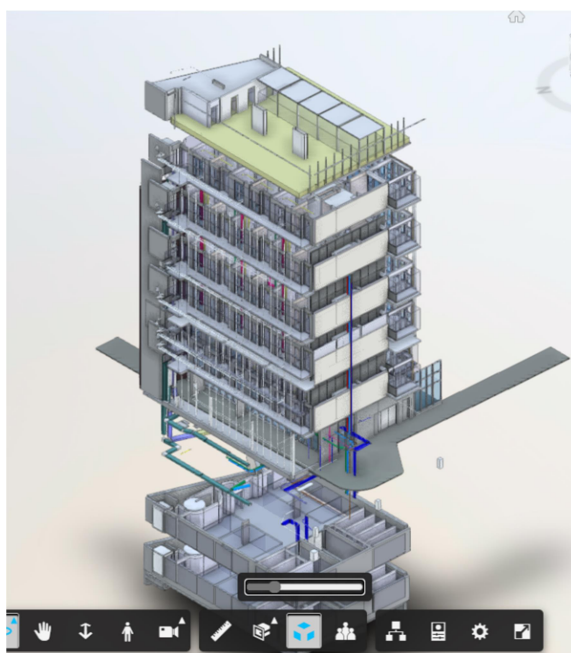


Fig. 2 Modelo ifc Piloto de València. Visor Periscope (2022)

Dicho contrato de asistencia permite contar con el apoyo técnico necesario para supervisar adecuadamente el cumplimiento de los requerimientos BIM, tanto en el contrato de servicios de redacción de proyecto como en el contrato de obras de los tres proyectos piloto, colaborando con el personal técnico de DGIEC en las fases de redacción de proyecto, ejecución de obra y ulterior gestión del edificio, como por parte de EVha.

La intención es poner el modelo también al servicio de las entidades responsables de trámites administrativos complementarios, como son la propia solicitud de licencia a los correspondientes ayuntamientos, o la solicitud de calificación provisional de vivienda de promoción pública a los servicios territoriales de vivienda de la Generalitat Valenciana.

La asistencia técnica será responsable de facilitar y guiar a la DGIEC en la implantación de esta metodología en el seno de este centro directivo apoyando entre otras, las siguientes cuestiones:

- Revisión y actualización de los requisitos de información de IDGIEC (EIR), plasmados en los pliegos de la licitación del contrato de servicios para la redacción del proyecto.
- Creación del estándar BIM inicial, cuya evolución será continua durante todo el proceso.
- Propuesta de un modelo de BIM Project Execution Planning (BEP) para la DGIEC, logrando un documento marco que proporcione un estándar común para la utilización del BIM en este centro directivo, que incluya la creación de Estándar BIM (Plantilla & BEP) y libro de estilo.
- La supervisión junto a los técnicos de DGIEC de trabajo realizado por el equipo de producción en la fase de redacción del proyecto, comprobando el correcto funcionamiento de los usos BIM del proyecto y el logro de objetivos.
- Asistencia para establecer de manera independiente los criterios de revisión, alcance pactado, estándares y procedimientos de trabajo.
- Generación los inputs necesarios para que el proceso BIM sea continuo y alineado a lo planificado en los BEP.
- Auditoría, revisión y validación conjunta con DGIEC el avance del proyecto y validación de los modelos.
- Configuración y seguimiento del entorno de datos colaborativo (CDE) e intercambio de información y modelos.

A continuación, se detallan los aspectos más significativos del proceso llevado a cabo hasta la fecha en la fase de redacción del proyecto.

En primer lugar, relacionado directamente con la usabilidad de los modelos para cumplir objetivos concretos, se procedió a definir las propiedades de los distintos elementos, sus valores admisibles y las fases en las que era necesaria su definición en el modelo, subsanándose así el problema asociado a la indefinición de los mismos en la licitación y la variabilidad de interpretaciones sobre cómo dar respuesta a los usos pretendidos.

PSet	Parámetro	Descripción	EE: Existente	AP: Anteproyeci	PB: Proyecto Bã	PE: Proyecto Ej	EO: Ejecución di	RE: Registro
GVA_Certificaciones								
GVA_Certificaciones	CER_Comentario	Comentario que servirá para las líneas de medición. Si hay varios valores separar por ";" co						
GVA_Certificaciones	CER_NumCertificacion	Número de certificación a la que pertenece (con dos dígitos 01..99). Si hay varios valores						
GVA_Certificaciones	CER_PorcentajeCertificado	Valor de 1 a 100 que representa el porcentaje ejecutado en la certificación actual. Si hay v						
GVA_Certificaciones	CER_RefCertificacion	Ruta para acceder a la documentación de la certificación actual. Si hay varios valores separa						
GVA_ControlCalidad								
GVA_ControlCalidad	COC_CertificadosCalidad	Ruta para acceder a los certificados de calidad						
GVA_ControlCalidad	COC_ControlCalidadModelosSupervisor	Ruta para acceder al informe de control de calidad del supervisor						
GVA_ControlCalidad	COC_Ensayos	Ruta para acceder a los documentos de ensayos						
GVA_ControlCalidad	COC_FichaTecnica	Ruta para acceder a la ficha técnica del elemento						
GVA_ControlCalidad	COC_Incidencias	Ruta para acceder al registro de incidencias en obra						
GVA_Localizacion								
GVA_Localizacion	LOC_ClasEspacioN1	Código de clasificación del espacio nivel 1 "GVAClass - ESPACIOS"						
GVA_Localizacion	LOC_ClasEspacioN2	Código de clasificación del espacio nivel 2 "GVAClass - ESPACIOS"						
GVA_Localizacion	LOC_ClasEspacioN3	Código de clasificación del espacio nivel 3 "GVAClass - ESPACIOS"						
GVA_Localizacion	LOC_ClasEspacioN4	Código de clasificación del espacio nivel 4 "GVAClass - ESPACIOS"						
GVA_Localizacion	LOC_ClasEspacioCodigo	Código de clasificación del espacio. Concatenación de los 3 primeros para Superficies Coi						
GVA_Localizacion	LOC_EsExterior	Indica si el elemento está ubicado para utilizarse en el exterior						
GVA_Localizacion	LOC_EsSobreRasante	Indica si el elemento está sobre la rasante						
GVA_Localizacion	LOC_EsDormitorio	Indica si el espacio, superficie útil, es un dormitorio						
GVA_Localizacion	LOC_SuperficieTipo	Indica si es un espacio para computar como superficie útil o construida						

Fig. 3 Ejemplo definición de propiedades

- Cabe señalar también la importancia de la puesta en marcha de un entorno de datos colaborativo (CDE), estableciendo las reglas para su funcionamiento y la estandarización que lleva aparejadas, incluyendo como novedad las particularidades que supone el proceso administrativo y el registro de la actividad contractual, tanto en fase de proyecto como en fase de dirección y control de obra. Este CDE pretende migrarse paulatinamente a "Teams" para aprovechar todas sus funcionalidades atendiendo a la reciente implantación de "Microsoft 365" como entorno de trabajo colaborativo en la administración regional valenciana. Este sistema ha favorecido la transición hacia un entorno de trabajo colaborativo sin precedente en la Generalitat Valenciana.
- Otro aspecto fundamental para llevar a cabo el control y la supervisión del proyecto es la comprobación de la calidad de los modelos generados a través de esta metodología, que permitirán cumplir los objetivos y usos requeridos. Los entregables correspondientes al proyecto, planos, memorias, pliegos, etc. deben ser extraídos del modelo BIM, lo que es necesario complementar con procedimientos de control apropiados.
- Un aspecto clave a destacar es el proceso de autocontrol de la calidad de los modelos impuesto a los redactores de los proyectos para cada una de las entregas, proyecto básico, proyecto de ejecución y proyecto final de obra a fin de poder dirigir la labor de verificación de la administración. En este sentido se facilita al redactor un checklist para que con carácter previo a cada entrega se evalúe el correcto desempeño en base a unos aspectos previamente establecidos, facilitándose así de manera significativa la labor de supervisión de la administración.

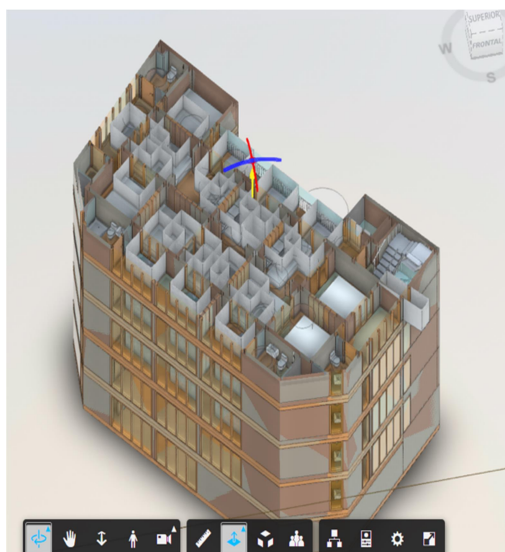


Fig. 4 Modelo ifc Piloto Alcoy. Visor Periscope (2022)

- En línea con el punto anterior se ha identificado la dificultad que supone, para personal sin grandes conocimientos en el manejo de modelos, comprobar aspectos muy concretos de su ámbito específico, por lo que se ha protocolizado el procedimiento de extracción de la información del mismo conforme a ámbitos concretos mediante tablas dinámicas de Excel, que pueden ser completadas mediante tablas de contenidos (datos extendidos).
- Por otro lado, se ha iniciado el desarrollo de instrumentos que permitan la integración del Pasaporte de Materiales del Edificio con el modelo BIM, favoreciendo la trazabilidad de los materiales empleados y su circularización en caso de que la vida útil del edificio finalizase como tal.

En cuanto a formación se refiere, gracias al soporte de la asistencia técnica se ha incrementado sustancialmente la capacitación técnica del personal a nivel de supervisión de proyectos en este entorno. La posibilidad de aplicar prácticamente los conocimientos adquiridos en la evolución de los tres proyectos permite afianzar estos aprendizajes y explorar múltiples posibilidades.

Finalmente, en cuanto a la mejora de soluciones técnicas cabe señalar que desde la DGIEC se ha trabajado en softwares abiertos tipo Open que no han requerido de licencias específicas, haciendo así que la calidad de la información fuera contrastable en cualquier caso y su control asequible para la propia administración.

La apuesta de la administración por este tipo de entornos basados en estándares abiertos de dominio público facilita el intercambio de datos con los diversos agentes involucrados en el proceso.

En cuanto al alojamiento seguro del modelo se refiere, uno de los principales obstáculos iniciales, se ha iniciado una intensa labor junto a la Dirección general de tecnologías de la información y comunicación para facilitar el adecuado alojamiento del modelo en entornos seguros, así como implementar herramientas y aplicativos de trabajo colaborativo en el marco de este entorno BIM.

2.2 Fase de dirección y ejecución de obra

Durante la fase de la licitación del contrato de obra es importante que aquello exigido en materia BIM durante la redacción del proyecto pueda verificarse y materializarse en la ejecución de la obra, por lo que no solamente es preciso hacer hincapié en los objetivos y usos perseguidos con esta metodología en la licitación, sino además determinar cómo los roles implicados en dicho proceso van a permitir verificar su consecución.

Los modelos BIM que se faciliten en la licitación del contrato de obras deben ofrecer la calidad necesaria, y establecer de manera definida los roles de los agentes implicados y sus respectivas responsabilidades en. Del mismo modo que sucede en la fase de redacción de proyectos, la evaluación de las garantías de cumplimiento de las prescripciones técnicas BIM determinadas por la DGIEC que ofrecen los licitadores es un aspecto clave para seleccionar a la empresa adecuada.

El papel de la Dirección Facultativa en el proceso de control y verificación de la actualización de los modelos BIM durante la fase de ejecución de las obras, es esencial y debe estar concretado desde el momento de su contratación. Por otro lado, el contratista de las obras debe contar con personal cualificado para poder cumplir con las exigencias del pliego de prescripciones BIM correspondiente, aplicando su propio plan de ejecución debidamente valorado por la DGIEC.

Entendiendo que uno de los objetivos principales de la implementación de la metodología BIM en esta etapa el control de las certificaciones de obra atendiendo a su incidencia en el control económico de la ejecución, en el cumplimiento del plan de ejecución y en la detección de posibles modificaciones, resulta fundamental establecer qué información y propiedades deberán completarse y/o actualizarse durante la construcción del inmueble en cada uno de los distintos elementos del modelo BIM, como realizarlo, por quién y con qué alcance. La definición del proceso y de las propiedades de cada uno de los elementos para posibilitar estas tareas y su control ha sido uno de los grandes logros.

En cuanto a la recepción de obra, con el uso correcto de la metodología BIM podrá disponerse de un modelo de información real y verificable de la obra terminada, capaz de ser transmitido a los agentes

implicados en su explotación y mantenimiento, y representativo del cumplimiento efectivo del contrato de obras. Por tanto, verificar que este objetivo se cumple es primordial para garantizar la eficacia y eficiencia de la administración.

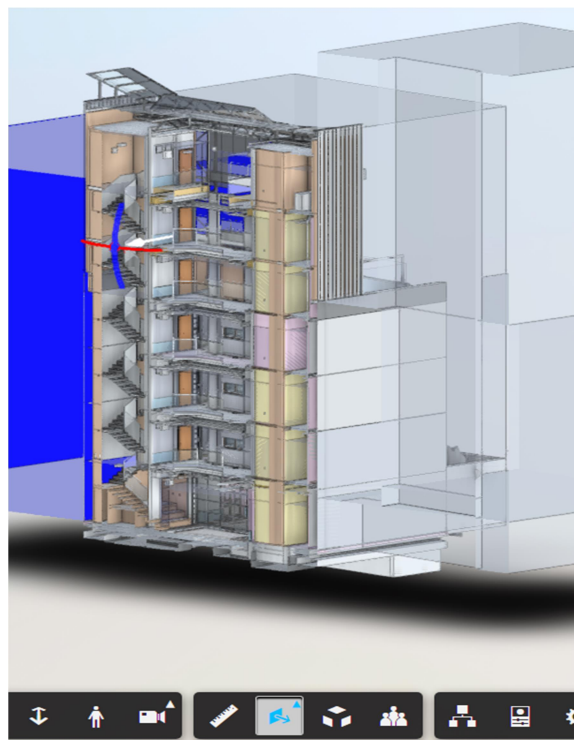


Fig. 4 Modelo ifc Piloto Castelló de la Plana. Visor Periscope (2022)

2.3 Retos de futuro. Fase de uso y explotación

En cuanto a la fase de uso y su consiguiente mantenimiento y gestión, desde la DGIEC se está colaborando con la Evha y la Dirección General de Patrimonio y Sector Público para la integración en el modelo de la información necesaria y suficiente que garantice la mejor gestión del parque público. Partiendo de una única base de información veraz, contrastable y actualizable, como la que brindan los modelos BIM resultantes, podrá plantearse un uso y mantenimiento del bien construido. En esta línea, experiencias como la de Alokabide en el País Vasco son un referente.

Disponer de la información final de obra debidamente ordenada y actualizada durante el proceso constructivo, recogida en los modelos BIM resultantes y en los documentos con él relacionados, permitirá a los usuarios de las viviendas o al ente que las gestione, no solamente conocer las condiciones para efectuar reparaciones o reformas, sino también cómo puede ser “deconstruido” el edificio para la posible reutilización de los elementos que lo constituyen.

Uno de los usos BIM, que aun sin estar recogido en el planteamiento inicial de los pliegos de la licitación se ha desarrollado en los modelos resultantes de los proyectos pilotos, es el de la gestión de espacios, de forma que de manera visual (3D) puedan localizarse aquellos de un determinado tipo dentro del edificio y/o extraer sus propiedades más representativas (superficie, volumen, ocupante,...).

Sin duda, uno de los grandes retos que se plantea es la recopilación de parámetros e indicadores que permitan verificar el cumplimiento de condiciones concretas. Esto será fundamental para poder evaluar el correcto desempeño de las estrategias de sostenibilidad aplicadas en este Pla Projecte Pilot.

3. Un ecosistema preparado. Estrategia de formación bonificada.

El carácter colaborativo del entorno de trabajo que supone la implementación de la metodología BIM implica que únicamente la transformación será posible en la medida en la que los diferentes agentes del sector se encuentren convenientemente preparados. Por este motivo, desde la Generalitat se ha optado por la

preparación de un ecosistema que pueda responder con garantías de calidad y sin limitación de concurrencia a los procesos de licitación en entorno BIM.

En este sentido, desde la Generalitat Valenciana se ha apostado por consolidar una estrategia de formación bonificada del sector que facilite la transición a este modelo. Desde DGIEC, se considera fundamental poder contar con un ecosistema lo suficientemente maduro que permita una compra pública de calidad y sin limitación de concurrencia que además incida positivamente en la mejora de la competitividad de los agentes del sector. Por este motivo, los esfuerzos se destinan tanto a potenciar un adecuado entorno tanto en el marco de la administración regional como fuera de ella.

Es imprescindible destacar que los resultados de la encuesta realizada a nivel nacional por el Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España en 2016 evidenciaban que el grado de implantación era considerado “bajo entre los estudios de arquitectura, sobre todo en oficinas de pequeño tamaño - 40%, de los estudios-, pero el nivel de satisfacción de los profesionales encuestados que han implantado el sistema es calificado como “alto”. Sin embargo, más de un 60% estaría dispuesto a formarse si se le ofreciera formación gratuita (CSCAE 2016).

Durante 2021, y como experiencia piloto de esta estrategia formativa del sector, se ha establecido un convenio de colaboración entre esta entidad y el Colegio Oficial de Arquitectos de la Comunidad Valenciana que ha permitido bonificar la formación de casi un millar de profesionales en diversos niveles gracias a una subvención de 200.000 euros. En el marco de esta cooperación interinstitucional se ha elaborado además un estudio diagnóstico de la percepción del colectivo sobre la implementación de los sistemas BIM que ha permitido conocer en profundidad el interés por la cuestión, el grado de implantación, la voluntad de transición y los principales obstáculos para acometerla.

Las conclusiones del análisis de esta experiencia han permitido una mejora de esta estrategia formativa que se extiende paulatinamente a otros colectivos y pretende continuar evolucionando para favorecer la sensibilización y competitividad de este sector. En 2022 a los Colegios de Ingenieros Industriales de la Comunitat Valenciana y al Consejo de Colegios de Aparejadores y Arquitectos técnicos de la Comunidad Valenciana.

4. Hoja de ruta hacia la digitalización BIM desde la administración valenciana.

La implementación de la metodología BIM en la Generalitat Valenciana toma un impulso definitivo con el compromiso de la Generalitat Valenciana de favorecer la digitalización del sector como transformación esencial para lograr los objetivos de descarbonización en el marco de una emergencia climática declarada institucionalmente por el Consell en 2019.

Si bien es cierto que desde organismos como Ferrocarrils de la Generalitat FGV ya se había avanzado notablemente en el ámbito de obra civil, en el área de arquitectura y desde la Generalitat como entidad responsable, apenas existía experiencia previa en procesos de licitación en entorno BIM y mucho menos en su gestión ulterior. Por otro lado, en cuanto a formación del personal técnico se refiere, desde 2018 se ha dado respuesta a un creciente interés por esta cuestión y desde el Instituto Valenciano de Administración Pública se ha ofrecido formación de iniciación en este sentido.

Por otro lado, desde el Instituto Valenciano de la Edificación se había iniciado la participación como socios en diversos proyectos europeos como BIMplement (Horizon2020) que ha permitido la incorporación de un catálogo BIM de elementos constructivos en el marco de la base de precios IVE, referente en la contratación pública de la Generalitat, o los proyectos en proceso BEEP (ENI CBC MED Programme) enfocado a la rehabilitación energética de patrimonio arquitectónico público e INFINITE (Horizon2020) sobre envolventes industrializadas.

En 2020 se licitan las tres primeras actuaciones de vivienda pública sostenible e innovadora en el marco del Plan Projecte Pilot, experiencia pionera en la Generalitat Valenciana de compra pública de diseño, ejecución y gestión en entorno BIM. El carácter experimental de estas intervenciones descritas previamente ha permitido ensayar y evaluar el proceso, de cuyo exhaustivo análisis se está obteniendo valiosa información

que permitirá soslayar las principales dificultades barreras a salvar para su implementación definitiva. Además, estos demostradores están permitiendo visibilizar el potencial de este entorno de trabajo colaborativo facilitando unos imprescindibles referentes para ejemplarizar esta transición.

Así pues, en octubre de 2021 se celebra junto a la Conselleria de Hacienda y Modelo Económico la jornada "BIM. An opportunity for public administrations to be more sustainable" en el marco de la XIX Semana Europea de las Regiones impulsada por el Comité de las Regiones (CoR). Esta jornada se convierte en un espacio de aprendizaje y diálogo participativo para compartir y trazar la hoja de ruta de este imprescindible proceso de digitalización hacia la sostenibilidad de nuestro entorno construido y como mecanismo para promover la competitividad verde del sector. En esta sesión interregional, la Comunitat Valenciana propone como regiones invitadas al Catalunya (Infraestructures, Generalitat de Catalunya) y País Vasco (Alokabide, Gobierno Vasco) y, que compartieron sus avances al respecto en materia de arquitectura e infraestructuras y gestión de parque de gestión de parque de vivienda público respectivamente.

En la segunda parte de la jornada se contó con una nutrida mesa de debate en la que se encontraban representados a los principales agentes del sector de la Comunitat Valenciana y en la que participaron activamente los asistentes presenciales y telemáticos (más de 300). Durante la sesión se hicieron servir herramientas de gestión de información y recogida de datos tipo Mentimeter que permitieron no sólo dinamizar el debate sino recabar y visualizar en directo las principales bondades de esta transición hacia un entorno BIM, así como las principales barreras detectadas.

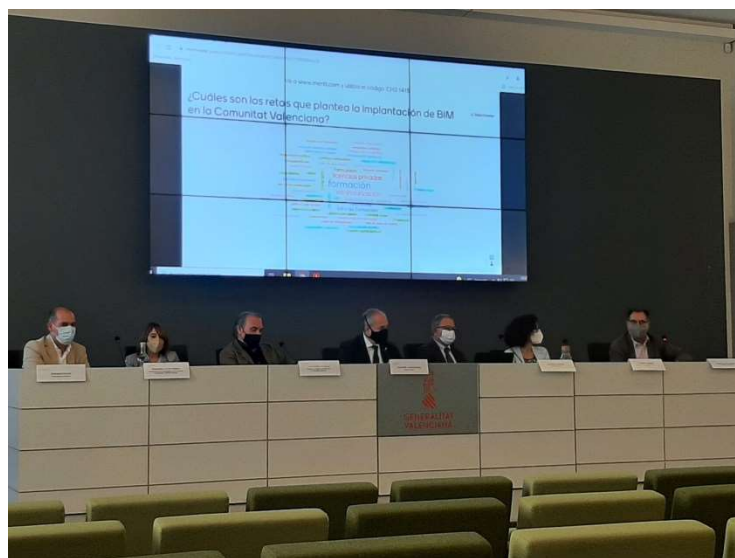


Fig. 4 Imagen jornada Digitalización para la Sostenibilidad. GVA (2021)

Esta jornada se considera un hito que detona que, en enero de 2022, en el Seminari de Govern d'Hivern el Consell proponga como objetivo del Consell la implantación BIM en la Generalitat Valenciana. Este reto compartido entre la Vicepresidencia Segunda y Conselleria de Vivienda y Arquitectura Bioclimática t la Conselleria de Hacienda y Modelo Económico es el catalizador definitivo y permite iniciar acciones definitivas que cristalizarán en una implantación definitiva a medio plazo.

Si bien en la Comunitat Valenciana no se ha producido un mandato BIM como tal, la estrategia de digitalización BIM de la Generalitat Valenciana avanza preparando al sector y contempla cuestiones de marcado interés como la agilización de la contratación de perfiles específicos en entorno BIM mediante convenios marco, la creación de una mesa interdepartamental en el seno de la administración o la futura mesa técnica junto al sector. Además, se han trasladado instrucciones y documentación base para la incorporación de BIM en los procesos de compra pública de infraestructuras arquitectónicas vinculados con Fondos Europeos procedentes del Mecanismo para la Recuperación y la Resiliencia (MRR) favoreciendo

una mejor justificación de dichos fondos como tractor. En este sentido se crea además un equipo de trabajo colaborativo en el entorno de Teams de Microsoft 365 de la Generalitat Valenciana a través del cual favorecer la disponibilidad de información actualizada en cuanto al proceso y la documentación específica se refiere, así como píldoras de formación específica.



Fig. 6 Imagen equipo de trabajo colaborativo BIM. Estrategia GVA (2022)

5. Conclusiones.

Desde 2020, la estrategia de digitalización hacia un entorno de trabajo colaborativo BIM en la Generalitat Valencia toma un impulso definitivo de acuerdo a las directrices europeas establecidas en materia de contratación pública ecológica y transición hacia una economía circular.

En 2022, ya como un objetivo específico del Consell, y gracias al apoyo de la Conselleria de Hacienda y Modelo Económico, se insta a que los procesos de compra pública de arquitectura (tanto de nueva planta como de rehabilitación) y especialmente aquellos asociados a fondos procedentes el Mecanismo de Recuperación y Resiliencia cuya vocación es precisamente la transformación del sector.

El proceso establecido para definir el modelo de implementación se basa en la escalabilidad de la experimentación aplicada a los tres proyectos de vivienda pública en el marco del Pla Pilot. La tarea desarrollada en los últimos años ha permitido detectar las principales barreras del proceso entre la que cabe destacar especialmente la imprescindible formación específica (upskilling/reskilling) de los profesionales del sector tanto pertenecientes a la administración como fuera de ella, así como la incorporación de mejoras tecnológicas relativas a procesos y aplicativos.

En este momento, puede señalarse que los indicadores de evaluación del proceso ponen de manifiesto el potencial que supone la incorporación de esta metodología en las diferentes fases del proceso ya experimentadas. La posibilidad de incorporar a los modelos la información necesaria para la trazabilidad de materiales empleados o el cálculo de huella de carbono embebida ejemplifican la estrecha relación que existe entre la digitalización de los procesos y la descarbonización del entorno construido permitiendo nuevas oportunidades hacia la transición ecológica que el empleo modelos tradicionales no habría podido permitir.

6. Agradecimientos

El equipo redactor de la presente contribución agradece expresamente a la Generalitat Valenciana el respaldo institucional y técnico en este proceso de transición hacia un entorno de trabajo colaborativo BIM promovido desde la administración regional. En particular, manifiesta su agradecimiento a la Vicepresidencia Segunda y Conselleria de Vivienda y Arquitectura Bioclimática, y especialmente a la

Secretaría Autónoma de Arquitectura y Sostenibilidad Energética, y a la Conselleria de Hacienda y Modelo Económico y en particular a la Dirección General de Sector Público y Patrimonio, a la Junta Superior de Contratación Administrativa de la Comunidad Valenciana y a la Dirección General de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

Asimismo, desde DGIEC se agradece la colaboración de los equipos adjudicatarios de los contratos de servicios de redacción de proyectos y dirección de obra de los tres proyectos piloto su colaboración en el trabajo desarrollado en este entorno.

Referencias

CBIM. Comisión BIM (2022). *¿Qué es BIM?*. Disponible en <https://cbim.mitma.es/>

COMISIÓN CONSTRUIMOS EL FUTURO (2021). *Guía para la implementación de BIM en la licitación pública*. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña ITeC. Disponible en <https://docs.itec.cat/e/Guia-de-Licitacion-BIM-ESP-junio2021.pdf>

CSCAE. Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España (2016). *Resultados de la Encuesta CSCAE sobre implantación de sistemas BIM*. Disponible en https://www.cscae.com/images/stories/BIM/Resultados-encuesta-BIM_v8-imagenes.pdf

ECOSO. European Construction Sector Observatory (2019). *Informe de la Comisión Europea de Marzo de 2019*. Disponible en <https://ec.europa.eu/docsroom/documents/34518>

MITMA. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2021). Anteproyecto Ley de calidad de la Arquitectura. Disponible en https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/audienciainfopublica/recursos/anteproyecto_de_ley_de_calidad_de_la_arquitectura_audiencia_publica.pdf



DIGITAL TWIN EN LOS SMART VILLAGE: PRIORIZANDO LAS INFRAESTRUCTURAS PARA ASEGURAR UN ENTORNO SOSTENIBLE MEDIANTE COBIE. PRÁDENA DEL RINCÓN, CASO DE ÉXITO

Guillermo-Ramírez, Carlos Gilberto^a

^aArquitecto – Madrid, España y guilcarlos@gmail.com

Abstract

Prádena del Rincón, a municipality in the north of Madrid, is evolving to become a smart town through two areas of work: the participation of the local community and the use of new technologies. The first refers to favouring the work known as GREEN JOBS, such as agriculture, manufacturing, R&D and administrative tasks aimed at environmental sustainability.

In terms of the use of new technologies, a point cloud has been created using Reality capture to create a digital twin with the town planning information and generating guidelines for the classification and coding of the town council's information, for the structuring of the data managed in it, using relational databases (COBie). One of the objectives is the digitalisation of the town.

On that basis, eco-design and road improvements are also proposed, reaping the benefits of a circular economy, aimed at improving services and the use and development of energy sources.

For the period 21-22, we hope to introduce cycle lanes, ecofriendly street furniture for the beautification of the village and intelligent car parks with vehicle recharging points, as well as completing the digitalisation of the village including the sensorisation of infrastructures.

Keywords: *Digital Twin, COBie, Urban planning and management, Green Jobs, Environment, Smart Village, circular Economy, Prádena del Rincón*

Resumen

Prádena del Rincón, municipio del Norte de Madrid, está evolucionando para convertirse en un pueblo inteligente, mediante dos vertientes de trabajo: la participación de la comunidad local y el uso de nuevas tecnologías. El primero hace referencia a favorecer los trabajos denominados GREEN JOBS, de tipo agricultura, manufactura, I+D y labores administrativas encaminadas a la sostenibilidad del medio ambiente.

En cuanto al uso de nuevas tecnologías, se he realizado una nube de puntos utilizando el Reality capture para crear un gemelo digital con la información urbanística, generando unas directrices de clasificación y codificación de la información del ayuntamiento, para la estructuración de los datos que se gestionan en él, mediante bases de datos relacionales (COBie). Uno de los objetivos es la digitalización del pueblo.

Sobre esa base se proponen también, el ecodiseño y mejoras en las vías, obteniendo los beneficios de una economía circular, encaminada a la mejora de los servicios y al aprovechamiento y desarrollo de las fuentes de energía.

Para el período de 21-22, esperamos introducir carriles bici, mobiliario urbano ecofriendly para embellecimiento del pueblo y parkings inteligentes con puntos de recarga de vehículos, así como terminar la digitalización del pueblo incluyendo la sensorización de las infraestructuras.

Palabras clave: *Digital Twin, COBie, Planificación y gestión Urbana, Green Jobs, Medio ambiente, Smart Village, Economía circular, Prádena del Rincón.*

Introducción

Pacto Verde europeo, política agrícola común, pueblos inteligentes, economía circular. Estos términos anuncian una nueva conciencia del cuidado del medio ambiente y algunas estrategias para conseguirlo que propone la UE.

El antiguo modelo de sobreexplotar los recursos naturales, fabricar, usar y desechar, ha puesto en riesgo la disponibilidad de las materias primas, el agua, la energía y la biodiversidad y traído como consecuencia la acumulación de residuos, sustancias tóxicas y desperdicios. Este modelo, denominado de economía lineal, debe cambiar al de economía circular, basado en la reutilización, la recuperación y el reciclaje, entre otras prácticas para instaurar un planeta más respetuoso con el medio ambiente y sostenible.

Por otra parte, la pandemia del COVID-19, ha devuelto la importancia a los espacios al aire libre y a los entornos limpios y la descentralización de las oficinas gracias a las TIC, reavivando el interés por las zonas rurales y los pueblos. Muchos “ciudadinos”, han visto la necesidad de una vivienda en estas áreas, sobre todo tras la vivencia del confinamiento.

Las zonas rurales en la UE enfrentan varios retos: el envejecimiento de sus habitantes que condiciona una disminución de las personas en edad laboral; escasez en el mercado de trabajo a nivel local y la propia despoblación, además de carencias a nivel de las infraestructuras y en los servicios públicos, entre ellos la digitalización que genera la denominada brecha y factura digital.

Enmarcado en esta situación, el pueblo de Prádena del Rincón se ha propuesto modernizarse para ofrecer mejores condiciones de vivienda y asegurar la disponibilidad de servicios. Esta propuesta tiene como punto de partida el desarrollo de tres unidades de ejecución y la actualización de una cartografía del pueblo que data de 1994, recurriendo a una nube de puntos que permite tener un repositorio de datos, y sobre él, realizar el modelado en REVIT 3D de los activos y la codificación de la información referente a los mismos con base en el sistema OMNICLASS y la ISO 19650, a través de una base de datos relacional (COBIE). El objetivo principal es obtener un gemelo digital del municipio, con fines de gestión de activos sobre las infraestructuras del pueblo.

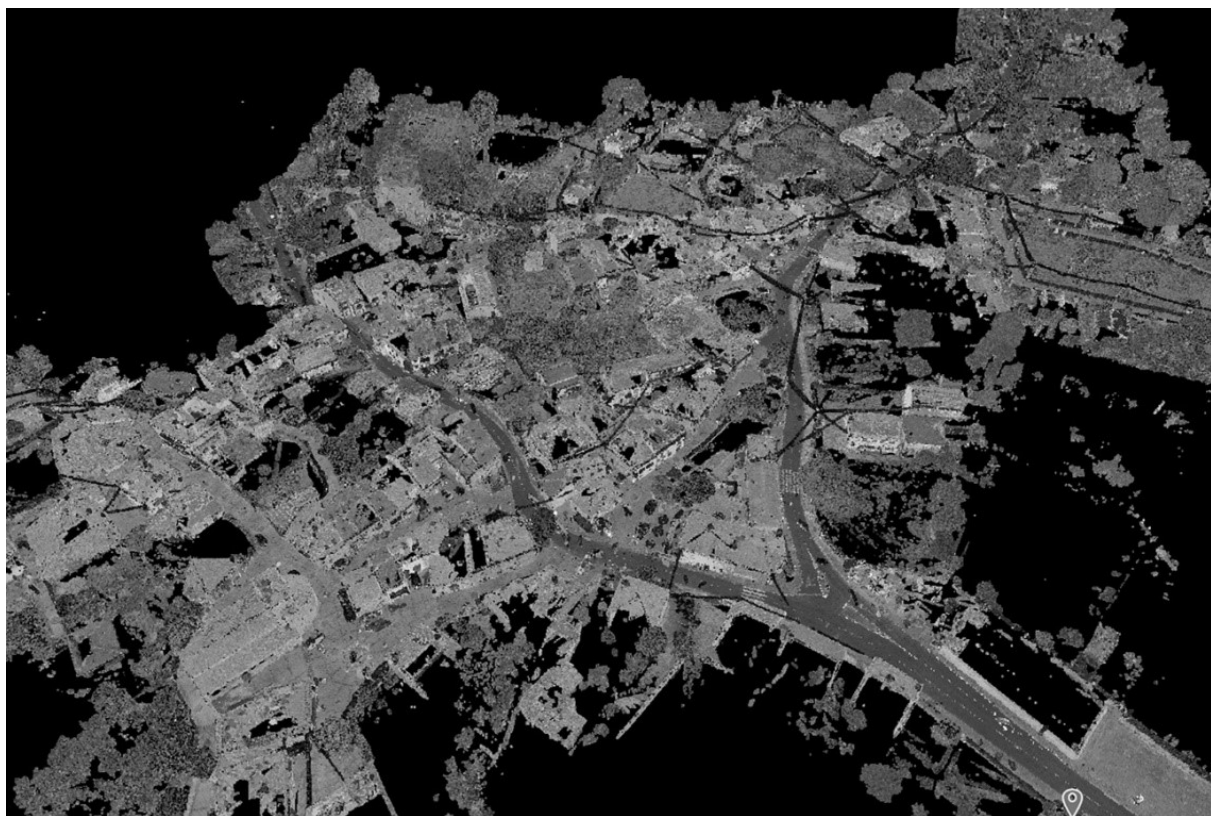


Fig. 1 Escáner Prádena del Rincón

1. Prádena del Rincón: planteamiento del problema

Prádena del Rincón es un pueblo de la vertiente norte de la Sierra de Madrid, a 80 km del centro de la capital, que hace parte de la reserva de la biosfera. La actividad económica de la población se soporta en un 52.6% en la agricultura, un 12.8 % en la industria y el resto en servicios.

Este proyecto tuvo su origen en octubre de 2020 ante el requerimiento del desarrollo de tres unidades de ejecución y de la necesidad de la remodelación y actualización de la cartografía urbana. Se realizó un primer análisis de la situación real de Prádena y se plantearon posibles soluciones a problemas urbanísticos, siendo conscientes de que desde la aprobación de las Normas Subsidiarias (NNS), habían pasado ya 26 años, con todas las modificaciones que esto conlleva a nivel urbanístico y de infraestructuras.

Este momento, estuvo enmarcado en la 3^o-4^o ola de la pandemia, que abrió los ojos a mucha gente de las bondades de vivir en un entorno rural, y a los ayuntamientos, de la necesidad de la modernización de las TICs (Tecnología de la Información y la Comunicación), si se quería hacer parte del mapa. Con esa situación sobre la mesa, se estableció el objetivo principal: hacer de Prádena del Rincón un smart village, un pueblo inteligente.

1.1 Cartografía

La cartografía de la que se parte al inicio del proyecto es la de 1994, de donde sólo se pudo extraer la ubicación de las tres unidades de ejecución, ya que se acoge al catastro virtual, que es una foto aérea cuyo el nivel de precisión no es muy bueno. La cartografía en la que se está trabajando, pretende ser una herramienta de trabajo diario fiable y más preciso, al cual se pueda asegurar un acceso fácil, iterativo y universal.

Además de la cartografía, se elaborará un PDF interactivo con el fin de tener las fichas urbanísticas según la zona y la normativa que le corresponde. De esta manera se crea un repositorio de datos y a la vez, fuentes de ingreso para el Ayuntamiento, ya que estos son los datos que inicialmente se requieren para realizar los estudios de parcelas para proyectos.

1.2 Unidades de ejecución

La unidad de ejecución 1 (UE1), tiene una superficie total de 3750m², de los cuales 3225 m² son residenciales y los restantes 525 m², de uso viario. En ella existen varias edificaciones construidas en el perímetro central de Prádena, creando una barrera urbana que data de 1982, previo a la aprobación de las normas subsidiarias de Prádena del Rincón, tiempo en el cual el municipio no contaba con una regulación de normativas para controlar el crecimiento urbano en las parcelas existentes que permitiera asegurar la conexión adecuada de la nueva urbanización con las redes de infraestructuras, comunicaciones y servicios públicos. Por esta razón, se han marginado parcelas interiores sin acceso vehicular ni peatonal, lo que les deja en situación de aislamiento. Para solucionar esta situación se requiere crear una junta de compensación para lo que la cartografía previa con la que cuenta el Ayuntamiento no es adecuada.

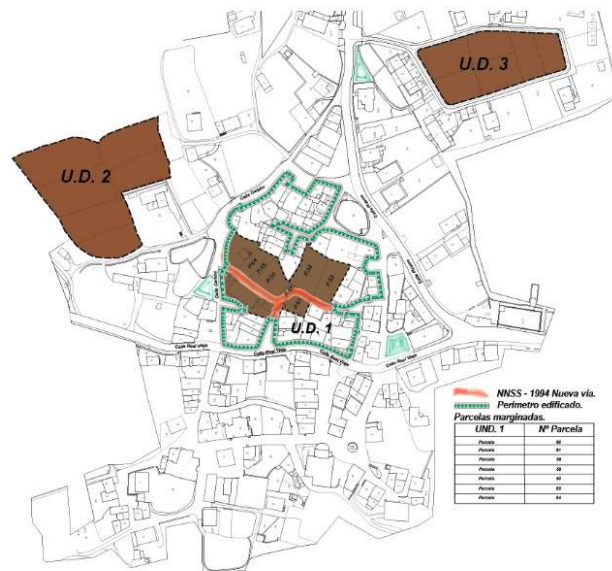


Fig. 2 Cartografía nueva tres unidades de ejecución de Prádena del Rincón

La unidad de ejecución 2 (UE2), cuenta con una superficie total de 5435 m², residenciales 4715 m² y viarios 720 m², con capacidad para 6 viviendas. La unidad de ejecución 3 (UE3), tiene una superficie total de 15412 m², residenciales 13212 m² y viarios 2200 m², con capacidad para 16 viviendas. Ambas están todavía por desarrollar. Se requieren planos actualizados del terreno para poder plantear las primeras soluciones urbanísticas. Aunque actualmente al LOE obliga al estudio topográfico del terreno a urbanizar, y no se puede obviar ese requerimiento, el escáner 3D permite hacer una aproximación con una diferencia estimada de un centímetro.

1.3 Geolocalización de edificaciones problema

Tras un análisis inicial, se identifican problemas en dos tipos de edificación que son catalogadas según el estado de conservación como ruina o las que son susceptibles de mejora. Entre los primeros están los pajares que se utilizan para guardar la leña; son edificaciones bastante deterioradas, susceptibles de ser derribadas y construir una vivienda nueva. Por otro lado, el boom inmobiliario en zonas rurales producido por la pandemia, ha generado un encarecimiento de la tierra, de manera que pajares deteriorados se comercializan a precios elevados que hacen casi imposible su venta y como consecuencia se perpetúa su situación. El principal objetivo con respecto a los pajares es poderlos geolocalizar en una cartografía actualizada, para controlar el crecimiento del pueblo.

De otra parte, existen viviendas que están fuera de ordenación urbana, construidas antes de las NNSS fuera de normativa; el plan es localizarlas, rehabilitarlas y darle uniformidad al pueblo.

Así pues, demoliendo los pajares y rehabilitando las otras viviendas se pretende aumentar el número de viviendas del pueblo asegurando condiciones óptimas para su habitabilidad.

1.4 Casco Histórico

Uno de los objetivos secundarios de este proyecto es el embellecimiento de Prádena, a través de la uniformidad estética del pueblo y destacando elementos representativos como los bancos típicos, las fachadas de piedra, la Iglesia de Santo Domingo, catalogada como bien de interés cultural (BIC). Es de anotar que, como BIC, se exige adecuar las viviendas que están en el perímetro de la iglesia, rehabilitar y asegurar esa ornamentación que se comenta.

Se promueven, por ejemplo, proyectos como parques bio-saludables, compuestos por mobiliario hecho con material reciclable que se regenere y no se degrade.

2. El proyecto

En sintonía con las directrices de la Unión Europea respecto al pacto verde, Prádena trabaja en su transformación en pueblo inteligente mediante dos vertientes: la participación de la comunidad local y el uso de nuevas tecnologías. El primero hace referencia a favorecer la economía circular y las labores encaminadas a la sostenibilidad del medio ambiente; el segundo engloba diversas herramientas tecnológicas para el desarrollo urbano.

Tras el análisis de los problemas urbanísticos de Prádena, se plantea la reconstrucción digital del pueblo mediante la obtención de un repositorio de datos geométricos resultado de un escaneo 3D. Posteriormente se planea elaborar un modelo REVIT-3D, que se parametrize y reproduzca un gemelo digital que permita elaborar un IFC de los activos, garantizando el mapeo y disponibilidad de la información pertinente para cada activo durante su ciclo de vida.

2.1 Economía Circular

“Hoy vivimos en un mundo más peligroso que el de 1992, con más gente, más consumo, más desperdicio y más pobreza, pero también con menos biodiversidad, menos bosques, menos agua potable, menos suelo y menos capa de ozono”. (Mathis Wackernagel, 1997). Se están disponiendo de los recursos naturales consumiéndolos a tal velocidad que la tierra es incapaz de regenerarlos. Además, la población mundial, teniendo en cuenta las previsiones de la ONU en su informe de las perspectivas de la población mundial, será para el 2030 de 8500 millones de personas y 9700 y 11200 millones para el 2050 y para el 2100, respectivamente. Esto pone de manifiesto que la carestía será cada vez mayor con todo lo que conlleva este aumento: necesidad de mayor poder adquisitivo, mayor demanda de energía, mayores núcleos urbanos, entre otros.

La economía circular pretende cambiar el modelo lineal de usar y tirar por uno que imite o se asemeje, lo más posible, al sistema circular, es decir, optimizar los recursos que se necesitan y disminuir los residuos. Se pretende que los productos estén siempre circulando, no sólo ampliando su vida útil sino consiguiendo que, tanto durante esta como una vez que se acabe, sirva para generar nuevos productos, evitando extraer grandes cantidades de recursos naturales, evadiendo la dependencia de unos recursos que se agotan.

Prádena, basada en la economía del rendimiento, persigue tres objetivos fundamentales: la extensión de la vida del producto, las actividades de reacondicionamiento y la prevención de residuos.

Dentro de estos objetivos, Prádena busca una sociedad sostenible que descansa en 3 pilares: la conservación de la naturaleza mediante el Proyecto de Recuperación Forestal WWF y Riego de Huertos “Reguera”; la Ecología social, con el programa de desempleados de larga duración y la Ecología cultural, promoviendo el programa “Raíz - Educación e interpretación Ambiental”, un modelo de autoempleo con el doble objetivo de poner en valor los paisajes culturales de la Sierra del Rincón y de vinculación con este territorio.

2.2 Herramientas tecnológicas

2.2.1 Reality Capture

Es un software de fotogrametría que permite, a partir de escaneos láser automáticos, recrear proyecciones de realidad virtual y ha permitido conectar en los últimos años, el mundo real con el mundo digital. Genera imágenes de alta resolución que permiten digitalizar el entorno de manera sencilla, rápida (tasa de medición de hasta 2 millones de puntos por segundo y sistema de imágenes HDR avanzado, con creación de nubes de puntos 3D en color que puede completarse en menos de 2 minutos), precisa (nivel de precisión angular

de 18", precisión del alcance 1,0 mm + 10 ppm; precisión de puntos 3D 1,9 mm @ 10 m; 2,9 mm @ 20 m y 5,3 mm @ 40 m) y fiable (Nivel de ruido 0,4 mm @ 10 m; 0,5 mm @ 20 m).

En cuanto a planos, mediante el Reality Capture, se puede renovar toda la cartografía, sacar las alineaciones, y las mediciones In Situ. También permite crear planos de clasificación de suelos.

En el caso particular de Prádena, el escaneo del pueblo entero llevo una semana de trabajo en terreno y otra para obtener la nube de puntos. Se requirió de dos operarios y un técnico del software.

En cuanto a las unidades de ejecución, ha servido para poder delimitar cada una de las unidades, crear una planificación para presentar varias propuestas para urbanizar las diferentes unidades y posteriormente presentarlas al Ayuntamiento de Madrid para su aprobación. Además, al obtener la realidad capturada en soporte informático, se puede crear una junta de compensación con propuestas claras y visibles para los propietarios.

Respecto al repositorio de datos, ha servido para la realización de los planos de fachada de las viviendas que han solicitado las subvenciones del plan de rehabilitación urbana del municipio, que constituyen un documento imprescindible para este trámite, sin la necesidad del desplazamiento del personal al sitio donde están ubicadas y con un LOD500.

Otro proyecto que se tiene, apoyados en el Reality Capture, es soterrar toda la red eléctrica del pueblo ya que facilita identificar, medir y controlar las líneas eléctricas actuales.

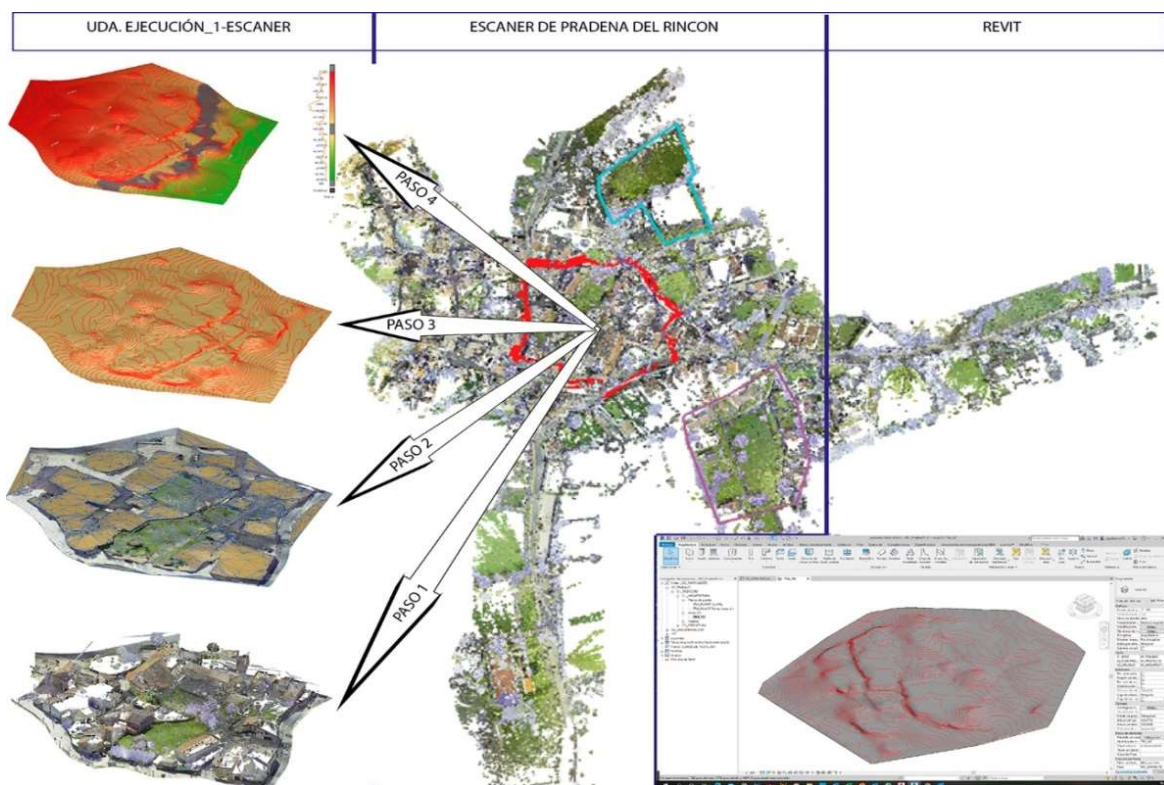


Fig. 3 Unidad de ejecución 1 proceso de Digitalización desde la Nube de Puntos a Revit

2.2.2 COBie

La estandarización y estructuración de equipos, mobiliarios e instalaciones se realiza mediante las tablas COBie. Este es un sistema capaz de definir los componentes, propiedades y atributos de los elementos a estudio, con el fin de crear un formato de intercambio de información enfocado a entregar datos de activos. La utilidad y fiabilidad de este sistema queda demostrado por la obligatoriedad de su uso en Estados Unidos desde 2012.

El escáner 3D genera un repositorio de datos que sirve para localizar y dimensionar espacios de mejora y puntos problema susceptibles de remodelación y/o rehabilitación. Se parte de la nube de puntos para

elaborar un modelo REVIT en el que se crean y se parametrizan familias que se gestionarán en una base de datos. La codificación de los parámetros obtenidos mediante OMNICLASS o la ISO 19650 será utilizado para elaborar un archivo de datos relacional mediante COBIE, que pueda ser usado por el personal del Ayuntamiento en forma de una hoja Excel.

Ejemplos concretos y a corto plazo en los que se está trabajando actualmente en Prádena, son los columbarios y varios puntos limpios. Sobre la nube de puntos, se ha localizado el sitio donde pretenden ser ubicados. El escáner ha permitido limitar ese espacio, mediante una definición geométrica con un detalle de LOD500. A partir de esos datos, se ha elaborado un modelo en REVIT parametrizado y se han obtenido las mediciones que ha permitido la construcción de estos espacios. Se está trabajando para codificar los diferentes componentes de cada uno de estos espacios según las tablas de OMNICLASS, a saber: Servicios, elementos, productos, fases, materiales, propiedades, etc.; asignando a cada uno un número según el título (por ejemplo, los contenedores de basura, según la tabla 23 de productos de OMNICLASS, corresponderían al número 23-39 45 27 13). Posteriormente, esa información se organizará en una base de datos COBIE relacionando ese código con datos de contacto, instalaciones, espacio, zona, componentes, fungibles, recursos, documentos y atributos entre otros, correspondientes a la gestión de la vida útil de cada activo.

En el caso particular de Prádena del Rincón, los puntos limpios existentes, eran de tipo neumático y representaban para el Ayuntamiento un elevado costo de mantenimiento que resultaba difícil de asumir, por lo cual se ha vuelto a puntos limpios tradicionales que juntamente con el empleo de materiales kilómetro 0, el favorecimiento de la construcción sostenible y la educación ciudadana en reciclaje, benefician económicamente al pueblo y promueven la economía circular.

2.2.3 Digital Twin (DT)

El gemelo digital es una tecnología que comúnmente se define como un modelo virtual de un proceso, producto o servicio, que utiliza sensores para proporcionar datos en tiempo real mediante la integración de Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial y software de analítica de información. Los datos recopilados pueden entonces ser usados para crear un gemelo que sea capaz de predecir de forma precisa cómo esos procesos, productos o servicios se comportan, con el objetivo de evitar consecuencias negativas (Moreno, 2021).

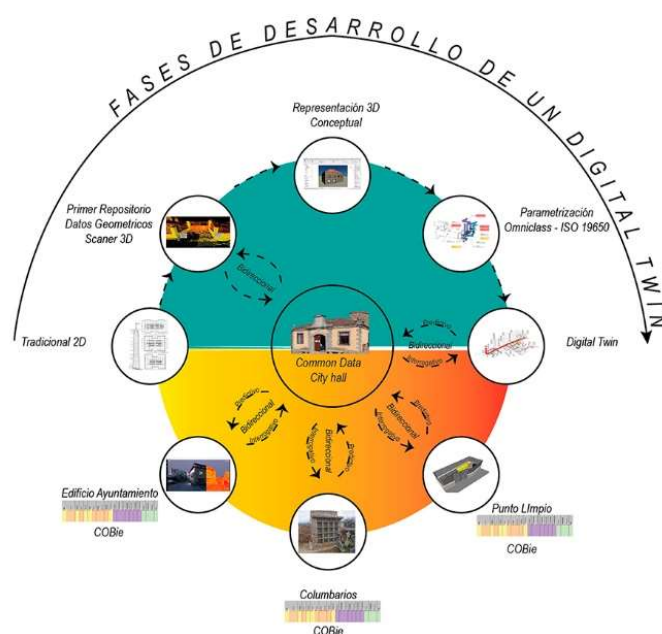


Fig. 4 Fases de Digital Twin

A nivel urbanístico y de construcción, los gemelos digitales son representaciones virtuales del mundo real que pueden variar en el nivel de detalle y en su propósito: pueden tomar información del espacio físico y enriquecer el espacio virtual o existir antes de construir el modelo físicamente, es decir digitalizarlo y operarlo virtualmente previo a elaborarlo en el mundo real. Es de anotar que el DT no debe estar circunscrito a la obra nueva y más en el momento actual, en el que Europa con las iniciativas de los fondos europeos, pretende bajar los niveles de CO2 gestionando renovaciones urbanas a grandes escalas, intentando activar una renovación en masa. Esto obliga a centrarse en el activo ya construido y a establecer fases DT como son:

- Recopilación de información mediante el Reality Capture para obtener un LOD 500.
- Prototipo Gemelo Digital (DPT), Diseño y Construcción.
- Instancias del Gemelo Digital (DTI), Operaciones y Mantenimiento.
- Agregado del Gemelo Digital (DTA), Plataformas y Proximidad Física a los Activos.
- Entorno del Gemelo Digital (DTE), Interrogativo y Predictivo.

Aplicando estas premisas al modelo de Prádena del Rincón, se establecen dos propósitos principales a mediano plazo:

- Predictivo: Utilizar el DT para predecir el comportamiento de la unidad de ejecución 1, mediante una junta de compensación donde se establezcan claramente los límites para una solución de acceso vehicular y peatonal viable según las NNSS. Por otro lado, sobre las unidades de ejecución 2 y 3, dado que no están aún construidas, permitirá estructurar y clasificar los datos para predecir el buen comportamiento de las unidades con fines de mantenimiento predictivo y correctivo.
- Interrogativo: Interrogando las instancias del gemelo digital (DTI), para obtener los valores actuales y los históricos.

Adicionalmente y en fases posteriores, se propone implementar la sensorización de las infraestructuras para realizar análisis energéticos y así conseguir la optimización de recursos para apoyar la transición hacia la neutralidad climática, tal como lo plantea la rúbrica 3 del proyecto de *NextGenerationEU* de la Unión Europea.

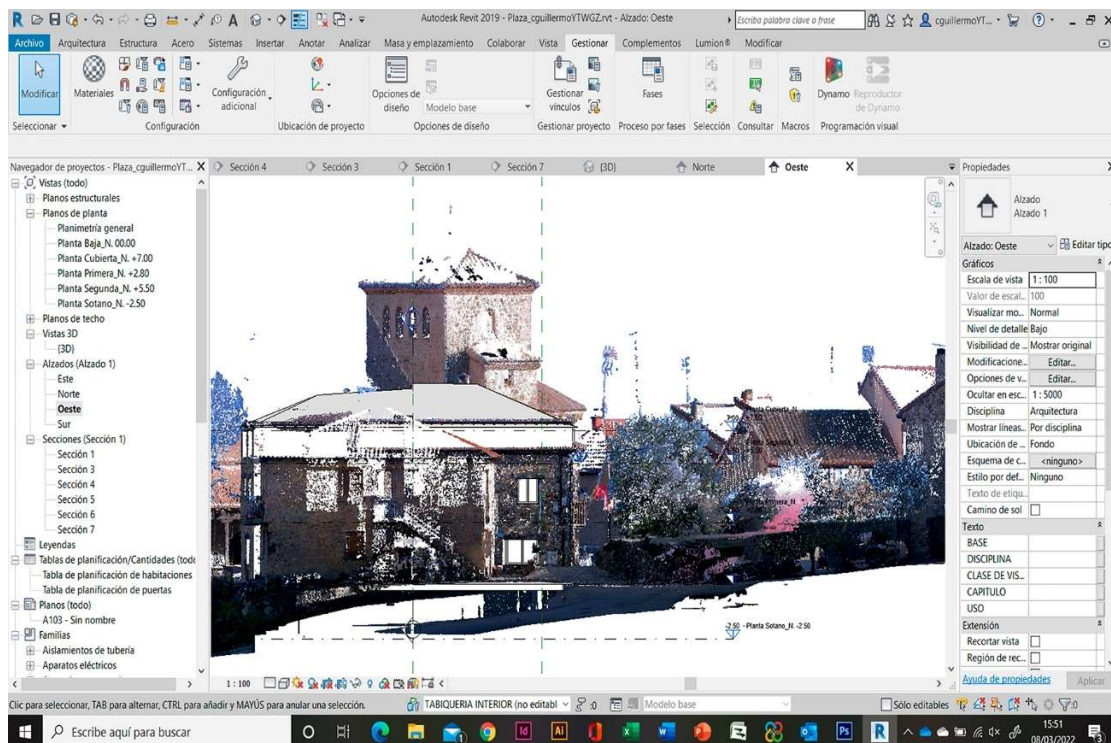


Fig. 5 Prototipo Gemelo Digital (DPT)

3. Pueblos inteligentes (Smart Villages)

Según las directrices de la Unión Europea, los pueblos inteligentes tienen dos vertientes de trabajo: la participación de la comunidad local y el uso de nuevas tecnologías.

En el caso de Prádena del Rincón, se ha implicado a la comunidad realizando actividades de educación y divulgación incluyendo, por ejemplo, talleres infantiles de verano para conocer y respetar el ecosistema del pueblo, se han diseñado nuevos puntos limpios, con materiales kilómetro cero, es decir, de proximidad; se ha incentivado la recogida selectiva de desechos mediante charlas educativas, enseñando el impacto ambiental de la gestión de residuos.

En cuanto al uso de nuevas tecnologías, encaminada principalmente a la mejora de los servicios y al aprovechamiento y desarrollo de las fuentes de energía, se ha organizado en un entorno común de datos, la información urbanística por medio del repositorio de datos del Reality capture, creando una memoria histórica de la infraestructura del municipio. Se fomenta también, sobre esa base, el ecodiseño y mejoras en las vías, obteniendo los beneficios de una economía circular. A futuro, se prevén parkings inteligentes con puntos de recarga de vehículos, así como terminar la digitalización del pueblo incluyendo la sensorización de las infraestructuras.

En España ya existen algunos pueblos inteligentes que se enfocan en el desarrollo tecnológico para mejorar la calidad de vida de sus habitantes. Tal es el caso de Valdepeñas-Ciudad Real, que apuesta por la administración electrónica libre de papel; Gator-Cádiz, que cuenta con un sistema de renovación paulatina del alumbrado público; Valverde de Burguillos-Badajoz, que a través de su plataforma "Activa Verde", mantiene el contacto entre universitarios desplazados por estudios con su pueblo, para incentivar su regreso; o Molinaseca-León, que posee un sistema de gestión de residuos y alumbrado inteligente.

Sin embargo, en la revisión de la literatura, se han encontrado pocas ciudades en las que se haya integrado la transformación digital al DT para la mejora de una población. Una de ellas es Gales, en Reino Unido, con el trabajo de Buro Happold para el Ayuntamiento de Bridgend County que perseguía implementar un DT para la gestión de energías inteligentes. El propósito era crear una representación digital precisa de la red energética local con el fin de modelar y optimizar con precisión los perfiles energéticos residenciales para obtener una planificación y un diseño optimizados de la red, basándose en la evaluación en tiempo real de los nuevos requisitos de demanda de la red de energía.

Schrotter y Hurzeler presentaron en su trabajo cómo el DT de Zúrich permite la visualización de espacios de calles, servicios públicos subterráneos y edificios públicos seleccionados con niveles de detalle altos y puede mejorar la administración de la ciudad y apoyar la toma de decisiones de planificación urbana.



Fig. 6 Perfil de Iglesia de Santo Domingo Catalogado Bien de Interés Cultural (BIC)

4. Conclusiones

Características como el intercambio de datos bidireccional y la autogestión en tiempo real distinguen un DT de otros sistemas de modelado de información. El puente entre el modelo REVIT 3D del pueblo y la conexión con los sistemas de gestión automatizados, lo tiende COBie. Esta base de datos relacional conecta la información del entorno físico y el metaverso del DT, para obtener una correspondencia bidireccional con los softwares de gestión de mantenimiento asistidos por ordenador (GMAO).

Prádena del Rincón apuesta por conectar su entorno físico con un modelo digital a través de un flujo de trabajo en el que interoperan la nube de puntos, los modelos BIM, la estandarización y estructuración de datos mediante la ISO 19650 y OMNICLASS, y el COBie como base de datos relacional, para identificar la situación actual del pueblo y permitir posteriormente, gestionarla y proporcionar un modelo de información del entorno, mediante una metodología de trabajo iterativo y colaborativo, de forma que se garantice la funcionalidad del resultado.

El DT de Prádena pretende recopilar, monitorear y administrar datos del pueblo con el fin de convertirlo en un Smart Village.

Referencias

AENOR (2018). *Organización y digitalización de la información de obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building information modelling). Gestión de la información al utilizar BIM. Parte 1: conceptos y principios*. ISO 19650-1. Madrid: AENOR

AENOR (2018). *Organización y digitalización de la información de obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building information modelling). Gestión de la información al utilizar BIM. Parte 2: fase de desarrollo de los activos*. ISO 19650-2. Madrid: AENOR

BELDA HÉRIZ, I. (2018). *Economía Circular: un modelo de producción y consumo sostenible*. Madrid: Editorial Tébar Flores S.L.

CONSEJERIA DE OBRAS PÚBLICAS URBANISMO Y TRANSPORTES (1994). *Normas Subsidiarias de Planeamiento Municipal Prádena del Rincón*. Madrid: SIUR.

EAST, E.W., O'KEFFE, S., KENNA, R., HOOPER, E. (2017). *Delivering Construction-Operations Building information Exchange (COBie) Using Autodesk Revit*. Mahomet-Illinois: Lulu.

IBERDROLA (2022). *Green Jobs: Good for you, for the environment and for the economy*. <<https://www.iberdrola.com/sustainability/what-are-green-jobs>> [Consulta: 10 de Octubre de 2020]

MARTINEZ JUAN, A. y McELDOWNEY, J. (2021). "Pueblos inteligentes. Concepto, cuestiones que se plantean y perspectivas para las zonas rurales de la Unión Europea". Servicio de Estudios del Parlamento Europeo. PE 689.349.<[https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689349/EPRS_BRI\(2021\)689349_ES.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2021/689349/EPRS_BRI(2021)689349_ES.pdf)> [Consulta: 25 de Junio de 2021]

MORCILLO, F. (2018) "¿Por qué hablamos de Smart Villages y de Territorios Inteligentes? 3 enfoques del mundo digital y rural" en *franciscomorcillo*, 24 de junio. <<https://franciscomorcillo.com/por-que-hablamos-smart-villages-y-de-territorios-inteligentes-3-enfoques-del-mundo-digital-y-rural/>> [Consulta: 18 de Agosto de 2021]

PELLEGRINO, E., BOTTIGLIERI M.A., CRUMP, G., CYPRIANO, L., TOUIL, D. (2021). *Managing and visualizing your BIM data: Understand the fundamentals of computer science for data visualization using Autodesk Dynamo, Revit and Microsoft Power BI*. Birmingham: Packt Publishing Ltd.

PICTET ASSET MANAGEMENT (2019) *Estos son los pueblos inteligentes españoles*. <<https://www.am.pictet/es/blog/articulos/innovacion/pueblos-smart>> [Consulta: 29 de Enero de 2022]

SEPASGOZAR, S. (2021). "Differentiating Digital Twin from Digital Shadow: Elucidating a Paradigm Shift to Expedite a Smart, Sustainable Built Environment". *Buildings*; Basel Tomo 11, N.º 4: 151.

SHAHAT, E.; HYUN, C.; YEOM, C. (2021). "City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda". *Sustainability*; Basel Tomo 13, N.º 6, (2021): 3386.

SHAHAT, E.; HYUN, C.; YEOM, C. (2021). "City Digital Twin Potentials: A Review and Research Agenda". *Sustainability*; Basel Tomo 13, N.º 6: 3386.

EUBIM 2022

Congreso Internacional BIM **11º** Encuentro de Usuarios BIM
BIM INTERNATIONAL CONFERENCE



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA