14º Encuentro de Usuarios BIM

CONGRESO INTERNACIONAL BIM

BIM INTERNATIONAL CONFERENCE

EUBIM 2025

València 21, 22, 23, 24 de mayo 2025

LIBRO DE ACTAS

Organizadores:

www.EUBIM.com

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Entidades Participantes:

GURV

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

DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR ENGINYERIA D'EDIFICACIÓ

CTAV COLEGIO TERRITORIAL DE ARQUITECTOS DE VALENCIA

INGENIEROS DE CAMINOS

CONSEJO GENERAL DE LA ARQUITECTURA TÉCNICA DE ESPAÑA

COAT VALENCIA
Colegio Oficial de la Arquitectura Técnica de Valencia

Congresos UPV
EUBIM2025. International BIM Conference EUBIM 2025. 14º Encuentro de usuarios BIM

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

© Edición Científica

Begoña Fuentes Giner
Inmaculada Oliver Faubel

Comité Organizador

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

© de los textos: los autores

© 2025, de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València.

www.lalibreria.upv.es Ref.: 6017_02_01_01

ISBN: 978-84-1396-354-9

DOI: https://doi.org/10.4995/EUBIM2025.2025.21154

EUBIM2025. International BIM Conference EUBIM 2025. 14º Encuentro de usuarios BIM

Se distribuye bajo una licencia de Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional.

Basada en una obra en http://ocs.editorial.upv.es/index.php/EUBIM/EUBIM2025

PRESENTACIÓN

EUBIM 2025: All you BIM is love.

"Al meu país la pluja no sap ploure:
o plou poc o plou massa;
si plou poc és la sequera,
si plou massa és la catàstrofe.
Qui portarà la pluja a escola?
Qui li dirà com s'ha de ploure?
Al meu país la pluja no sap ploure."

(Vicent Andrés Estellés, 1924-1993, poeta valencià)

Este EUBIM 2025 tiene un significado especial para el equipo organizador y para todas las personas que, de un modo u otro, viven el día a día de la organización del congreso. Parecía que solo iba a ser la edición número 14, la antesala a un hito como será alcanzar los 15 años organizando ininterrumpidamente este congreso internacional sobre BIM, pero los acontecimientos han querido que sea una edición especial, de supervivencia, de superación, de decidir conscientemente seguir trabajando mientras apretamos los dientes y sacamos barro de nuestras vidas.

Este libro de actas de EUBIM 2025 es el mejor termómetro e indicador para conocer cuál es el estado del conocimiento, madurez de uso e implantación de BIM en el sector de la construcción a nivel español e internacional. Sobre todo porque sus contenidos son el resultado de la decisión de los autores de las comunicaciones de querer compartir sus investigaciones, avances de conocimiento, trabajo cotidiano y experiencias reales en entornos BIM con el resto de la comunidad técnica y profesional.

Por supuesto, existe el necesario filtro del control de calidad que realiza el comité científico en la aceptación y propuestas de mejora de los trabajos presentados, pero de la lectura y revisión de los contenidos aquí incluidos se puede extraer perfectamente cuáles son las líneas de investigación y desarrollo técnico y científico que se están siguiendo ahora mismo en nuestro ámbito: el uso de la Inteligencia Artificial con BIM y el desarrollo de los gemelos digitales. Igual que en ediciones anteriores fueron los entornos comunes de datos o la industrialización del sector las que ocuparon buena parte de los trabajos presentados, en esta edición se están sentando las bases para alcanzar un mayor grado de automatización en la toma de decisiones y de mejora en la gestión de la información del proceso constructivo.

Esto nos muestra en qué nivel de madurez nos encontramos ahora mismo en este arduo proceso de transformación digital y reinvención del sector constructivo. Y resulta muy interesante el creciente interés de las empresas y profesionales por los formatos abiertos y la compartición de información más allá de plataformas nativas y cautivas. OpenBIM se abre paso. Y con él la exigencia de que la gestión de la información, sus esquemas organizativos y los estándares den cabida y respuesta a las necesidades de todos los agentes del proceso constructivo y a todas las tipologías de construcción. Esperemos que este interés y avance no decaiga y los organismos pertinentes y empresas sigan trabajando y ofreciendo soluciones en esta línea.

(cc) BY-NC-SA

Detectamos también con alegría que cada vez hay más eventos BIM. No hay empresa u organismo público que no se precie de tener su “Día BIM” o “Jornadas BIM”. Les damos la bienvenida a todas ellas y confiamos en que se mantengan en el tiempo y sirvan para aportar conocimiento y madurez BIM a quienes las organizan para que no se conviertan en un mero escaparate brillante y publicitario pero sin fundamento ni masa crítica sobre la que activar la innovación.

Cada libro de actas de EUBIM es el testigo de su tiempo, el indicador del nivel de conocimientos y madurez BIM de cada edición. Y es revelador y emocionante consultarlos de manera cronológica y tomar conciencia de cómo, cada uno de nosotros, es espectador y actor al mismo tiempo de este proceso de cambio y transformación.

Queridos y queridas EUBIMmers, ¡qué tiempo este para ser vivido y qué suerte poder estar viviéndolo!

Sed bienvenidos y bienvenidas a EUBIM 2025.

El comité organizador de EUBIM 2025

(cc) BY-NC-SA

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. Jaime Llinares Millán

COMITÉ CIENTÍFICO

- Jesús Alfaro González - Universidad de Castilla–La Mancha
- Alberto Cerdán Castillo - Consultor BIM
- Eloi Coloma Picó - Universitat Politècnica de Catalunya
- Patricia del Solar Serrano – Universidad Europea de Madrid
- Ernesto Faubel Cubells - Ayuntamiento de Valencia
- 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 – IBIM, Universidad Europea de Valencia
- Óscar Liébana Carrasco - Universidad Politécnica de Madrid, FCC Construcción
- 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
- Ana Pérez García - Universidad de La Laguna.
- Juan Luis Pérez Ordóñez - Universidade da Coruña
- Miquel Rodríguez Niedenführ - Universitat Politècnica de Catalunya
- José Antonio Vázquez Rodríguez - Universidade da Coruña
- Gonçal Costa Jutglar - La Salle BES
- Jesús De Paz Sierra - Universidad de Cantabria

COMITÉ ORGANIZADOR UPV-GURV

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

BY-NC-SA

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

BY-NC-SA

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.

(cc) BY-NC-SA

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.

BY-NC-SA

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.

BY-NC-SA

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.

BY-NC-SA

ÍNDICE DE COMUNICACIONES Y PONENCIAS

1. FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

1.1 PASAPORTE DIGITAL DE PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN Y SU INTEGRACIÓN CON BIM
Aragón Basabe, Aitor……..…….…. Pág.16

1.2 INTEGRACIÓN DE IA Y HERRAMIENTAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA CONSULTAS INTELIGENTES EN MODELOS IFC
Díaz Murillo, Ángel; Martín-Dorta, Norena.....…….…….…. Pág.17

1.3 DESARROLLO DE APP PARA LA GESTIÓN INTELIGENTE DEL COMPLEJO DE ESTUDIOS SOCIALES CON BIM, IOT E IA.
Carrasco-Rodríguez, Francisco; Ventura-Blanch, Ferrán; Hernández-Vilches, Pablo; Fernández-Leiva, Antonio J.; Bandera-Rubio, Juan Pedro…….…….. Pág.27

1.4 ANÁLISIS DEL RIESGO ATEX EN ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE METODOLOGÍA BIM
Núñez-Fernández, Mario; Pacheco-Rodríguez, Christian Miguel; Cortés-Pérez, Juan Pedro; Yanza-Pérez, Christian Andrés…….....……..…….…….. Pág.36

1.5 AUTOMATIZACIÓN DE LA INTRODUCCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE INSPECCIONES DE PUENTES EN MODELOS BIM
Atencio, Edison; Lozano-Galant, Fidel; Montalvo, Angela; Porras, Rocío; Lozano-Galant, José Antonio……..……..... Pág.48

1.6 ANÁLISIS DE LOS ESTÁNDARES BC3 E IFC PARA MEJORAR INTEROPERABILIDAD
Juncar Sánchez, Evelio; Reston Vigueras, Lucia; Sgalippa, Juana……..……... Pág.57

1.7 LAW CLASH DETECTION
Tort-Vázquez, Enrique; Carroggio-Genís, Víctor; Elberti, Pierfrancesco; Bácenas-García, Javier; Iglesias-Gamella, Fernando…….. Pág.68

1.8 ENHANCING BIM COLLABORATION THROUGH LEGO® SERIOUS PLAY®: AN INNOVATIVE APPROACH TO UNIVERSITY
Villa, Valentina……..……..……... Pág.81

1.9 MODELADO BIM DE LA TORRE DE CONTROL DE LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE COMO EJERCICIO ACADÉMICO
Pérez-Sánchez, Juan Carlos; Céspedes-López, María Francisca; Mora-García, Raúl Tomás; Pérez-Sánchez, Vicente Raúl…….Pág.94

1.10 GESTIÓN DE PROYECTOS CON METODOLOGÍA BIM. ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA DOCENTE EN ESTUDIOS DE MÁSTER
Martín-Gil Arroyo, Jaime; Valverde Cantero, David; Serna Fernández, Ángel Víctor; Cuadrupani Bosqued, Francisco……..Pág.105

1.11 FORMACIÓN OPENBIM PARA FUNCIONARIOS TÉCNICOS NO BIM DE LA ADMINISTRACIÓN ESPAÑOLA
Martínez Gómez, David Carlos; Alarcón López, Iván José……..……... Pág.116

 BY-NC-SA

1.12 HERRAMIENTA PARA CÁLCULO DEL POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL DE UN PROYECTO DE EJECUCIÓN
Lostao-Chueca, Diego; Hescartín-Martínez, Héctor; Ciriano-Lambán, Laura; Agustín-Hernández, Luis; Sancho-Mir, Miguel……..…….Pág.128

1.13 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL
Arlanzón-Angulo, María Belén; Burón-Gutiérrez, Pablo; Contreras-Polo, Ana; Rodríguez-Márquez, Gonzalo; Vilaplana-Carbonell, Manuel……..…….. Pág.138

1.14 AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS PARA LA VALIDACIÓN DE PERMISOS DE CONSTRUCCIÓN. CASO DE ESTUDIO DEL ÍNDICE DE EDIFICABILIDAD
Pérez-García, Ana; Muniz, Bruno; Granja, José; Azenha, Miguel; Martín-Dorta, Norena……..…….. Pág.149

1.15 RETOS Y BENEFICIOS EN LA IMPLANTACIÓN DE GEMELOS DIGITALES A PARTIR DE METODOLOGÍA BIM
Pacheco-Rodríguez, Christian Miguel; Núñez-Fernández, Mario; Cortés-Pérez, Juan Pedro; Yanza-Pérez, Christian Andrés……..…….. Pág.158

1.16 CAPÍTULOS ESTUDIANTILES BIM: CASO DE ÉXITO DE Ces.BIM UPN COMO PARADIGMA EN LA FORMACIÓN INTEGRAL BIM
Madera Terán, Ronald; Madera Arnao Yeni……..…….. Pág.170

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

2.1 ADOPTAR LA IA SIN PERDER TU IDENTIDAD: UN ENFOQUE HUMANIZADO
Monedero Martínez, Alfonso……..……...…….Pág.184

2.2 DE BIM A LA IA: GEMELOS DIGITALES PARA LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS EDIFICIOS
López-Torres, Joaquín; Galiano-Garrigós, Antonio; Marco-Peñas, Francisco……...…….Pág.187

2.3 ADVANCING GEOTECHNICAL BIM WITH IFC-4-TUNNELING: A TIMELY SOLUTION TO MEET GROWING REQUIREMENTS
Martínez-Ibáñez, Víctor; Jaud, Štefan; Delgado Vendrell, David; Camacho-Torregrosa, Francisco Javier……..…….....Pág.200

2.4 CULTURA ÁGIL EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS BIM: DE LA TEORÍA A LA PRÁCTICA
Gutiérrez Sánchez, Ana Belén; Benítez Balseiro, María……..……...Pág.210

2.5 EXPLORING BIM CAPABILITIES FOR LIFE CYCLE ASSESSMENT IN STRUCTURAL PROJECTS: A VALENCIAN BARRACA CASE STUDY FOR SUSTAINABLE MATERIAL CHOICES
Selfa i Perona, Òscar; Lakhera O'Shea, Kieran; McAuley, Barry……..……...Pág.221

2.6 USO DE TECNOLOGÍAS BIM PARA AGILIZAR EL PROCESO DE DESARROLLO Y CERTIFICACIÓN DE PROYECTOS DEL FONDO SOLIDARIO DE ELECCIÓN DE VIVIENDA SERVIU.
Velozo San Martín, Daniela I.……..…….Pág.234

2.7 ARCHIVOS IFC, BC3 Y CSV PARA MEDICIONES Y CERTIFICACIONES CON OPENBIM
Martínez Gómez, David Carlos; Alarcón López, Iván José……..……...Pág.245

 BY-NC-SA

2.8 INCORPORACIÓN DE BIM EN LA ENSEÑANZA DE DIBUJO ARQUITECTÓNICO EN LOS PRIMEROS AÑOS DE ARQUITECTURA TÉCNICA
García Valldecabres, Jorge; López González, Mª Concepción; Ariel Escudero, Pablo…….....Pág.258

3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

3.1 BIM EN OBRA: LO QUE EL MODELO NO CUENTA
Montes Herraiz, José Ignacio……..……...Pág.271

3.2 IDS PARA LA VERIFICACIÓN DE REQUISITOS DE INFORMACIÓN DE PROYECTOS. CASO DE ESTUDIO EN FERROCARRILS DE LA GENERALITAT VALENCIANA
Martínez-Soler, Ignacio; Pastor-Villanueva, José María; Pérez-García, Ana; Mateu-Gozálvez, Diana; Loza-Remón, Raquel; García-Cerezo, Juan Antonio……..……....Pág.272

3.3 BIM AS A POWERFUL TOOL TO ENHANCE SUSTAINABILITY AND MAINTENANCE THROUGH AI IMPLEMENTATION
Orsi, Alessandro; Ianeselli, Nicola; Martínez González, Héctor…….....… Pág.282

3.4 GESTIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS BIM: UN DESAFÍO EN ENTORNOS OPEN BIM
Sgalippa, Juana; Reston Vigueras, Lucia; Juncal Sánchez, Evelio……...…Pág.292

3.5 iNTEGRACIÓN EFICIENTE DE NUBES DE PUNTOS Y FOTOS 360 EN REVIT Y ACC: METODOLOGÍA OPTIMIZADA PARA MODELADO AS-BUILT, ACCESIBILIDAD COLABORATIVA Y GESTIÓN DE PROYECTOS
Royo-Espinosa, Javier; Aguilar-Ramos, Enrique; Tabanera-Asensio, Francisco…….…Pág.303

3.6 EXPERIENCIA REAL DE IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN BIM EN FASE DE OBRA. CASOS DE ÉXITO EN ASCH
Maldonado-Plaza, Esther; Muñoz-Vallejo, Diego…….... Pág.310

3.7 DEL RETAIL AL TRAJE A MEDIDA: ADECUACIÓN DE ACTIVOS DIGITALIZADOS
Di Nardo, Franco; Peñas-Ramírez, Sebastián; Pérez-Blanco, José; de Miguel-Simón, Aida; Muñoz-Mínguez, Lucía…….... Pág.323

3.8 PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GEMELO DIGITAL PARA LA GESTIÓN PORTUARIA
Pérez Romero, Juan; García Martínez, María Luisa…….... Pág.334

3.9 MODELO BIM DE LA CENTRAL NUCLEAR DE ALMARAZ
Lopez de Bustos, María; del Pino Herrera, Julio; Rojas Moreno, Víctor; García Vargas, Jesús…….... Pág.346

3.10 COORDINACIÓN BIM EN PROYECTO EJECUCIÓN MULTIDISCIPLINAR 30: EL CASO DEL CENTRO DE CÁRITAS EN LANZAROTE
Lázaro Cardiel, Fernando; De la Rocha Duarte, José Luís; Coya Piñero, José Carlos; Donet Galán, Borja; Barbero Coria, Íñigo…….... Pág.357

3.11 GEMELO DIGITAL DE UN ESTUDIO DE ARQUITECTURA. CASO PRÁCTICO (DIY)
Alba Dorado, José Antonio…….... Pág.367

 BY-NC-SA

PATROCINADORES

BIMcollab

COAT VALENCIA
Colegio Oficial de la Arquitectura Técnica de Valencia

lumion

hiberus

ACCA SOFTWARE

MagiCAD GROUP

BY-NC-SA

Leica Geosystems

GstarCAD

SketchUp

DALUX

RIB | Presto

CTAV COLEGIO TERRITORIAL DE ARQUITECTOS DE VALENCIA

VIRCORE

Berrilan
advanced building projects

Posgrado BIM UPV ®

Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas
INGENIEROS-CIVILES.ES
CITOP Valencia y Castellón

tinforsound
Informática • Sonido • Comunicación

 (cc) BY-NC-SA

FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

PASAPORTE DIGITAL DE PRODUCTOS DE CONSTRUCCIÓN Y SU INTEGRACIÓN CON BIM

Aragón Basabe, Aitor
Asociación Española de Normalización (UNE). Responsable de construcción sostenible y BIM.

Abstract

Before placing their products in the EU Single Market, construction products' manufacturers must issue a Declaration of Performance according to the old CPR (Regulation (EU) No 305/2011) to fix the CE marking. In December 2024, the European Commission published the new CPR (Regulation (EU) 2024/3110 on the marketing of construction products), which brings important changes in relation to the digitalization and BIM. The new CPR requires a digital copy of the DoPC (Declaration of Performance and Conformity) and, in the near future, the delivery of a Digital Product Passport (DPP) compatible with BIM.

The presentation will describe the DPP system for construction products and how this digital DoPC is being developed in CEN/TC 442/WG 12. It will also briefly explain other related activities, such as the standards under development in CEN/CLC/JTC 24 on DPP.

The obligations of the new CPR, including the DPP, will apply gradually to the manufacturers, but all industry must be prepared for its application in order to improve the efficiency in the construction value chain.

Resumen

Antes de comercializar sus productos en el Mercado Único de la UE, los fabricantes de productos de construcción deben emitir una Declaración de Prestaciones conforme al antiguo RPC (Reglamento (UE) nº 305/2011) para fijar el marcado CE. En diciembre de 2024, la Comisión Europea publicó el nuevo RPC (Reglamento (UE) 2024/3110 sobre la comercialización de productos de construcción), que conlleva importantes cambios en relación con la digitalización y BIM. El nuevo RPC exige una copia digital de la DoPC (Declaración de Prestaciones y Conformidad) y, en un futuro próximo, la entrega de un Pasaporte Digital de Producto (DPP) compatible con BIM.

La presentación describirá el sistema DPP para productos de construcción y cómo se está desarrollando la norma para digitalizar la DoPC en el grupo CEN/TC 442/WG 12. También se tratarán otras actividades relacionadas, como las normas en desarrollo en CEN/CLC/JTC 24 sobre pasaporte digital de producto.

Las obligaciones de la nueva CPR, incluyendo el DPP, se aplicarán gradualmente a los fabricantes, pero toda la industria debe estar preparada para su aplicación con el fin de mejorar la eficiencia en la cadena de valor de la construcción.

 BY-NC-SA

INTEGRACIÓN DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y HERRAMIENTAS DE CÓDIGO ABIERTO PARA CONSULTAS INTELIGENTES EN MODELOS IFC

Díaz Murillo, Ángel; Martín-Dorta, Norena
BIM Software Developer, Civile y freelance, angel_diaz_murillo@hotmail.com; Departamento de Técnicas y Proyectos en Ingeniería y Arquitectura, Universidad de La Laguna (ULL), Avenida Ángel Guimerá Jorge, s/n, 38204, La Laguna, (Tenerife), Spain; nmartin@ull.edu.es.

Abstract

Efficient information management in BIM projects is key to maximising their potential and ensuring multidisciplinary collaboration. This work proposes a solution that integrates openBIM tools with advanced artificial intelligence to perform intelligent queries on IFC model data. Implemented as an add-on for Blender and Bonsai (formerly BlenderBIM), it uses IfcOpenShell to process model data and structure it into JSON for queries.

The workflow allows natural language queries to be generated from Blender. These are processed by an AI system, such as Gemini, which interprets the language and analyses complex data. The AI retrieves relevant GUIDs and visually highlights elements in the 3D environment, making them easy to identify.

With a focus on open source tools such as Blender, Bonsai and IfcOpenShell, the solution ensures accessibility, flexibility and interoperability. The natural language query function democratises access to BIM data, allowing technicians and non-technicians to interact intuitively, improving decision making and fostering interdisciplinary collaboration

***Keywords**: BIM, Artificial Intelligence, openBIM, open-source, Blender.*

Resumen

La gestión eficiente de la información en proyectos BIM es clave para maximizar su potencial y garantizar la colaboración multidisciplinar. Este trabajo propone una solución que integra herramientas openBIM con inteligencia artificial avanzada para realizar consultas inteligentes sobre datos de modelos IFC. Implementada como complemento para Blender y Bonsai (antes BlenderBIM), utiliza IfcOpenShell para procesar datos del modelo y estructurarlos en JSON para consultas.

El flujo de trabajo permite generar consultas en lenguaje natural desde Blender. Estas son procesadas por un sistema de IA, como Gemini, que interpreta el lenguaje y analiza datos complejos. La IA recupera GUIDs relevantes y resalta visualmente los elementos en el entorno 3D, facilitando su identificación.

Con enfoque en herramientas de código abierto como Blender, Bonsai e IfcOpenShell, la solución asegura accesibilidad, flexibilidad e interoperabilidad. La función de consultas en lenguaje natural democratiza el acceso a datos BIM, permitiendo a técnicos y no técnicos interactuar intuitivamente, mejorando la toma de decisiones y fomentando la colaboración interdisciplinar.

***Palabras clave:** BIM, Inteligencia Artificial, openBIM, open-source, Blender.*

 BY-NC-SA

Introducción

La metodología BIM ha logrado un impacto sin precedentes en el sector AECO. Ha sido una completa revolución en la que profesionales, organizaciones y administraciones han tenido que reordenar la forma en la que se hacían los proyectos y obras en España. La metodología, como es sabido, tiene como bases los procesos que garantizan la buena gestión de la información y los modelos con información que permite un enfoque mucho claro y definitivo para la toma de decisiones de proyectistas, constructores y promotores (Gharaibeh, Eriksson y Lantz 2024).

En este contexto, el papel de organizaciones como BuildingSmart (buildingSMART International 2025) ha sido fundamental al promover estándares como IFC (Industry Foundation Classes) (buildingSMART International 2024b), IDS (Information Delivery Specification) (buildingSMART International 2024c) y BCF (BIM Collaboration Format) (buildingSMART International 2024a), aportando un valor significativo al impacto de esta metodología en el sector de la construcción. La existencia de un estándar global como IFC para la gestión de datos AECO ha resultado esencial para impulsar el desarrollo de alternativas basadas en código abierto, enriqueciendo el panorama de software disponible en el sector y ofreciendo nuevas oportunidades a las empresas, tanto en términos de coste como de especialización y versatilidad.

Iniciativas como IfcOpenShell (IfcOpenShell 2025) y las desarrolladas por That Open Company («That Open Company» 2025) están contribuyendo a hacer el sector más "abierto" a la implementación BIM, permitiendo a los profesionales crear sus propias soluciones adaptadas a necesidades específicas que las aplicaciones comerciales no logran satisfacer. En este sentido, proyectos como Bonsai (Bonsai 2025) surgen como respuesta a la necesidad de democratizar la metodología BIM, ofreciendo programas flexibles y personalizables que facilitan la gestión integral de los datos en el sector AECO.

Paralelamente a esta evolución del sector construcción, hemos experimentado otro fenómeno transformador: el auge de la inteligencia artificial. El inicio de esta década ha marcado el acceso generalizado a la IA, que ha dejado de ser una tecnología exclusiva de grandes corporaciones con costes elevados para convertirse en una herramienta accesible para el público general. Esta convergencia crea una combinación perfecta: datos de proyectos accesibles, una comunidad activa de profesionales y herramientas libres, junto con sistemas de IA que amplían significativamente las posibilidades de procesamiento y análisis (Zhang et al. 2022).

Estamos ante un punto de inflexión que modificará inevitablemente la manera en que diseñamos, proyectamos, construimos y mantenemos infraestructuras. Este artículo pretende demostrar, a través de un enfoque práctico, la simplicidad y facilidad con la que, utilizando herramientas de código abierto, podemos configurar una IA capaz de interactuar con modelos BIM para consultar su información de manera intuitiva y eficiente (Bassir et al. 2023).

BIM se configura como una plataforma centralizada para la gestión de la información de un proyecto de construcción a lo largo de su ciclo de vida. Permite la creación de modelos digitales ricos en datos geométricos, espaciales, cuantitativos y cualitativos, facilitando la colaboración interdisciplinar y sirviendo como base para diversas aplicaciones analíticas. La Inteligencia Artificial (IA) se está integrando progresivamente para automatizar tareas, optimizar diseños, realizar predicciones y extraer conocimiento valioso de los datos BIM (Elmousalami 2020).

El análisis de datos asociado a BIM implica la interpretación de la información contenida en los modelos para obtener perspectivas que mejoren la toma de decisiones en las diferentes etapas del proyecto, desde la concepción hasta la operación. La IA juega un papel crucial en este proceso, al permitir el análisis de grandes volúmenes de datos y la identificación de patrones complejos que serían difíciles de detectar mediante métodos tradicionales (Elmousalami 2020).

Las herramientas de código abierto ofrecen una alternativa flexible y accesible para la implementación de flujos de trabajo que integren BIM, IA y análisis de datos. Lenguajes de programación como Python se han convertido en un elemento fundamental para interactuar con plataformas BIM propietarias, a través de sus APIs y entornos de programación visual, así como para integrar bibliotecas de IA y ML de código abierto. Esta

 BY-NC-SA

capacidad de extensión y personalización mediante scripting permite a los usuarios construir flujos de trabajo adaptados a sus necesidades específicas (Ko, Ajibefun y Yan 2023).

La integración de BIM con técnicas de IA para el análisis de datos mediante herramientas open-source abre un amplio abanico de posibilidades:

- Estimación de costes mejorada: La IA puede analizar datos históricos de proyectos almacenados en modelos BIM para desarrollar modelos predictivos de costes más precisos en las etapas conceptuales (Elmousalami 2020).
- Optimización del diseño: Los algoritmos de IA, como los algoritmos genéticos, pueden utilizarse para explorar un amplio espacio de diseño definido paramétricamente dentro de un entorno BIM, optimizando soluciones en función de múltiples criterios de rendimiento (energético, estructural, etc.). La integración con herramientas de diseño paramétrico permite expandir sus posibilidades (Taico-Valverde y Castillo-Sosa 2024).
- Detección de patrones y conocimiento: La IA puede analizar la información del modelo BIM para identificar patrones en el uso de materiales, la eficiencia energética o los problemas de diseño recurrentes, proporcionando conocimiento valioso para futuros proyectos (Elmousalami 2020).
- Automatización de tareas: El scripting con Python en plataformas BIM permite automatizar tareas repetitivas de modelado y extracción de datos, liberando recursos para actividades de mayor valor añadido. La IA puede incluso generar código para la creación de modelos BIM y paramétricos a partir de instrucciones en lenguaje natural (Ko, Ajibefun y Yan 2023).
- Simulaciones y análisis avanzados: Las bibliotecas de IA de código abierto pueden integrarse con los datos BIM para realizar simulaciones más complejas y precisas, como análisis de rendimiento energético, simulaciones de flujo de personas o evaluaciones de sostenibilidad (Taico-Valverde y Castillo-Sosa 2024).

Este artículo pretende llevar una aproximación de la simpleza y facilidad con la que, con herramientas gratuitas, podemos configurar una IA que nos permita trabajar con modelos BIM consultando su información. Esta investigación desarrolla una solución que permite realizar consultas en lenguaje natural sobre modelos IFC mediante un complemento para Blender y Bonsai que utiliza la API de Gemini, democratizando el acceso a datos BIM y eliminando la necesidad de conocer la estructura técnica del modelo. Los resultados de las pruebas demuestran la efectividad del sistema para identificar y resaltar elementos que cumplen criterios específicos, permitiendo a usuarios con diversos niveles de conocimiento técnico interactuar intuitivamente con modelos complejos. Esta integración de tecnologías abiertas establece un punto de partida para desarrollos más avanzados que podrían transformar la gestión de información en el sector de la construcción.

1. Materiales y Métodos

1.1. Herramientas Utilizadas

1.1.1. Blender y Bonsai

Blender constituye una herramienta de software gratuita y de código abierto ampliamente reconocida en la industria de la animación y los efectos visuales. Su versatilidad permite utilizarlo para modelado, animación, simulación, renderizado, composición, edición de video y desarrollo de videojuegos. Entre sus capacidades destacan el modelado 3D con herramientas avanzadas de esculpido y geometría, animación y rigging con herramientas de esqueletización y simulaciones físicas, renderizado mediante motores avanzados como Cycles y Eevee, edición de video integrada, simulaciones de efectos como fluidos y partículas, y desarrollo de entornos interactivos para videojuegos.

La principal ventaja de Blender radica en su naturaleza gratuita y open source, con una licencia que permite modificar su código fuente. Esta característica, combinada con la potencia del programa, ha generado una comunidad muy activa que facilita el acceso a tutoriales, foros y soporte para usuarios en diversos idiomas.

 BY-NC-SA

Un aspecto fundamental para el desarrollo de este trabajo es su API en Python, que ha resultado vital para la integración con otros proyectos open source orientados al sector AECO y la metodología BIM.

Por su parte, Bonsai (anteriormente conocido como BlenderBIM) es una herramienta gratuita y de código abierto diseñada específicamente para gestionar información BIM en modelos IFC. Como parte del ecosistema, la librería IfcOpenShell, añade capacidades BIM avanzadas a Blender, posicionándose como una alternativa openBIM para gestionar información de los modelos. Desarrollado por la comunidad OSArch (Open Source Architecture) y fundamentado en la librería IfcOpenShell, Bonsai permite leer, editar y generar archivos IFC aprovechando las herramientas nativas de Blender.

1.1.2. IfcOpenShell

IfcOpenShell es una librería disponible en diversos lenguajes de programación, incluyendo Python, que permite trabajar con datos contenidos en modelos IFC. Esta librería incorpora numerosas herramientas que facilitan la consulta, gestión y creación de datos dentro de los modelos, incluso permitiendo la creación nativa de modelos IFC. Estas capacidades han posibilitado que muchas organizaciones desarrollen herramientas propias para automatizar sus flujos de trabajo y mejorar los procesos de calidad relacionados con proyectos, obras y actuaciones de mantenimiento.

1.1.3. Gemini

Gemini constituye una avanzada familia de modelos de lenguaje multimodal desarrollada por Google DeepMind, diseñada para comprender y generar contenido a partir de diversas modalidades de datos, incluyendo texto, imágenes, audio y video. Esta versatilidad permite abordar una amplia variedad de aplicaciones, desde chatbots conversacionales hasta análisis complejos de datos multimedia.

La arquitectura de Gemini se basa en transformadores de decodificación única, optimizados para funcionar eficientemente en Unidades de Procesamiento Tensorial (TPUs). Una característica destacada es su capacidad para manejar contextos extensos de hasta 32,768 tokens, gracias a la implementación de la técnica de "atención multi-consulta". Esta capacidad de procesamiento de contextos amplios resulta crucial para tareas que requieren la comprensión de secuencias largas de datos.

Gemini es inherentemente multimodal, lo que significa que puede procesar y generar respuestas a partir de diferentes tipos de entradas simultáneamente. Las imágenes pueden presentar diversas resoluciones, los videos se tratan como secuencias de imágenes, y el audio se muestrea a 16 kHz, transformándose en secuencias de tokens mediante el Modelo Universal de Habla. Esta flexibilidad permite a Gemini interactuar eficazmente en entornos donde convergen múltiples formas de datos.

El entrenamiento de Gemini se realizó utilizando un conjunto de datos multimodal y multilingüe, compuesto por documentos web, libros, código fuente, imágenes, audio y video. Esta diversidad en los datos de entrenamiento asegura que el modelo posea una comprensión profunda y contextual en diversos dominios y lenguajes.

La familia Gemini incluye varias versiones adaptadas a diferentes necesidades y capacidades computacionales, desde los modelos más compactos como Gemini Nano-1 y Nano-2 con 1.8 y 3.25 mil millones de parámetros respectivamente, hasta modelos más avanzados como Gemini 1.5 Pro, capaz de manejar contextos de millones de tokens.

La API de Gemini proporciona a los desarrolladores acceso a las capacidades avanzadas de estos modelos, facilitando la integración de funciones de inteligencia artificial en diversas aplicaciones. Para utilizar esta API, es necesario obtener una clave desde Google AI Studio que autentica las solicitudes y garantiza un acceso autorizado a los recursos del modelo. Una vez obtenida la clave, debe configurarse el entorno de desarrollo, para lo cual Google ofrece un SDK de Python que simplifica la interacción con la API.

 BY-NC-SA

1.2. **Metodología de Desarrollo**

1.2.1. Programa IAFC: Objetivo y Funcionamiento

Fig. 1 Flujo de ejecución. Elaboración propia (2025)

El complemento desarrollado, denominado IAFC (acrónimo de Inteligencia Artificial - Foundation Classes), tiene como finalidad crear un complemento (Add-On) para Blender que permita realizar consultas sobre datos de modelos IFC en lenguaje natural. Esta solución posibilita que la IA facilite a Blender la identificación y filtrado de objetos que cumplen con condiciones específicas expresadas por el usuario. El proceso se estructura en las siguientes etapas secuenciales (Fig. 1):

1. **Carga del modelo IFC en Blender**: El primer paso consiste en cargar el modelo IFC en Blender mediante Bonsai. Aunque no es imprescindible consultar la información previamente, resulta útil para visualizar gráficamente qué objetos satisfacen los criterios establecidos por el usuario.

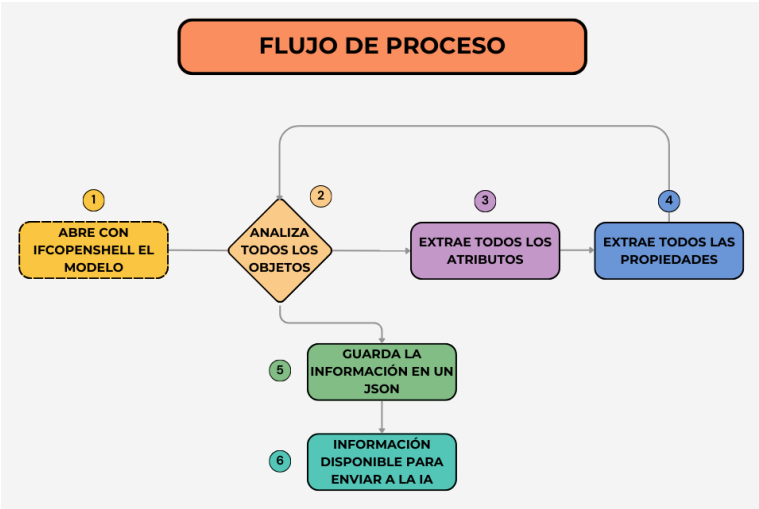


Fig. 2 Flujo de proceso para analizar la información de los objetos. Elaboración propia

2. **Análisis de la información por IAFC** (Fig. 2): Una vez cargado el modelo, IAFC analiza toda la información contenida en él siguiendo un flujo de ejecución específico:
   - Apertura del modelo con IfcOpenShell para agilizar la consulta de información

 BY-NC-SA

- Filtrado de objetos, seleccionando únicamente aquellos pertenecientes a clases derivadas de "IfcElement", excluyendo así elementos no tangibles
- Extracción de atributos con datos, omitiendo aquellos que contienen relaciones
- Extracción de propiedades de los conjuntos de propiedades
- Almacenamiento de todos los datos (atributos y propiedades) en un diccionario para su posterior conversión a formato JSON.

3. **Interfaz de consulta**: IAFC implementa un menú en Blender que permite al usuario introducir su consulta en lenguaje natural. Esta interfaz simplificada contiene únicamente un campo de entrada donde el usuario puede escribir su consulta en cualquier idioma (Fig. 3).

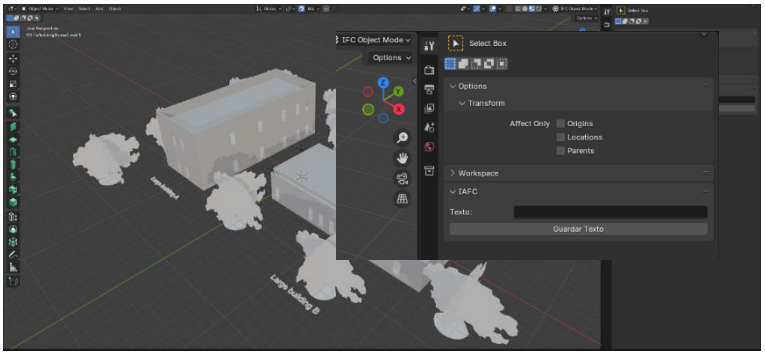


Fig. 3 - Interfaz con el menú creado. Elaboración propia

4. **Procesamiento de la consulta con Gemini**: El sistema extrae la consulta introducida por el usuario y la preprocesa para enviarla a Gemini junto con el JSON que contiene los datos del modelo. El prompt enviado a la API tiene la siguiente estructura:

> "*Te envío los datos de un modelo IFC en un json con el siguiente formato: GlobalId del objeto*: *Atributo: Valor.*
>
> *Extrae una lista de objetos con el siguiente formato: [GLOBAL ID, ''] de todos los objetos que tienen {input_msg}. Solo quiero que me des en la respuesta la lista, no necesito nada más. Te adjunto el json del modelo: {data}*"

5. **Resaltado visual de los resultados**: Finalmente, el programa recorre la lista de identificadores globales (GUIDs) generada por la IA y utiliza la API de Blender para colorear todos los objetos correspondientes, facilitando su identificación visual en el modelo (Fig. 4).

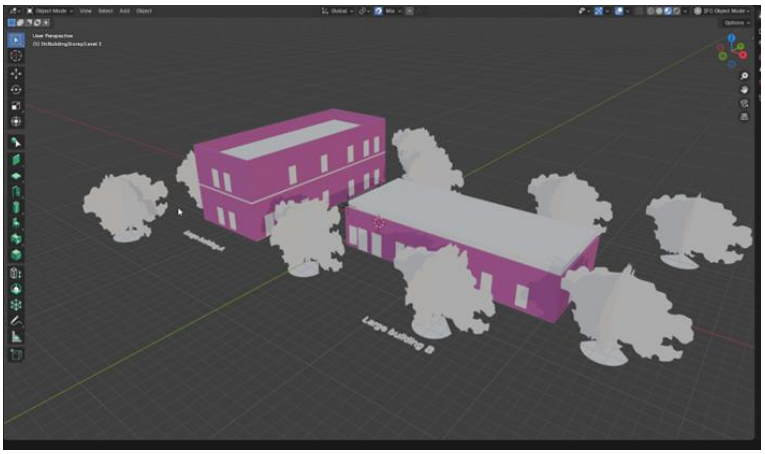


Fig. 4 – Salida gráfica del programa. Elaboración propia

 BY-NC-SA

2. **Resultados**

La implementación del sistema IAFC ha sido sometida a diversas pruebas para evaluar su efectividad, centrándose específicamente en la coherencia entre las consultas realizadas en lenguaje natural y los resultados obtenidos. Este enfoque resulta particularmente relevante considerando que uno de los objetivos principales es permitir que usuarios con diferentes niveles de conocimiento técnico, incluidos aquellos con un nivel de madurez BIM bajo, puedan interactuar eficazmente con modelos complejos sin necesidad de conocer la estructura del esquema.

2.1. **Test 1: Identificación de Ventanas**

La primera prueba consistió en identificar objetos que tienen el valor "Windows" en el atributo "Category". Se realizó un análisis comparativo entre el resultado obtenido mediante herramientas convencionales (BIMVision y su funcionalidad de agrupación) y el resultado proporcionado por IAFC.

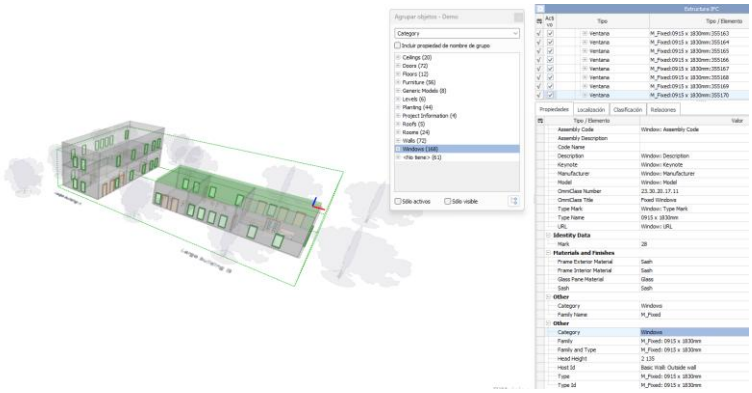


Fig. 5- Resultado del filtro en BIMVision. Elaboración propia

El resultado en BIMVision, navegando a través de la estructura del modelo y utilizando la herramienta “Agrupar”, permitió identificar todos los elementos correspondientes a ventanas (Fig. 5). De manera similar, al utilizar IAFC con una consulta expresada en lenguaje natural, el sistema logró identificar correctamente los mismos elementos, resaltándolos visualmente en el modelo tridimensional (Fig. 6). Esta correspondencia demuestra la precisión del sistema para interpretar consultas sencillas y traducirlas en operaciones de filtrado efectivas.

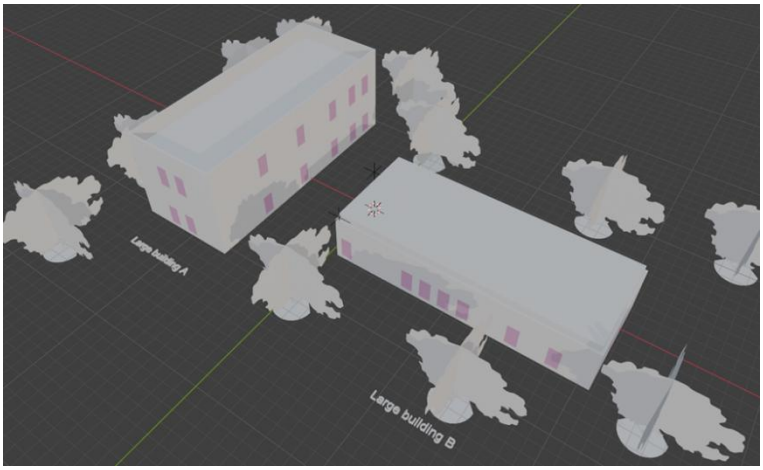


Fig. 6. Resultado de la consulta hecha con IAFC. Elaboración propia

2.2. **Test 2: Filtrado por Tipo de Muro**

La segunda prueba se enfocó en la identificación de objetos con el tipo "Basic Wall:Outside wall". Nuevamente, se realizó una comparación entre el filtrado convencional en BIMVision y la consulta mediante IAFC.

 BY-NC-SA

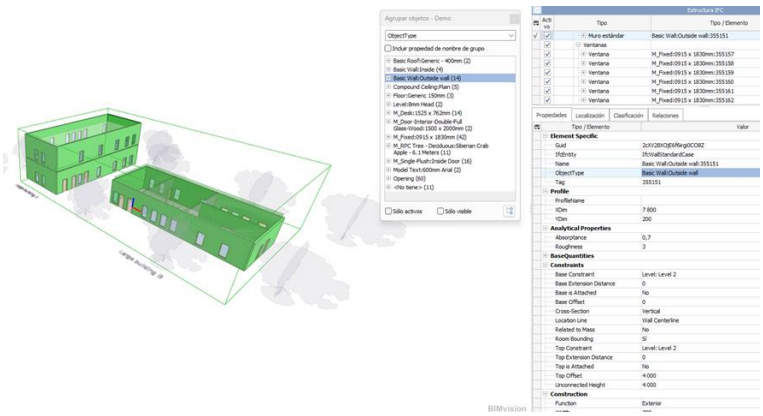


Fig. 7- Resultado de filtrar con BIMVision. Elaboración propia

Al utilizar la herramienta "Agrupar" en BIMVision, se obtuvo un listado de todos los elementos correspondientes a muros exteriores (Fig. 7). Paralelamente, al realizar una consulta en IAFC expresada como "Atributo ObjecType con valor Basic Wall:Outside wall", el sistema logró identificar y resaltar visualmente los mismos elementos en el modelo 3D de Blender (Fig. 8). Esta prueba confirma la capacidad del sistema para interpretar consultas más específicas relacionadas con atributos técnicos del modelo BIM.

En ambos casos, los resultados obtenidos mediante IAFC coincidieron con los resultados de referencia proporcionados por herramientas BIM convencionales, validando así la precisión y efectividad del enfoque basado en inteligencia artificial para la consulta de modelos IFC.

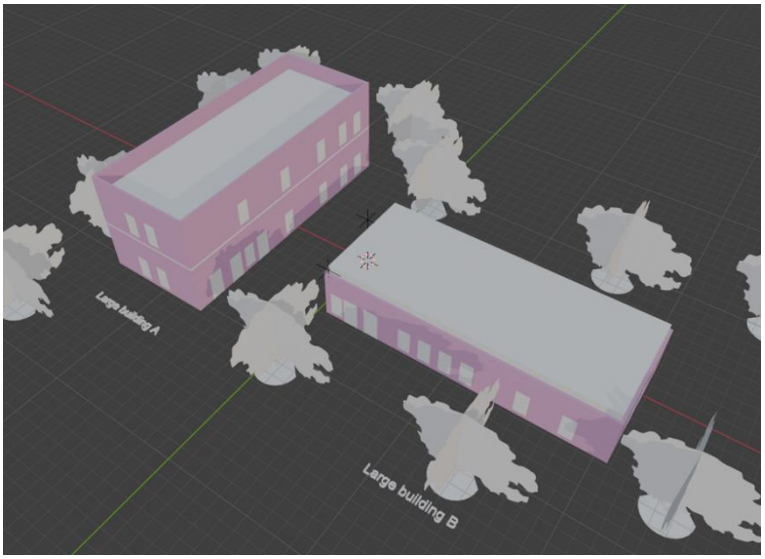


Fig. 8- Resultado con IAFC. Elaboración propia

Es importante destacar que, mientras las herramientas convencionales requieren conocimiento de la estructura del modelo y navegación a través de interfaces específicas, IAFC permite obtener los mismos resultados mediante consultas expresadas en lenguaje natural, simplificando significativamente el proceso y haciéndolo accesible a un espectro más amplio de usuarios.

3. **Discusión y Conclusiones**

La integración de tecnologías openBIM con sistemas de inteligencia artificial representa un avance significativo en la forma en que los profesionales pueden interactuar con modelos de información de construcción. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que es posible desarrollar soluciones que democraticen el acceso a datos BIM, permitiendo consultas en lenguaje natural sin necesidad de conocer la estructura técnica subyacente del modelo.

BY-NC-SA

El programa IAFC ha cumplido su objetivo principal: crear un puente entre las capacidades consolidadas de las tecnologías openBIM (ampliamente reconocidas por su potencial para automatizar y optimizar el trabajo con datos BIM) y las emergentes capacidades de la inteligencia artificial generativa, posicionada como uno de los motores más importantes de innovación en la actualidad.

La simplicidad del código desarrollado, que básicamente estructura el envío de datos a la IA, ha permitido crear una solución efectiva que transforma radicalmente la experiencia de consulta de modelos IFC. Como demuestran las pruebas realizadas, el sistema permite obtener resultados precisos equivalentes a los proporcionados por herramientas BIM convencionales, pero con una interfaz considerablemente más accesible y una curva de aprendizaje mucho menor para el usuario final.

Es importante destacar que esta implementación representa solo un punto de partida. Los recursos utilizados en este desarrollo son gratuitos, lo que demuestra la viabilidad de soluciones accesibles. Sin embargo, con inversiones adicionales, sería posible crear programas más avanzados utilizando APIs comerciales que podrían mejorar significativamente el rendimiento, la capacidad y la velocidad de respuesta del sistema.

Las aplicaciones de la IA en el contexto BIM van más allá de la mera consulta de información. Los sistemas de inteligencia artificial actuales poseen conocimientos suficientes para trabajar directamente con el modelo, creando o modificando información según sea necesario. Toda esta interacción puede realizarse a través de entornos visuales como Blender, permitiendo visualizar gráficamente los resultados del trabajo de la IA e integrar herramientas especializadas como Bonsai con los modelos de IA utilizados.

Este trabajo abre numerosas líneas de investigación futuras que podrían transformar la forma en que interactuamos con modelos BIM. Entre las posibilidades más prometedoras se encuentran:

1. El modelado BIM a partir de entradas en lenguaje natural, permitiendo generar elementos constructivos mediante instrucciones textuales.
2. La auditoría automatizada de calidad en contenedores de información BIM, utilizando modelos de lenguaje para verificar el cumplimiento de requisitos establecidos en los planes de ejecución BIM.
3. La supervisión automatizada de la geometría de modelos mediante sistemas de IA, capaces de identificar inconsistencias o problemas potenciales.
4. El desarrollo de asistentes digitales tipo "Chatbot" con reconocimiento de voz, que permitan la interacción con el modelo mediante comandos verbales.
5. La modificación directa de modelos IFC a través de instrucciones en lenguaje natural procesadas por modelos de lenguaje de gran escala.

En conclusión, la integración de tecnologías BIM abiertas con sistemas avanzados de IA representa un cambio de paradigma en la gestión de información para el sector de la construcción. La democratización del acceso a datos complejos mediante interfaces intuitivas basadas en lenguaje natural no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también fomenta la colaboración interdisciplinar al reducir las barreras técnicas que tradicionalmente han limitado la adopción generalizada de metodologías BIM. Este enfoque híbrido, que combina estándares abiertos con inteligencia artificial, establece las bases para una nueva generación de herramientas que podrían transformar radicalmente los procesos de diseño, construcción y gestión de activos en el sector AECO.

Referencias

BASSIR, D., LODGE, H., CHANG, H., MAJAK, J. y CHEN, G., 2023. Application of artificial intelligence and machine learning for BIM: review. International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization, vol. 14, ISSN 1779-6288. DOI 10.1051/smdo/2023005.

BONSAI, 2025. Bonsai - beautiful, detailed, and data-rich OpenBIM. [en línea]. [consulta: 2 marzo 2025]. Disponible en: https://bonsaibim.org/.

BUILDINGSMART INTERNATIONAL, 2024a. BIM Collaboration Format. [en línea]. [consulta: 2 marzo 2025]. Disponible en: https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/bim-collaboration-format/.

BUILDINGSMART INTERNATIONAL, 2024b. Industry Foundation Classes (IFC). [en línea]. [consulta: 2 marzo 2025]. Disponible en: https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/.

 BY-NC-SA

BUILDINGSMART INTERNATIONAL, 2024c. Information Delivery Specification (IDS). [en línea]. [consulta: 2 marzo 2025]. Disponible en: https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/information-delivery-specification-ids/.

BUILDINGSMART INTERNATIONAL, 2025. Porta de buildingSMART International. [en línea]. [consulta: 2 marzo 2025]. Disponible en: https://www.buildingsmart.org/.

ELMOUSALAMI, H.H., 2020. Artificial Intelligence and Parametric Construction Cost Estimate Modeling: State-of-the-Art Review. Journal of Construction Engineering and Management, vol. 146, no. 1, ISSN 1943-7862. DOI 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001678.

GHARAIBEH, L., ERIKSSON, K. y LANTZ, B., 2024. Quantifying BIM investment value: a systematic review. Journal of Engineering, Design and Technology [en línea], vol. ahead-of-print, no. ahead-of-print, [consulta: 2 marzo 2025]. ISSN 1726-0531. DOI 10.1108/JEDT-06-2023-0259. Disponible en: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/jedt-06-2023-0259/full/html. world

IFCOPENSHELL, 2025. IfcOpenShell - The open source IFC toolkit and geometry engine. [en línea]. [consulta: 2 marzo 2025]. Disponible en: https://ifcopenshell.org/.

KO, J., AJIBEFUN, J. y YAN, W., 2023. Experiments on Generative AI-Powered Parametric Modeling and BIM for Architectural Design [en línea]. 1 agosto 2023. S.l.: arXiv. [consulta: 6 abril 2025]. arXiv:2308.00227. Disponible en: http://arxiv.org/abs/2308.00227.

TAICO-VALVERDE, B. y CASTILLO-SOSA, M., 2024. Integration of parametric design tools with artificial intelligence in the construction industry - a review. International Journal of Educational Practices and Engineering(IJEPE), vol. 1, no. 1, ISSN 3028-9882. DOI 10.70504/ijepe.v1i1.11009.

THAT OPEN COMPANY. [en línea], 2025. [consulta: 2 marzo 2025]. Disponible en: https://thatopen.com/.

ZHANG, F., CHAN, A.P.C., DARKO, A., CHEN, Z. y LI, D., 2022. Integrated applications of building information modeling and artificial intelligence techniques in the AEC/FM industry. Automation in Construction, vol. 139, ISSN 0926-5805. DOI 10.1016/j.autcon.2022.104289.

 BY-NC-SA

DESARROLLO DE APP PARA LA GESTIÓN INTELIGENTE DEL COMPLEJO DE ESTUDIOS SOCIALES CON BIM, IOT E IA

Carrasco-Rodríguez, Francisco; Ventura-Blanch, Ferrán; Hernández-Vilches, Pablo; Fernández-Leiva, Antonio J.; Bandera-Rubio, Juan Pedro.

Arquitecto por la ETSA de Madrid y Director de VOID Arquitectura, pacocarrascorodriguez@gmail.com; Doctor Arquitecto por la ETSA de Sevilla y Director del Laboratorio de Arquitectura Experimental Avanzada y Nuevas Tecnologías de la UMA, ferranventura@uma.es; Arquitecto por la ETSA de Granada e Investigador del Laboratorio de Arquitectura Experimental Avanzada y Nuevas Tecnologías de la UMA, pablohv@outlook.com; Doctor Ingeniero en Informática, Catedrático del Departamento de Lenguajes Ciencias de la computación de la UMA y Director de la Cátedra Estratégica de Videojuegos, Gamificación y Juegos Serios de la UMA, ajfernandez@uma.es; Doctor Ingeniero de Telecomunicación por la UMA y Profesor Titular del Departamento de Tecnología Electrónica de la UMA, jpbandera@uma.es.

Abstract

This article describes the research project "UMA Digital Twin (UMA DT)", funded by the Vice Rectorate of Smart-Campus at the University of Málaga and developed by an interdisciplinary team integrating three areas: Architecture, Telecommunications, and Computer Science.

The main objective was to develop a mobile application to visualize a BIM model of the UMA Social Studies and Commerce Complex. The BIM model includes submodels of architecture, plumbing, HVAC, lighting, and fire protection. The application also provides real-time data on temperature, humidity, CO2 levels, and space occupancy, obtained from IoT sensors installed in the building. Furthermore, it incorporates a predictive system based on artificial intelligence to estimate future room occupancy one hour in advance.

The project uses BIM, IoT, and artificial intelligence techniques to improve building management, optimizing access to and visualization of information for both users and maintenance staff.

***Keywords**: DigitalTwin, BIM (Building Information Modelling). Laser Scanning (LiDAR), Intert of Things (ItoT), Artificial Intelligence (AI), Building Management, Intelligent Maintenance.*

Resumen

Este artículo describe el proyecto de investigación "UMA Digital Twin (UMA DT)", financiado por el Vicerrectorado de Smart-Campus de la Universidad de Málaga y desarrollado por un equipo interdisciplinar que integra tres áreas: Arquitectura, Telecomunicaciones e Informática.

El objetivo principal fue desarrollar una aplicación móvil para visualizar un modelo BIM del Complejo de Estudios Sociales y Comercio de la UMA. El modelo BIM incluye submodelos de arquitectura, fontanería, HVAC, iluminación y protección contra incendios. La aplicación también proporciona datos en tiempo real sobre temperatura, humedad, niveles de CO2 y ocupación de los espacios, obtenidos de sensores IoT instalados en el edificio. Además, incorpora un sistema predictivo basado en inteligencia artificial para estimar la ocupación futura de las estancias con una antelación de una hora.

El proyecto utiliza técnicas de BIM, IoT e inteligencia artificial para mejorar la gestión del edificio, optimizando el acceso y la visualización de la información tanto para los usuarios como para el personal de mantenimiento.

***Palabras clave:** Gemelo Digital, BIM (Building Information Modelling), Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial (IA), Gestión de edificios, Mantenimiento Inteligente.*

BY-NC-SA

Introducción

Las tecnología del Gemelo Digital es un concepto emergente que se ha convertido en el centro de atención para la industria y, en los años más recientes, para la academia (Fuller, 2020). Esto es debido al avance en diversas tecnologías y metodologías en paralelo, como el escaneado laser digital, que permite la creación de nubes de puntos de alta precisión, la generación de modelos BIM (Building Information Modelling) que recoge la geometría y los parámetros de información de los objetos representados, la sensorización IoT (Internet of Things), capaz de recopilar datos ambientales y ópticos, Ia Inteligencia Artificial, que hace viable la creación de cálculos complejos en tiempo real y las plataformas de creación de aplicaciones interactivas y de videojuegos.

El empleo de estas tecnologías de forma coordinada permite la creación de modelos o réplicas digitales de edificios que representen de forma interactiva su geometría y muestren de forma contextualizada información y parámetros actualizables (temperatura, humedad, nivel de $C0_{2,,}$ ocupación), pudiendo ser recibidos en tiempo real por parte de los usuarios y los servicios de mantenimiento en sus teléfonos móviles a través e una aplicación.

1. Objetivo

Con el objeto de crear una aplicación de visualización del edificio del Complejo de Estudios Sociales y Comercio de la Universidad de Málaga, fue concebido el proyecto de investigación “UMA Digital Twin”, financiado por el Vicerrectorado de Smart-Campus de la Universidad de Málaga, el cual fue realizado por un equipo interdisciplinar que abarca las áreas de conocimiento necesarias para su ejecución: Arquitectura, Telecomunicaciones e Informática.

Dicha aplicación está enfocada a facilitar la gestión inteligente y eficiente del edificio mencionado por parte de los servicios de mantenimiento así como una utilización mejor informada de la infraestructura por parte de los usuarios.

2. Desarrollo

En esta sección se detallan de manera exhaustiva las actividades llevadas a cabo durante el desarrollo del proyecto de investigación, describiendo las técnicas, procedimientos y herramientas empleadas en cada fase del estudio. Estas actividades han sido organizadas en una secuencia lógica y estructurada para garantizar la claridad y transparencia del proceso metodológico, permitiendo una comprensión precisa de las decisiones adoptadas, las acciones ejecutadas y los resultados obtenidos a lo largo del proyecto.

2.1 Recopilación de datos

Se han recopilado planos del edificio en formato DWG, tanto del proyecto original como de su ampliación, junto con planos de instalaciones proporcionados por el sistema de mantenimiento existente Johnson Control. Además, se ha obtenido documentación de diversas fuentes, incluyendo inventarios económicos, datos ambientales, información sobre ocupación de la biblioteca y entrevistas con el personal. Toda esta información ha sido organizada y estructurada para la creación de una base de datos que servirá en el desarrollo del gemelo digital del edificio.

2.2 Escaneado digital 3d del edificio

Se llevó a cabo una planificación inicial de las capturas, tras lo cual se procedió a su ejecución a lo largo de varias jornadas de trabajo en el edificio. Para el proceso de escaneo digital, se empleó un escáner láser Faro Focus 3D X 330 HDR. En total, se realizaron más de 300 capturas, duplicando la estimación inicial. Como resultado, se generó un conjunto de nubes de puntos individuales, correspondientes a cada una de las capturas efectuadas en los distintos puntos de muestreo.

 BY-NC-SA

2.3 **Integración de nube de puntos**

Se procedió a la integración de las nubes de puntos individuales, las cuales fueron agrupadas para formar áreas específicas del edificio denominadas clusters, mediante procesos de alineación y adición. Este procedimiento se realizó mediante el uso del software *Faro Scene*. A partir de estos clusters, se generó una nube de puntos integral que se correspondía con la geometría real del edificio, la cual sirvió como base para la posterior creación del modelo BIM del edificio.

2.4 **Construcción del modelo BIM**

La nube de puntos integral se importó al software de modelado BIM Autodesk Revit, donde se modelaron diversos submodelos BIM asociados a las diferentes categorías de información tales como Arquitectura, Fontanería, Climatización, Iluminación y Protección Contra Incendios. Cada submodelo incluye información descriptiva en sus objetos, incrementando así su nivel de definición. Es importante señalar que fué necesario recurrir a diversas planimetrías para modelar determinadas instalaciones que, al estar ocultas, no pudieron ser captadas por el escáner. Con el objetivo de optimizar la transmisión de información, se decidió estructurar el modelo en función de diversas categorías, tipos de instalaciones y niveles, permitiendo así una gestión más eficiente de los archivos y facilitando su procesamiento por parte del equipo de programación.

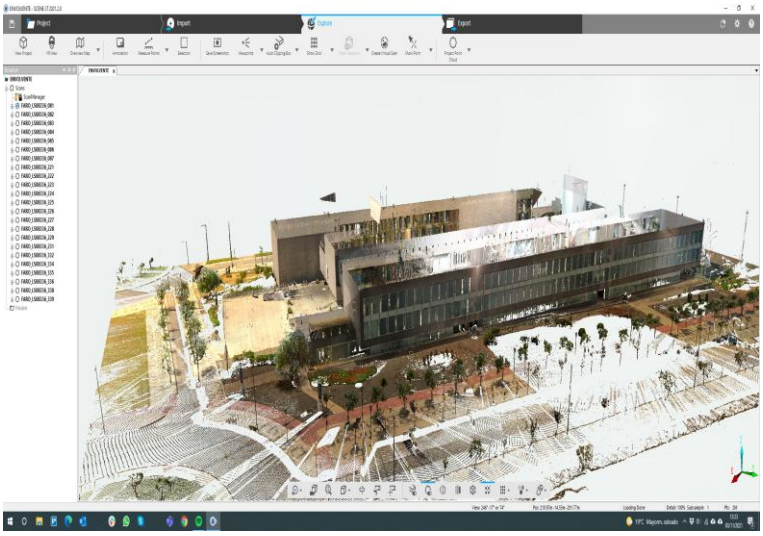


Fig. 1: Visualización de la nube de puntos integrada del Complejo de Estudios Sociales y Somercio de la Uma desde el software Faro Scene. Fuente: Elaboración Propia (2023)

BY-NC-SA

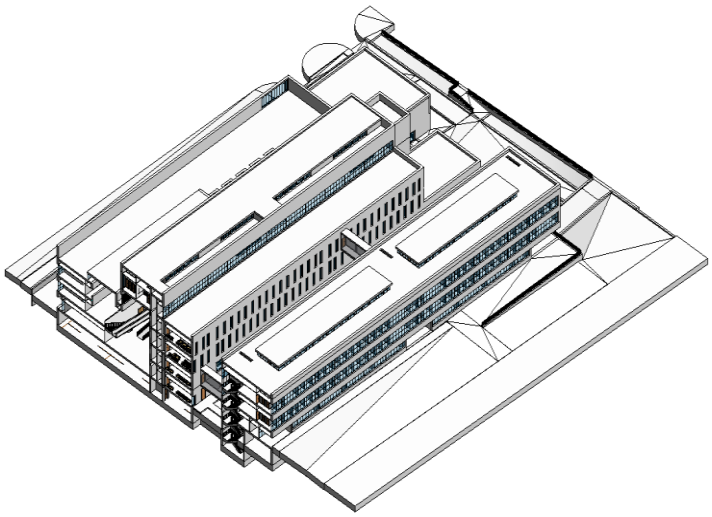


Fig. 2 Submodelo BIM de Arquitectura del Complejo de Estudios Sociales y Comercio de la UMA. Fuente: Elaboración Propia (2023)

2.5 **Diseño de la interfaz**

Se llevó a cabo un análisis de las diversas soluciones de gemelos digitales disponibles en el mercado, tales como TWINZO, POWERBIM e ITWIN con el objetivo de identificar los enfoques más adecuados para la implementación en el contexto del proyecto. A partir de este análisis se llevó a cabo una fase de diseño de todos los onterfaces de la aplicación, paso previo a sus posteriores desarrollos, los cuales incluyen un conjunto de funcionalidades clave y modos de visualización específicos orientados a mejorar la experiencia de usuario.

2.6 **Sensorización del edificio**

La sensorización integra por un lado el conjunto de datos ofrecidos por ocho sensores preexistentes de monitorización ambiental (temperatura, humedad y nivel de CO2) y por otro la información de ocupación en dos ubicaciones específicas del edificio (cafetería y entrada) mediante la instalación de dos sensores diseñados específicamente para el proyecto, denominados AVISPA-FESC, capaces de capturar tanto parámetros ambientales como datos relacionados con la ocupación de los espacios monitorizados, en este caso el vestíbulo y la cafetería, protegiendo la privacidad de los ocupantes gracias al procesamiento local de las imágenes directamente en el sensor, sin que los fotogramas sean almacenados ni enviados a otro dispositivo. Los sensores se conectan a la red WIFI “Eduroam”. El hardware de los sensores AVISPA-FESC están basados en Raspberry Pi 3 Model B+ y utilizan sensores BME680 y BME280 para medir temperatura, humedad y presión, y el sensor MH-Z14A para medir el nivel de CO_2. Las imágenes son capturadas por una Raspberry PiCamera V2. La carcasa de estos sensores también ha sido diseñada, y construida mediante impresión 3D para este proyecto.

2.7 **Construcción de la base de datos**

Se implementa en el servidor permanente WASPBRAIN (https://services.waspbrain.es/wiki/login) del grupo de investigación TIC-125, una base de datos del tipo InfluxDB, que almacena de manera integrada todos los datos generados por los sensores AVISPA-FESC, desarrollados específicamente para este proyecto, y por los sensores preexistentes, asegurando la interoperabilidad de ambos sistemas. En este mismo servidor, se ejecuta una instancia del software Grafana, el cual facilita la visualización de dichos datos a través de una interfaz web, y permite configurar alertas personalizadas mediante correo electrónico. Adicionalmente, el servidor integra una instancia de Telegraf que actúa como pasarela entre los datos transmitidos por los sensores de SOSTECO a través de un tópico MQTT hacia la base de datos InfluxDB del proyecto. Esta base de datos es consultada por la aplicación desarrollada en el marco del proyecto para la visualización de

 BY-NC-SA

datos en sus interfaces. Asimismo, es utilizada por los algoritmos de inteligencia artificial, que serán entrenados para la predicción de la ocupación de los espacios.

2.8 **Modelo de reconocimiento de personas**

Se ha desarrollado un modelo de reconocimiento de personas mediante el entrenamiento de una red neuronal profunda (DNN) con arquitectura YOLOv7, la cual, mediante transferencia de aprendizaje, es capaz de clasificar a las personas según su postura: de pie, sentadas o tumbadas. El modelo se entrenó con un conjunto de imágenes tomadas por las cámaras instaladas en los sensores. Aunque los resultados muestran tasas aceptables de detección, se produjeron algunos errores debido al volumen de datos de entrenamiento. La característica principal de esta DNN es que divide la imagen de entrada en cuadrículas de tamaño configurable, generando cuadros delimitadores y probabilidades de pertenencia a clases para cada cuadrícula. Los cuadros delimitadores localizan los objetos, mientras que las probabilidades indican la confianza del sistema en el reconocimiento de los objetos. Puesto que este tipo de redes usan entrenamiento supervisado, ha sido necesario etiquetar cada una de las imágenes. Para ellos se ha utilizado la aplicación LabelImg. Durante el etiquetado de las imágenes, cada persona que aparece en la misma es enmarcada con un cuatro que determina su localización y lo que de ella se ve en la imagen. Con este etiquetado, la DNN nos permite obtener el número de ocupantes de un espacio del edificio en tiempo real en términos relativos (porcentaje de ocupación).

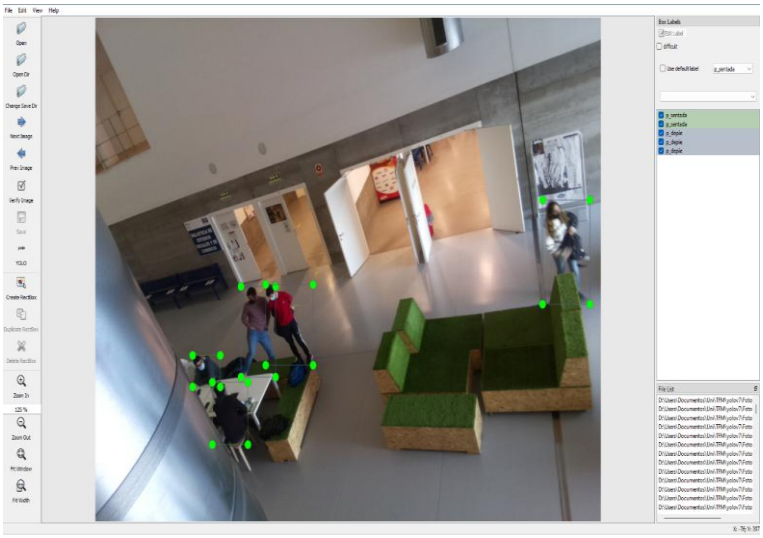


Figura 3: Etiquetado de fotograma capturado por los sensores AVISPA-FESC para el entrenamiento de la DNN. Fuente: Elabortación Propia (2023)

2.9 **Predicción de ocupación**

A partir de la detección es posible la elaboración de un sistema de predicción de ocupación. Para ello se ha diseñado, entrenado y validado un modelo de predicción de series temporales para estimar el número de personas que habrá en una determinada estancia con una hora de antelación. El modelo está basado en una red neuronal del tipo perceptrón multicapa. El sistema predice el número de personas en una estancia a una hora futura (h'= h+1) utilizando como entradas el número de personas en horas anteriores (h-1, h-2, h-3), la hora actual (h) y el día de la semana (d). El modelo puede reentrenarse con nuevos datos para adaptarse a nuevas tendencias y aplicarse a diferentes estancias

2.10 **Programación de la aplicación**

Se ha desarrollado una aplicación móvil para dispositivos Android que permite mostrar en 3D el modelo BIM del edificio del complejo de Estudios Sociales y Comercio de la UMA, visualizando de forma selectiva sus espacios, sus instalaciones de fontanería, iluminación, contraincendios y HVAC, así como parámetros

 BY-NC-SA

ambientales (temperatura, humedad y CO2) y de ocupación proveniente de los datos recogidos por los sensores del edificio.

La app, desarrollada con la plataforma de desarrollo de videojuegos y experiencias interactivas digitales *Unity*, permite realizar visualizaciones de modelos de edificios en tres dimensiones e interactuar con dichos modelos a través de dispositivos móviles y tablets. Los datos recogidos proceden del modelo BIM y de la base de datos InfluxDB.

El diseño de la interfaz es sencillo e intuitivo. A partir de un menú incial se da acceso diferenciado a la visualización del modelo BIM integrado, a los datos procedentes de los sensores instalados y a un apartado de reporte de incidencias creado para mejorar la comunicación entre los usuarios y los operarios del mantenimiento del edificio.

Los submodelos BIM de Arquitectura, Espacios e Instalaciones pueden visualizarse de forma integrada y aislada, desde niveles diferenciados para facilitar su comprensión, tanto en vista en planta como en vista axonométrica. Desde los mismos es posible acceder a las fichas de los objetos que contienen, así como visualizar los niveles de los parámetros ambientales y de ocupación de los sensores mediante una escala gráfica de colores.

A continuación, se muestran una serie de imágenes que explican visualmente el contenido gráfico y el nivel de información ofrecido por la aplicación desde una pantalla de un teléfono móvil. Cada imagen contiene tres visualizaciones de forma agrupada para favorecer la comprensión del contenido.

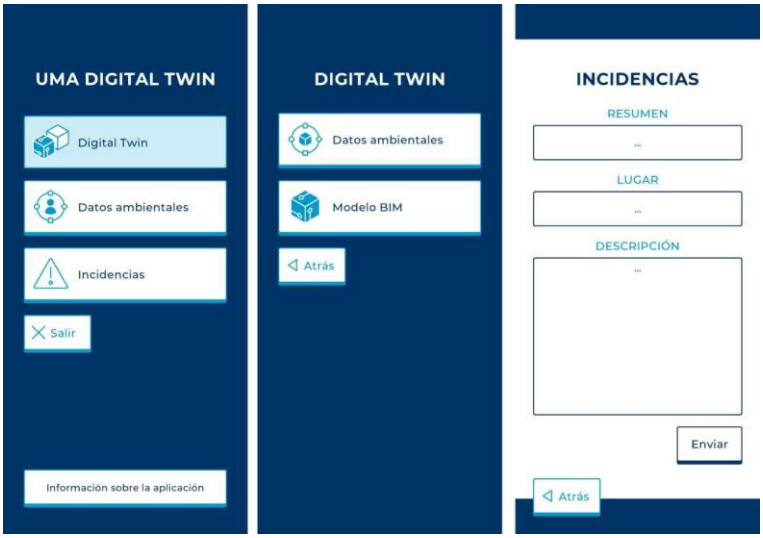


Fig. 4: Visualización del menú de acceso de la app que da acceso al modelo BIM, a los datos ambientales y al reporte de incidencias. Fuente: Elaboración Propia (2023)

BY-NC-SA

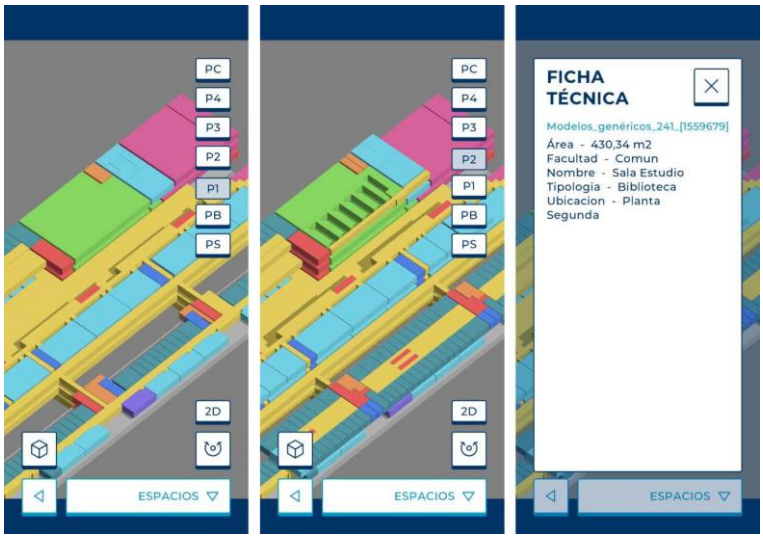


Fig.5: Visualización del submodelo BIM de espacios y de ficha técnica. Fuente: Elaboración Propia (2023)

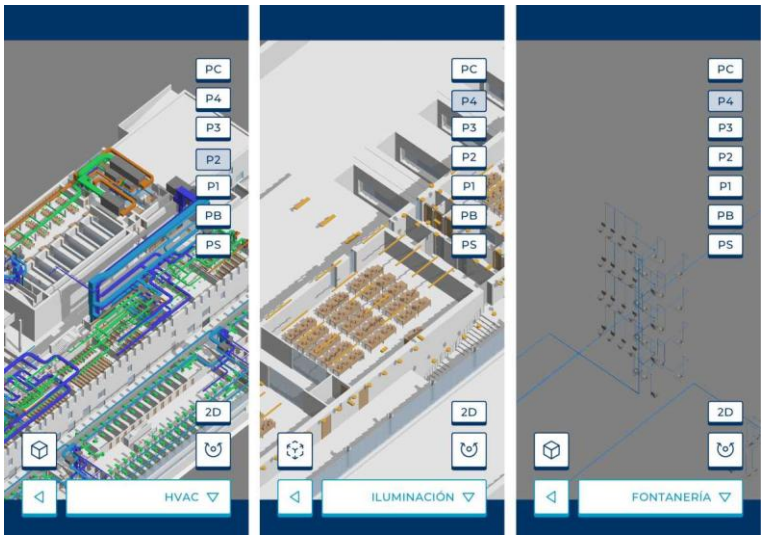


Fig.6: Visualización de los submodelos de instalaciones de forma integrada y aislada. Fuente: Elaboración Propia (2023)

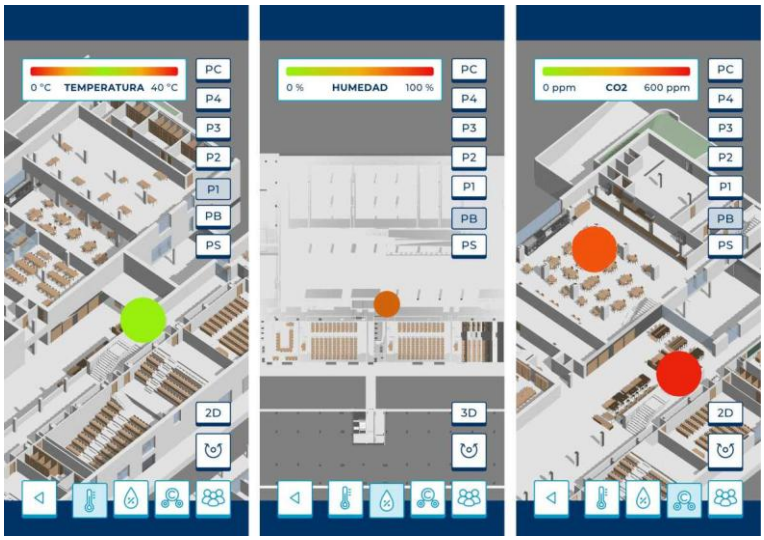


Fig. 7: Visualización de datos ambientales de forma integrada con el modelo BIM. Fuente: Elaboración Propia (2023)

BY-NC-SA

Fig.8: Visualización del apartado de datos ambientales y de ocupación a agrupados por sensores o por parámetros. Fuente: Elaboración Propia (2023)

3. **Conclusiones**

El proyecto de investigación “UMA Digital Twin” desarrolla una aplicación móvil destinada a la representación digital del espacio arquitectónico de un edificio, integrando información relevante para la gestión y el uso del mismo por parte de sus ocupantes. Su planteamiento, enmarcado en el ámbito de los gemelos digitales, constituye una innovación tecnológica que optimiza la interacción entre los usuarios y la infraestructura construida. La propuesta abre nuevas posibilidades para la visualización y administración de espacios construidos de manera accesible e inclusiva. Además, la aplicación trasciende su función como una herramienta de gestión al contribuir al desarrollo de edificios más eficientes y adaptativos, orientados a responder de manera óptima a las necesidades de sus usuarios en el futuro.

4. **Potenciales desarrollos futuros**

Basándonos en el análisis de los resultados obtenidos y las conclusiones se exponen a continuación los potenciales desarrollos de este tipo de aplicaciones tecnológicas:

- Incorporar nuevas capas de información relevantes en la gestión y uso del edificio como, por ejemplo, indicación de los recorridos de evacuación en caso de emergencia, inventario del equipamiento mobiliario, información sobre eventos, mostrar el menú de la cafetería, etc.
- Integrar en la aplicación un sistema de reserva tanto de aulas como de los puestos de la biblioteca que actualmente se gestionan mediante una aplicación independiente, generando falta de coordinación entre los sistemas de gestión y dificultad de acceso a los usuarios.
- Agregar la tecnología de la realidad aumentada para mostrar la información digital de forma superpuesta a la realidad física del inmueble para ofrecer una experiencia interactiva y enriquecida a los usuarios. Esta integración permitirá a los usuarios visualizar y acceder a datos relevantes sobre el espacio de forma intuitiva, mejorando su interacción con el entorno y optimizando la navegación en el inmueble.
- Expandir el alcance de la aplicación a nuevos edificios y espacios urbanos del Campus de Ampliación de Teatinos de la UMA para mejorar la experiencia de los usuarios. A medida que el campus crece y se desarrollan nuevos edificios o espacios, la aplicación puede escalarse para ofrecer información y servicios actualizados a una mayor cantidad de usuarios en un contexto más amplio.

BY-NC-SA

- Integrar datos sobre el uso de la energía y desarrollar nuevos modelos predictivos basados en Inteligencia Artificial sobre el rendimiento de las instalaciones para mejorar la eficiencia energética del edificio y reducir costes operacionales. Para ello, se identificarán patrones que permitan proponer soluciones inteligentes que permitan un uso más racional y económico de los recursos.

Referencias

FULLER, A., FAN, Z., DAY, C. y BARLOW,C. (2020). *Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research*. IEEE Access. Vol.8, pp. 108952-108971.

TWINZO. https://www.twinzo.com/ [Consulta: 31 de mayo de 2022]

POWERBIM. https://www.powerbim.io/es/ [Consulta: 31 de mayo de 2022]

ITWIN. https://www.https://www.bentley.com/software/itwin-platform/ [Consulta: 31 de mayo de 2022]

 BY-NC-SA

ANÁLISIS DEL RIESGO ATEX EN ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE METODOLOGÍA BIM

Núñez-Fernández, Mario; **Pacheco-Rodríguez, Christian Miguel; Cortés-Pérez, Juan Pedro; Yanza-Pérez, Christian Andrés**.
Investigador en Ciencias y Tecnologías de la Construcción, Departamento de Construcción de la Universidad de Extremadura, manunezf@unex.es; Investigador en Ciencias y Tecnologías de la Construcción, Departamento de Construcción de la Universidad de Extremadura, cmpachecor31@unex.es; Doctor Ingeniero de Caminos Canales y Puentes, Departamento de Construcción de la Universidad de Extremadura, jpcortes@unex.es; Investigador en Ciencias y Tecnologías de la Construcción, Departamento de Construcción de la Universidad de Extremadura; cyanza@alumnos.unex.es

Abstract

The design of wastewater treatment plants (WWTP) involves health and safety assessment, especially the management of the risk of generating explosive atmospheres (ATEX), generated by the interaction between explosive volumes and ignition sources, which is complex to interpret through a 2D analysis. On the other hand, it has been demonstrated that the integration of health and safety in BIM brings benefits in the prevention of occupational risks. However, its application in WWTP projects has not yet proliferated.

The aim of this paper is to analyse the ATEX risk that can occur in a WWTP, implementing it in BIM. In this study, a structure of parameters is proposed based on the variables that define this risk, allowing the clear identification of the equipment that can act as a source of ignition or a source of leakage. Finally, families are created that represent the volumes of explosive atmospheres, defined by means of the previous set of parameters.

As an application case, the ATEX risk generated by the leakage of methane gas in the sludge dewatering room of a WWTP has been analysed from its design phase.

***Keywords**: ATEX, BIM, WWTP, occupational risk prevention, health and safety, parameters, BIM families.*

Resumen

El diseño de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) implica la evaluación de la seguridad y salud, destacando la gestión del riesgo de generación de atmósferas explosivas (ATEX), generado por la interacción entre volúmenes explosivos y focos de ignición, y que resulta de compleja interpretación mediante un análisis 2D. Por otro lado, se ha demostrado que la integración de la seguridad y salud en BIM reporta beneficios en la prevención de riesgos laborales. Sin embargo, aún no ha proliferado su aplicación en proyectos de EDAR.

El objetivo de esta comunicación es el análisis del riesgo ATEX que puede producirse en una EDAR, implementándolo en BIM. En este estudio se propone una estructura de parámetros a partir de las variables que definen este riesgo, permitiendo la clara identificación de los equipos que pueden actuar como foco de ignición o fuente de escape. Finalmente, se crean familias que representan los volúmenes de las atmósferas explosivas, definidas mediante el conjunto de parámetros anterior.

Como caso de aplicación se ha analizado el riesgo ATEX generado por la fuga de gas metano en la sala de deshidratación de fangos de una EDAR desde su fase de diseño.

***Palabras clave:** ATEX, BIM, EDAR, prevención de riesgos laborales, seguridad y salud, parámetros, familias BIM.*

 BY-NC-SA

Introducción

En España, las operaciones de recogida y tratamiento de aguas residuales destacaron como una actividad con una notable incidencia de accidentes de trabajo en el año 2021 (INSST, 2022). Dentro de este sector se evidencian las cifras récord sobre accidentes en estaciones depuradoras de aguas residuales, EDAR en adelante, alcanzadas tanto a nivel europeo (Lambert and Woodward, 2011) como nacional (ASEPEYO, 2009), con una tendencia al alza en las últimas décadas.

Así, uno de los riesgos más relevantes resulta de la generación de atmósferas explosivas a partir de la mezcla de sustancias inflamables en forma de gases, vapores o polvos con el aire presente en espacios confinados, lo cual puede producir una combustión a partir del contacto de una ignición con la mezcla. Este es el reconocido riesgo ATEX (Real Decreto 681/2003, 2003), el cual, si bien presenta una frecuencia de ocurrencia relativamente baja, viene acompañado de unas consecuencias realmente severas, tanto a nivel de seguridad y salud, económico y medioambiental (Părăian et al., 2017). La extensión de las zonas ATEX según la NFPA-497 (NFPA-497, 2012) o la guía de Jespen (Jespen, 2016) se definen con esquemas en 2D. Por otro lado, la norma IEC 60079-10-1:2022 (IEC 60079-10-1 2020, 2020) y la UNE 202007:2006 IN (UNE 202007 IN: Guía de Aplicación de La Norma UNE-EN 60079-10, 2006) determinan las formas geométricas en 3D que definen las áreas de explosión, en oposición a los diagramas anteriores. Estas formas varían según el elemento inflamable. Para un gas o vapor a baja presión será un cilindro de altura simétrica o una esfera; si es alta presión será un cono o cilindro de altura asimétrica. No obstante, hoy día la representación de las atmósferas explosivas se sigue plasmando sobre planos en 2D, en contraposición a lo estipulado en la normativa.

Para definir cuantitativamente la zona afectada, la norma internacional IEC 60079-10-1 (IEC 60079-10-1 2020, 2020) establece variables como la tasa de escape (cantidad de gas inflamable por unidad de tiempo), el grado de dilución o la disponibilidad de ventilación. A mayor grado o disponibilidad de ventilación, menor será el riesgo. No obstante, la norma evalúa esta última variable únicamente de manera cualitativa, por lo que su valoración queda al criterio del técnico (Herrero-Sinovas, 2006). El resto de los factores sí pueden ser analizados de manera cuantitativa a través de las fórmulas propuestas en la normativa y manuales técnicos (Escuer Ibars and Garcia Torrent, 2005; Goberna, 1992; IEC 60079-10-1 2020, 2020; UNE 202007 IN: Guía de Aplicación de La Norma UNE-EN 60079-10, 2006).

En una EDAR, algunas de las zonas ATEX más relevantes pertenecen a la línea de fangos, que son residuos con carácter auto ignífugo durante su desecación (Medic Pejic et al., 2015). Además, durante su almacenamiento puede generarse metano (CH_4), gas combustible más ligero que el aire que puede incluso ocupar un espacio ventilado (Water Services Association of Australia, 2022).

Por otra parte, se ha demostrado que la metodología BIM resulta muy efectiva para identificar riesgos desde la fase de diseño, destacando las ventajas en la mejora del flujo de comunicación entre agentes y la reducción de errores humanos (Mayer et al., 2021). También se han observado beneficios en la optimización de manejo y organización de datos de seguridad de trabajadores durante las labores de mantenimiento de las instalaciones (Wetzel and Thabet, 2015). Además, ya existen estudios donde se constata la mejora de gestión de riesgos a través de la representación de sus envolventes 3D y la visualización del nivel de riesgo de acuerdo con las condiciones del entorno, pero aplicado al análisis del riesgo de líneas eléctricas sobre carreteras (Collado-Mariscal et al., 2022). Sin embargo, apenas existen estudios publicados en los que se emplee BIM para la mejora de gestión del riesgo ATEX.

En la actualidad una nueva directiva de depuración de aguas se encuentra en proceso de redacción, con el objetivo de adaptar los contenidos de las anteriores normativas a las necesidades sobre digitalización de EDAR para la gestión sostenible del agua (European Union, 2022). Se ha demostrado que BIM resulta de gran importancia para el diseño, ejecución y gestión de estas instalaciones (Wang et al., 2016), definiéndose Autodesk Revit ® como la herramienta válida para desarrollar sus modelos BIM (Dariva and Araujo, 2021). Así, autores como Campbell (Campbell, 2020) y entidades como Promedio (Cortés Pérez et al., 2021), encargada de la gestión de las depuradoras de la provincia de Badajoz, evidencian la importancia de introducir BIM en la gestión de las EDAR para la identificación y gestión de riesgos y la mejora de las

 BY-NC-SA

condiciones de seguridad y salud. Sin embargo, la integración de BIM en EDAR para el análisis de la seguridad y salud apenas presenta casos de aplicación. Por ejemplo, la investigación de Li et al. (Li et al., 2021), quienes abordan la monitorización del sulfuro de hidrógeno en BIM para obtener un sistema de alerta temprana, y la de Cortés et al. (Cortés-Pérez and Cortés-Pérez, 2021), quienes identifican las posibles fuentes de escape y focos de ignición de una EDAR que puedan dar lugar al riesgo de explosión.

Resulta imprescindible aplicar estas tecnologías para desarrollar una prevención a través del diseño (en adelante PtD), la cual engloba la seguridad y salud de todo el ciclo de vida del activo desde esta primera fase, mejorando la gestión de riesgos de otras etapas constructivas (Yuan et al., 2019). El estudio de Behm (Behm, 2005) concluyó que la PtD podría eliminar alrededor de un tercio de los riesgos laborales estudiados, teniendo en cuenta además que los riesgos no contemplados en el diseño podrían incrementarse en posteriores fases, intensificando las consecuencias de los accidentes.

Así, la propuesta para mejorar la gestión del riesgo ATEX mediante el empleo de tecnologías digitales resulta de gran importancia debido a la puesta en práctica de planes de construcción de nuevas EDAR en China o de mejora de las instalaciones de depuración existentes en Europa (Manig et al., 2019), teniendo en cuenta las políticas de la Unión Europea sobre la digitalización del ciclo de gestión del agua (Stein et al., 2022).

Este trabajo expone el proceso seguido con el objetivo de integrar el riesgo ATEX que tiene lugar en la sala de deshidratación de fangos de una EDAR en un modelo BIM, a partir de una propuesta de estructura de parámetros que representen las variables definitorias de este riesgo, así como la creación de las familias BIM de las atmósferas explosivas. Para ello, se organiza de la siguiente manera: en la sección 1 se describe la metodología empleada, en la sección 2 se exponen los resultados obtenidos a través de tablas e imágenes y en la sección 3 se finaliza con la discusión de resultados y las conclusiones obtenidas.

1. Metodología

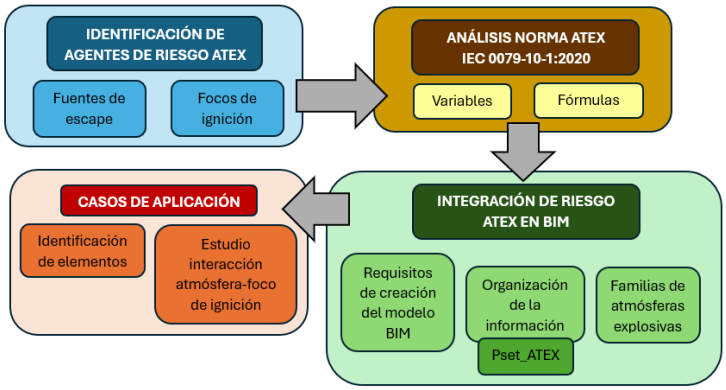


Figura 1. Flujo de trabajo. Fuente: Elaboración propia

1.1. Identificación de elementos de la red como agentes de riesgo ATEX

Para que pueda generarse riesgo ATEX, resulta imprescindible la existencia de: unas instalaciones cerradas, aunque tengan posibilidad de ventilación; una fuente de escape del gas inflamable y un foco de ignición que genere una chispa que contacte con la atmósfera explosiva.

1.1.1. Identificación de fuentes de escape y grado de escape

Según el manual de ASEPEYO (ASEPEYO, 2009), en esta investigación se consideran las fuentes de escape asociadas a la producción de metano las válvulas del edificio de deshidratación.

 BY-NC-SA

Por otro lado, entre los diferentes grados de escape que se pueden dar, el predominante en EDAR es el primario (IEC 60079-10-1 2020, 2020), caracterizado por ser continuo durante largos períodos de tiempo. Para su, identificación en el modelo BIM, se empleará el parámetro ATEX_01_FE, definido en la Tabla 2.

1.1.2. Identificación de focos de ignición

El estándar EN 1127-1 (EN 1127-1: 2020 Atmósferas Explosivas. Prevención y Protección Contra La Explosión. Parte 1: Conceptos Básicos y Metodología., 2020) distingue 13 tipos diferentes de focos de ignición. De ellos, en una EDAR hay dos elementos potenciales de la red de tratamiento de fangos, que son las bombas y las electroválvulas. Asimismo, habría que atender a otros elementos ajenos a la red considerados como focos de ignición fijos, como las tomas de corriente.

Así, la identificación de los focos de ignición se integra en el modelo BIM dentro del parámetro ATEX_02_FI del Pset_ATEX de los objetos BIM de estos elementos (Tabla 2).

1.2. **Determinación de clasificación y extensión de la zona ATEX**

Las zonas con riesgo de explosión se clasifican según la norma IEC 60079-10-1 (IEC 60079-10-1 2020, 2020), en función del grado de escape del gas, el grado de o dilución y la disponibilidad de ventilación. En esta investigación se emplean los valores estándar de la emisión de gas metano en interiores para flujo turbulento (UNE 202007 IN: Guía de Aplicación de La Norma UNE-EN 60079-10, 2006).

Para la caracterización geométrica de los volúmenes de las atmósferas explosivas se procede según las ecuaciones de la Figura 2, cuyas variables se exponen en la Tabla 1. A partir de los valores de la tasa de emisión del gas a la atmósfera *Wg*, el Límite Inferior de Explosividad *LIE* en kg/m^3 y el caudal de aire fresco a través del espacio considerado *Qa* (Goberna, 1992), valores que se consideran previamente definidos para esta investigación, se pueden obtener: (ec. 1) Cantidad mínima de aire fresco necesario para diluir el escape *Qa min* (UNE 202007 IN: Guía de Aplicación de La Norma UNE-EN 60079-10, 2006); (ec. 2) Número de renovaciones de aire fresco del local por unidad de tiempo c_0 y (ec. 3) Volumen peligroso teóricamente calculado de la atmósfera explosiva *Vz*, asociado a la geometría de cilindro o esfera (IEC 60079-10-1 2020, 2020), al ser la dirección de escape impredecible. Estos volúmenes quedarán definidos mediante las ecuaciones 4 y 5, con centro en la fuente de emisión y la altura del cilindro igual a su diámetro.

El grado de dilución se clasifica en Alto, Medio o Bajo y se evalúa a partir del caudal volumétrico *Qg* (ec. 6) y la concentración de fondo *Xb* (ec. 7). El valor de *Xb* se compara con el valor crítico de concentración de sustancia inflamable Xcrit, en este caso igual al 25% del LIE, valor al que se ajustan normalmente los detectores de gas para dispararse (IEC 60079-10-1 2020, 2020). Si *Xb* es mucho mayor *Xcrit* se considera que el grado de dilución es Bajo, si *Xb* es mucho menor que *Xcrit*, se considera que la sala está ventilada correctamente y el grado de dilución es Alto, y será Medio cuando la diferencia sea del 10%, valor que ha sido estimado para esta investigación.

La disponibilidad de ventilación influye de manera importante en la formación de riesgo ATEX y en el tipo de zona. Aunque la norma IEC 60079-10-1:2020 (IEC 60079-10-1 2020, 2020) establece tres niveles, estos quedan definidos de modo escueto, por lo que se consideran las especificaciones de Herrero-Sinovas (Herrero-Sinovas, 2006):

- Buena: la ventilación es permanente, porque el emplazamiento está al aire libre o porque existe ventilación artificial, con ventiladores de reserva automáticos en caso de avería.
- Justa: la ventilación existe durante el funcionamiento normal. Las interrupciones se permiten si son poco frecuentes y en períodos cortos.
- Pobre: no se cumplen los criterios anteriores, pero no se esperan interrupciones prolongadas.

La selección del valor asociado a este parámetro queda a criterio del técnico ATEX que realice la evaluación en BIM. En el caso de interiores, la ventilación natural nunca se considera buena.

 BY-NC-SA

A partir del grado de escape, el grado de ventilación y la disponibilidad de ventilación, dentro del modelo BIM se clasificarán las zonas ATEX en 0 (presente de modo permanente, o por un período de tiempo prolongado), 1 (es probable la formación de una atmósfera explosiva) o 2 (no es probable la formación de esta atmósfera, o que, de formarse, solo permanece brevemente), según la tabla D.1 de la norma IEC 60079-10-1:2020 (IEC 60079-10-1 2020, 2020).

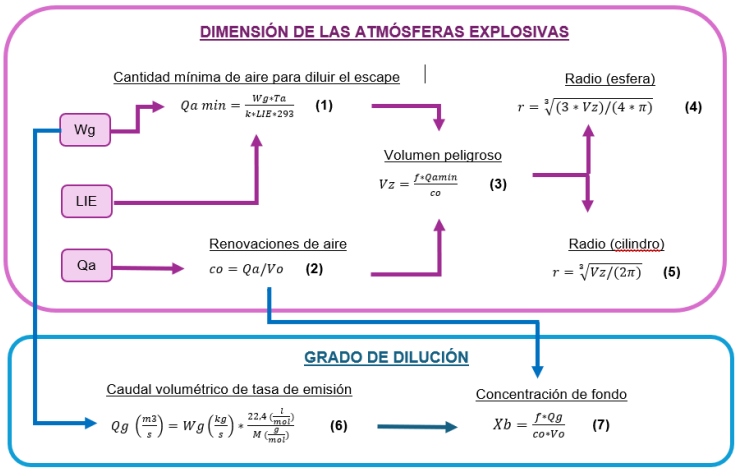


Figura 2. Fórmulas de la normativa. Fuente: Elaboración propia

Tabla 1. Variables de las fórmulas de la Figura 1. Fuente: Elaboración propia

Nombre	Descripción	Valor predefinido	Unidad de medida
	Fórmula 1		
$Q_{a\ min}$	Cantidad mínimas de aire fresco para diluir el escape	-	m^3/s
Wg	Tasa de emisión del gas	-	Kg/s
Ta	Temperatura ambiente	-	ºk
k	Factor de seguridad aplicado al LIE	k=0,25 para grados de escape primario	-
LIE	Límite Inferior de Explosividad	-	kg/m^3
	Fórmula 2		
c_o	Renovaciones de aire fresco del local por unidad de tiempo.	Para ambientes cerrados, cociente entre caudal de aire fresco real a través del espacio considerado (Q_a) y volumen del espacio analizado (V_o), el cual se obtiene como resultado de multiplicar el ancho (An) por la longitud (L) y por la altura (H) del habitáculo. En instalaciones al aire libre, c_o= 0.03/s.	-
	Fórmula 3		
Vz	Volumen peligroso teóricamente calculado	-	m^3
f	Factor de la eficacia de ventilación en la dilución de la atmósfera explosiva	Varía entre f=1 (situación ideal) a f = 5 (circulación dificultosa del aire motivada por obstáculos)	-
	Fórmula 6		
M	Masa molar	16,04 (metano)	Kg/kmol

1.3. **Integración de la información y evaluación del riesgo ATEX en el modelo BIM**

1.3.1. Creación del modelo BIM de la estancia a analizar

Para desarrollar el modelo BIM, se emplea el software Autodesk Revit ®, considerada como la herramienta válida para desarrollar el modelo BIM de una EDAR (Dariva and Araujo, 2021). Al centrarse esta

 BY-NC-SA

comunicación tan solo en el análisis del riesgo ATEX en la sala de deshidratación de fangos de una EDAR, se decide modelar tan solo esta estancia, junto con los equipos que se encuentran en su interior.

Los objetos BIM considerados como fuentes de escape y focos de ignición en el punto 1.1 de la presente comunicación deben ser representados al menos con un LOD300, a fin de encontrarse ubicados en su posición real dentro de las instalaciones y con su geometría completa.

1.3.2. Organización de la información ATEX en el modelo BIM

A fin de integrar la información no gráfica dentro de los objetos BIM que representan las fuentes de escape y los focos de ignición de estas instalaciones, se establece una estructura de parámetros específicos del análisis de riesgo ATEX mediante la creación del Pset_ATEX (Tabla 2). Todos los parámetros son de instancia, específicos de cada elemento, puesto que el análisis de este riesgo depende especialmente de las condiciones del entorno y características intrínsecas de cada fuente de escape. Todos los parámetros pertenecen a la disciplina Común y al grupo Datos. Se han asignado a las familias de Accesorios de tuberías, Equipos mecánicos y Aparatos eléctricos. La columna Dependencia hace referencia a si la variable está subordinada al tipo de gas que se analiza o no.

Tabla 2. Parámetros del Pset_ATEX. Fuente: Elaboración propia

Nombre	Descripción	Tipo	Dependencia	Valores ejemplo
ATEX_01_FE	Determina si el objeto BIM representa una fuente de escape	Sí/No	No	Sí/No
ATEX_02_FI	Determina si el objeto BIM representa o no un foco de ignición	Sí/No	No	Sí/No
ATEX_03_Gas	Identificación del gas causante del riesgo	Texto	Sí	Metano
ATEX_04_GE	Grado de la fuente de emisión o Grado de escape. Indica el grado de escape del gas, ya sea continuo, primario o secundario	Texto	No	Continuo, primario o secundario
ATEX_05_Wg	Tasa de emisión del gas [kg/s]	Número	Sí	-
ATEX_06_LIE	Límite inferior de explosividad (en kg/m^3)	Número	Sí	-
ATEX_07_Qa	Caudal de aire fresco a través del espacio considerado (m^3/s)	Número	No	-
ATEX_08_k	Factor de seguridad aplicado al LIE	Número	No	0,25 para grados de escape primario
ATEX_09_Ta	Temperatura ambiente [K]	Número	No	298
ATEX_10_c_0	Número de renovaciones de aire fresco del local por unidad de tiempo	Número	No	-
ATEX_11_An	Dimensión horizontal (Ancho) de la estancia a analizar [m]	Número	No	-
ATEX_12_L	Dimensión horizontal (Longitud) de la estancia a analizar [m]	Número	No	-
ATEX_13_H	Dimensión vertical (Altura) de la estancia a analizar [m]	Número	No	-
ATEX_14_Qamin	Cantidad mínima de aire fresco para diluir el escape [m^3/s]	Número	Sí	-
ATEX_15_f	Factor de la eficacia de ventilación en la dilución de la atmósfera explosiva	Número	No	[1-5]
ATEX_16_V	Volumen peligroso teóricamente calculado [m^3]	Número	Sí	-

BY-NC-SA

ATEX_17_M	Masa molar del gas [Kg/Kmol]	Número	Sí	16,04
ATEX_18_Qg	Caudal volumétrico de tasa de emisión [m^3/s]	Número	Sí	-
ATEX_19_Xb	Concentración de fondo	Número	Sí	-
ATEX_20_GV	Grado de ventilación o de dilución	Texto	Sí	Bajo, Medio, Alto
ATEX_21_DV	Disponibilidad de ventilación	Texto	No	Pobre, Justa, Buena
ATEX_22_Zona	Clasificación de la zona ATEX, según el grado de escape, el grado de ventilación y la disponibilidad de ventilación (tabla D.1 norma IEC 60079-10-1:2020)	Texto	Sí	Zona 0, Zona 1, Zona 2
ATEX_23_Geo	Permite representar geométricamente el volumen peligroso teóricamente calculado	Tipo de familia: Modelos genéricos	Sí	Esfera, Cilindro
ATEX_24_rEsf	Radio que define la esfera para representar geométricamente el riesgo [m]	Longitud	Sí	-
ATEX_25_rCil	Radio que define el cilindro para representar geométricamente el riesgo [m]	Longitud	Sí	-
ATEX_26_Vis	Indica si la geometría que representa el riesgo se encuentra visible o no	Sí/No	No	Sí/No

1.3.3. Generación de familias de las atmósferas

Para representar geométricamente la expansión del gas según IEC 60079-10-1:2020 (IEC 60079-10-1 2020, 2020), se han desarrollado dos familias BIM basadas en la familia de modelos genéricos, una esfera y un cilindro, vinculados sus radios con los parámetros *ATEX_24_rEsf* y *ATEX_25_rCil*, respectivamente. La altura del cilindro se corresponde con el doble de su radio, por lo que esta dimensión también viene condicionada por el parámetro *ATEX_25_rCil.* Estos objetos se anidan a las familias que representan las fuentes de emisión de gas de la sala de deshidratación: válvulas o bombas.

Así, el parámetro *ATEX_23_Geo* permite elegir entre uno u otra familia para representar la expansión del de la atmósfera explosiva, por lo que sirve como selector entre ambas familias. Por otro lado, el parámetro *ATEX_26_Vis* posibilita la visualización o no de la geometría representativa de este volumen explosivo, por lo que queda vinculado con la visibilidad de la familia.

2. **Resultados**

2.1. **Zona de estudio**

Con el objetivo de exponer los resultados de la aplicación de la metodología de trabajo previamente desarrollada, se escoge como caso práctico de instalación la EDAR de 15000 habitantes-equivalente. Esta EDAR, actualmente en explotación, cuenta con tratamiento primario, secundario y línea de fangos. Dentro de esta red se encuentra la sala de deshidratación, de donde se obtienen los resultados de esta comunicación. Esta estancia cuenta con válvulas de compuerta, que pueden trabajar como fuentes de escape de gas metano. Asimismo, cuenta con focos de ignición, como tomas de corriente o las propias bombas centrífugas que pueden llegar a producir una chispa que entre en contacto con el gas inflamable.

 BY-NC-SA

2.2. **Modelado digital de la información de seguridad y salud**

2.2.1. Información de referencia para el proceso de modelado

Los resultados que a continuación se exponen se han desarrollado a partir del modelo BIM de urbanismo, instalaciones y obra civil de la EDAR, cedido por la empresa AC2 INNOVACIÓN SL. Este modelo fue elaborado mediante el software Autodesk Revit en su versión 2022, tomando como referencia los planos *As Built* del proyecto y una nube de puntos generada a partir del escaneo de las instalaciones mediante un dron y láser escáner como sistema de contraste y control de la calidad del proceso de modelado. Este modelo cuenta con los muros delimitadores de la estancia y dos puertas, las conducciones de la red de fangos, las bombas de deshidratación, las válvulas de compuerta y una toma de corriente en el lado inferior derecho de la puerta izquierda (flecha roja en la Figura 3).

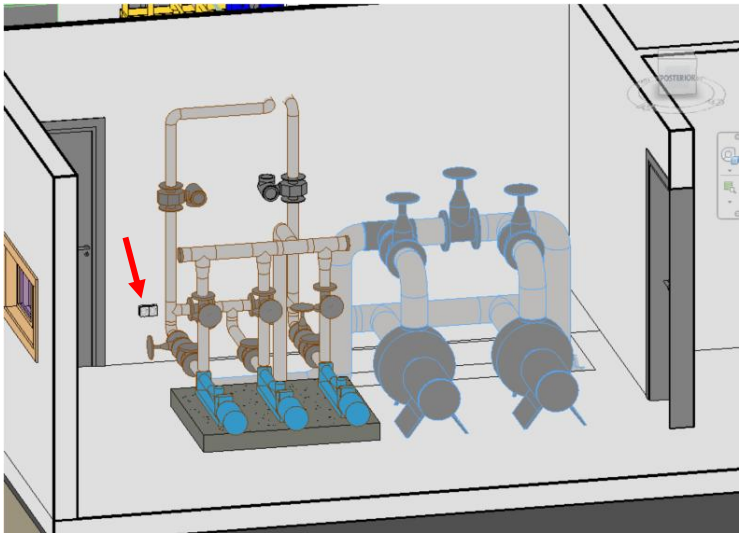
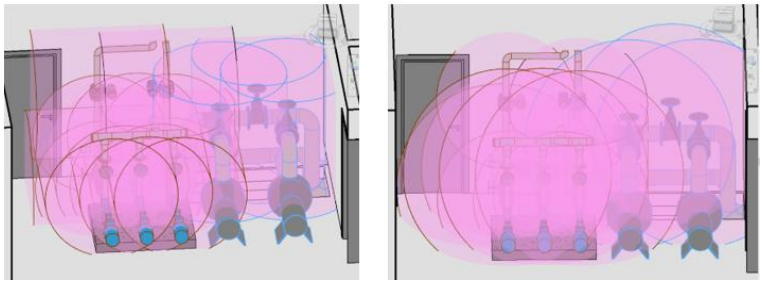


Figura 3. Red de tratamiento de fangos del edificio de deshidratación. Fuente: Elaboración propia

2.2.2. Organización de la información ATEX en el modelo BIM

Como resultados de la investigación, se adjuntan a continuación imágenes de las familias de los cilindros y esferas creadas como atmósferas explosivas, de modo que quedan representados los volúmenes potencialmente explosivos que conforman el riesgo ATEX, de manera visual e integrada dentro del entorno.



a) b)

Figura 4. Representación sobre el modelo BIM de las zonas ATEX con cilindros (a) y esferas (b). Fuente: Elaboración propia

Además, se muestra la estructura del Pset_ATEX integrada dentro de los objetos BIM de las instalaciones, por lo que la información del riesgo ATEX puede ser consultada desde el mismo modelo BIM, generando así un entorno visual que funciona como base de datos de las condiciones de seguridad y salud de las instalaciones.

BY-NC-SA

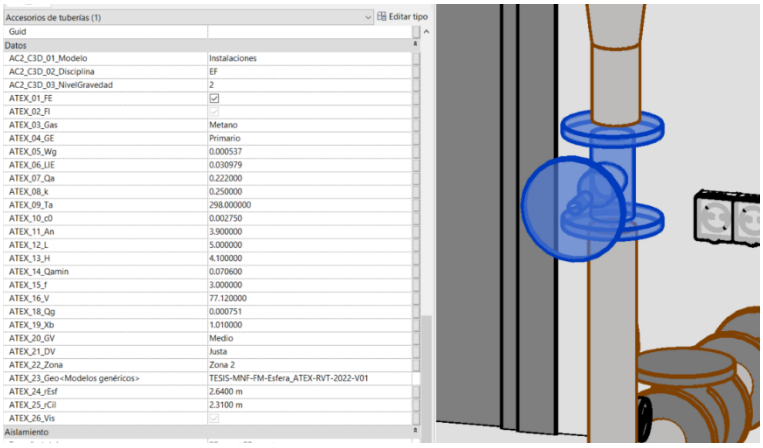


Figura 5. Parámetros del Pset_ATEX. Fuente: Elaboración propia

2.3. **Casos de aplicación**

2.3.1. Identificación de focos de ignición y fuentes de escape

A partir de los parámetros *ATEX_01_FE* y *ATEX_02_FI* de la Tabla 2, se puede crear un filtro de visualización para diferenciar de manera directa entre los focos de ignición y las fuentes de escape.

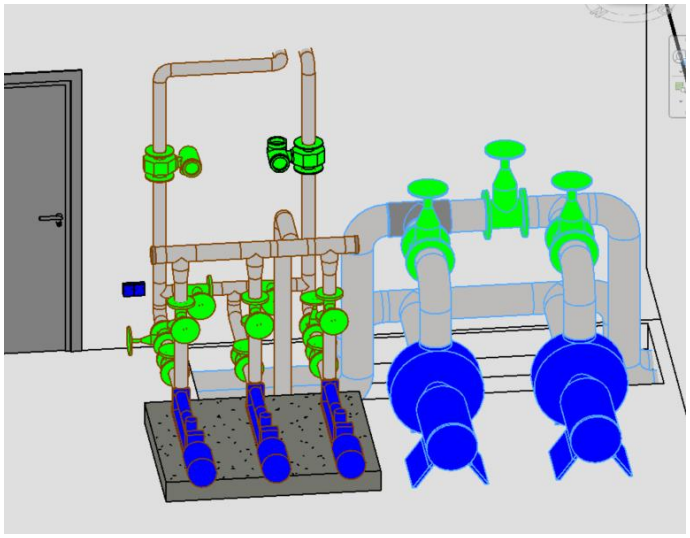


Figura 6. Filtro de visualización entre focos de ignición (azul) y fuentes de escape (verde). Fuente: Elaboración propia

De este modo, a partir de la Figura 6 se distinguen de manera directa y visual cómo las fuentes de escape vienen dadas por las válvulas de la red de fangos, mientras que los focos de ignición son representados por las bombas y la toma de corriente junto a la puerta. De primeras, puede realizarse un análisis previo: al estar las bombas tan cerca de las válvulas, lo más seguro es que interactúen con las atmósferas explosivas, por lo que, si no se pretende cambiar el diseño de la instalación reubicándolas fuera del alcance de estas, será necesario que dispongan de la debida protección ATEX para evitar la generación de chispas o llamas que puedan provocar una explosión en las instalaciones.

2.3.2. Evaluación del tipo de zona ATEX

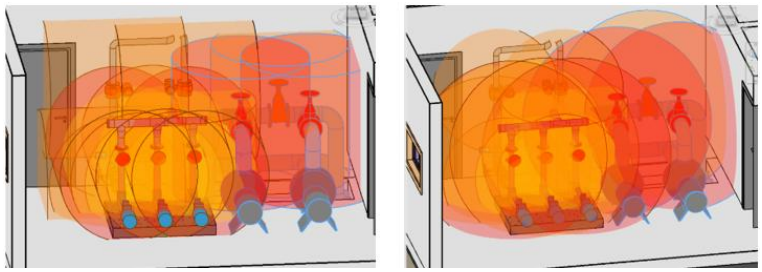
Configurando otro filtro con respecto del parámetro ATEX_22_Zona de la Tabla 2, pueden identificarse los tipos de zonas ATEX presentes. Mediante este filtro, según el tipo de zona asignado para cada fuente de escape, la geometría correspondiente a su atmósfera explosiva de visualizará según los colores expuestos

 BY-NC-SA

en la Tabla 3. De esta manera, se obtiene un mapa de colores formado por el conjunto de esferas o cilindros, donde se distingue visualmente, en función del color específico de cada volumen, los distintos tipos de zona. Como las fuentes de escape se encuentran en posiciones cercanas entre sí, lo más probable es que las atmósferas de diferentes colores colisionen (Figura 7). A efectos de seguridad y salud, de esta superposición prevalecerá aquel volumen de color rojo, en primera instancia, después naranja y, finalmente, amarillo. Esto implicará una gestión de la zona de interferencia aplicando las medidas correspondientes a la zona más perjudicial, fomentando así la prevención del riesgo ATEX estableciendo un margen de seguridad. De esta manera se pretende que los gestores de las instalaciones sean conscientes de la situación de riesgo, a fin de acometer las medidas de corrección o prevención oportunas.

Tabla 3. Descripción del filtro por zonas ATEX, según la tabla D.1 de la norma IEC 60079-10-1:2020 (IEC 60079-10-1 2020, 2020). Fuente: Elaboración propia

Tipo de zona	Color	Descripción
Zona 2	Amarillo	No es probable, en condiciones normales de explotación, la formación de una atmósfera explosiva, o, de formarse, dicha atmósfera solo permanece durante breves períodos de tiempo
Zona 1	Naranja	Es probable la formación de una atmósfera explosiva en condiciones normales de explotación
Zona 0	Rojo	La atmósfera está presente de modo permanente, o por un período de tiempo prolongado, o con frecuencia

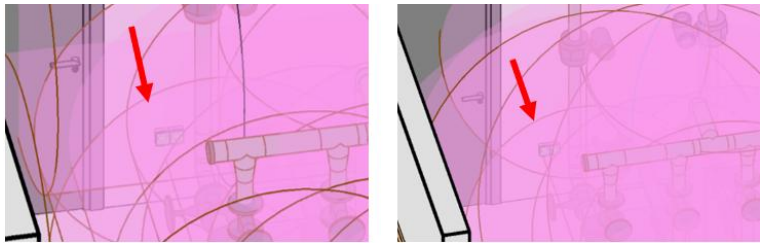


a) b)

Figura 7. Filtro de zonas ATEX, con cilindros (a) y esferas (b). Fuente: Elaboración propia

2.3.3. Detección de puesta en contacto entre foco de ignición y atmósfera explosiva

Finalmente, mediante la representación de estas atmósferas explosivas desde las fuentes de escape puede analizarse el contacto entre las mismas con algún foco de ignición, como una toma de corriente.



a) b)

Figura 8. Interacción entre atmósferas explosivas con foco de ignición: toma de corriente con cilindros (a) o esferas (b). Fuente: Elaboración propia

Así, en el caso de la Figura 8.a y b, se tiene que un foco de ignición fijo, como una toma de corriente, se encuentra en el interior de las atmósferas explosivas. En ese caso, el técnico-gestor de las instalaciones tendría que o bien incorporar las debidas protecciones ATEX a la toma de corriente o reubicarla fuera de las zonas de alcance de las atmósferas explosivas. El análisis del riesgo ATEX, en este caso, influye en el diseño de las instalaciones, por lo que su atención en fases iniciales del proyecto resulta de especial interés.

BY-NC-SA

3. Conclusiones

La revisión de la bibliografía indica que el riesgo ATEX sigue suponiendo una de las causas de siniestros en estaciones depuradoras de aguas residuales con consecuencias altamente impactantes. Este análisis invita a la reflexión sobre la necesidad de implantar mejorar en la gestión de este riesgo. Una de las vías de mejoras es la digitalización de procesos y tareas a través de la integración de tecnologías digitales y de la metodología BIM, la cual ha reportado beneficios cuando se emplea para tratar la seguridad y salud de los trabajadores. Sin embargo, su implementación en la gestión de riesgos en EDAR resulta aún escasa.

Identificadas estas brechas de conocimiento, la presente comunicación tiene como objetivo establecer el procedimiento para integrar dentro de BIM la gestión del riesgo ATEX al que se exponen los trabajadores de EDAR, a fin de mejorar su prevención y aumentar la concienciación alrededor de este peligro.

Para ello, se ha abordado una metodología en la que se han establecido los aspectos de la normativa ATEX que deben ser tenidos en cuenta para la evaluación del este riesgo y cuyas variables serán implementadas dentro del modelo BIM. Posteriormente se ha estructurado esta información de manera organizada a través de la creación de un conjunto de parámetros del riesgo ATEX, denominado Pset_ATEX, el cual se integra dentro del modelo BIM mediante las familias de elementos que representan las fuentes de emisión y focos de ignición. Asimismo, se han dispuesto los requisitos mínimos para crear el modelo BIM de las instalaciones a estudiar y para la generación de las familias que representan los volúmenes inflamables.

El principal beneficio que aporta la integración del riesgo ATEX en un modelo BIM sobre el hecho de que esta tecnología permite identificar riesgos invisibles sobre el entorno físico. Este proceso ofrece un enfoque innovador, ya que podría emplearse como complemento para la concienciación de riesgos y formación de trabajadores en Prevención de Riesgos Laborales. Asimismo, el modelo sirve como base de datos que alberga la información, gráfica y no gráfica, sobre los condicionantes ATEX, permitiendo la simulación de escenarios de riesgo sin ninguna consecuencia, así como la propuesta de medidas preventivas o correctoras.

Las posibles líneas de investigación que quedan abiertas estarían relacionadas con la exportación de este modelo BIM en realidad virtual o aumentada, a fin de facilitar las tareas de formación preventiva a los trabajadores y la concienciación sobre el riesgo. Asimismo, también resultaría óptimo crear scripts de Dynamo que permitiesen conectar la información contenida en los parámetros con una base de cálculo, automatizando la obtención del nivel de riesgo, sin que el técnico tenga que hacerlo en un entorno externo al modelo BIM.

Referencias

ASEPEYO. (2009). *Guía de buenas prácticas depuradoras de aguas. Monografía Estudio EDAR*.

Behm, M. (2005). Linking construction fatalities to the design for construction safety concept. *Safety Science*, *43*(8), 589–611. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.04.002

Campbell, E. (2020). LEADING EDGE SAFETY-BY-DESIGN OF A WASTEWATER SOLIDS PRETREATMENT FACILITY. *IEEE-Industry-Applications-Society (IAS) Electrical Safety Workshop (ESW)*.

Collado-Mariscal, D., Cortés-Pérez, J. P., Cortés-Pérez, A., and Cuevas-Murillo, A. (2022). Proposal for the Integration of the Assessment and Management of Electrical Risk from Overhead Power Lines in BIM for Road Projects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*(20). https://doi.org/10.3390/ijerph192013064

Cortés Pérez, A., Collado Mariscal, D., Cuevas Murillo, A., Tena Medina, F., and Brias Espino, J. M. (2021). *Sistema de gestión de la información de las EDARs desarrolladas con metodología BIM*.

Cortés-Pérez, J. P., and Cortés-Pérez, A. (2021). ANÁLISIS DE ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS (ATEX) EN ESTACIONES DEPURADORAS DE AGUAS RESIDUALES (EDAR) MODELIZADAS CON METODOLOGÍA BIM. *Fundación Prevent*, 1–40.

Dariva, M. A., and Araujo, A. (2021). Implementation, Performance and Waste Management Analysis of Decentralized Wastewater Treatment Systems Using BIM Technology. *Lecture Notes in Civil Engineering*.

EN 1127-1: 2020 Atmósferas Explosivas. Prevención y Protección Contra La Explosión. Parte 1: Conceptos Básicos y Metodología. (2020).

 BY-NC-SA

Escuer Ibars, F., and Garcia Torrent, J. (2005). *MANUAL PRÁCTICO Clasificación de zonas en atmósferas explosivas*.

European Union. (2022, October 26). *Proposal for a revised Urban Wastewater Treatment Directive*. https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-revised-urban-wastewater-treatment-directive_en

Goberna, R. (1992). *VENTILACIÓN INDUSTRIAL: Manual de recomendaciones prácticas para la prevención de riesgos laborales* (1st ed.).

Herrero-Sinovas, M. (2006). Guía para la realización del documento de protección contra explosiones. In *Dirección General de Trabajo y Prevención de Riesgos Laborales*.

IEC 60079-10-1 2020, International Electrotechnical Commission (2020).

INSST. (2022). *Actividades prioritarias en función de la siniestralidad. Año 2021*. https://doi.org/118-22-063-0

Jespen, T. (2016). *Springer Series in Reliability Engineering ATEX-Explosive Atmospheres Risk Assessment, Control and Compliance* (H. Pham, Ed.). Springer Series in Reliability Engineering. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31367-2

Lambert, P. G., and Woodward, J. L. (2011). Learning from events: Major process safety incidents from waste water in process chemical plants, or take care of your waste water or it will take care of you. *Process Safety Progress*, *30*(1), 45–51. https://doi.org/10.1002/prs.10433

Li, J. L., Chen, L. M., and Xu, H. (2021). Intelligent Construction, Operation, and Maintenance of a Large Wastewater-Treatment Plant Based on BIM. *Advances in Civil Engineering*, *2021*. https://doi.org/10.1155/2021/6644937

Manig, N., Beier, M., and Rosenwinkel, K.-H. (2019). *Future-oriented Strategic Planning of Wastewater Treatment Plants* (pp. 57–68). Urban Water Management for Future Cities. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01488-9_3

Mayer, P., Funtík, T., Gašparík, J., and Makýš, P. (2021). Analysis of the current state of automation of hazard detection processes in bim in Slovakia. *Applied Sciences (Switzerland)*, *11*(17). https://doi.org/10.3390/app11178130

Medic Pejic, L., Fernandez Anez, N., García Torrent, J., and Ramírez-Gómez, Á. (2015). Determination of spontaneous combustion of thermally dried sewage sludge. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *36*, 352–357. https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.01.013

NFPA-497 (2012).

Părăian, M., Burian, S., Magyari, M., and Moldovan, L. (2017). *Aspects regarding explosion risk assessment*. https://doi.org/10.1051/matecconf/201712111016

Real Decreto 681/2003, Boletín Oficial del Estado 23341 (2003). http://www.boe.es/boe/dias/2003/06/18/pdfs/A23341-23345.pdf

Stein, U., Bueb, B., Englund, A., Elelman, R., Amorsi, N., Lombardo, F., Corchero, A., Brékine, A., Lopez Aquillar, F., Ferri Co-authors, M., Abella Garcia, A., Manuel Fernández Montenegro, J., Chen, A., Moumtzidou, A., Vries, D., Caradot, N., Ugarelli, R., Vennesland, A., Sgroi, M., … Vacher, A. (2022). *Digitalisation in the Water Sector Recommendations for Policy Developments at EU Level*.

UNE 202007 IN: Guía de Aplicación de La Norma UNE-EN 60079-10, UNE (2006).

Wang, J., Han, X., Qun, M., and Luan, F. (2016). *Research on the Application of BIM in Sewage Treatment Project*.

Water Services Association of Australia. (2022). *GUIDELINES FOR POTENTIALLY EXPLOSIVE ATMOSPHERES*. https://www.wsaa.asn.au/

Wetzel, E. M., and Thabet, W. Y. (2015). The use of a BIM-based framework to support safe facility management processes. *Automation in Construction*, *60*, 12–24. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.09.004

Yuan, J., Li, X., Xiahou, X., Tymvios, N., Zhou, Z., and Li, Q. (2019). Accident prevention through design (PtD): Integration of building information modeling and PtD knowledge base. *Automation in Construction*, *102*(January), 86–104. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.015

 BY-NC-SA

AUTOMATIZACIÓN DE LA INTRODUCCIÓN DE LA INFORMACIÓN DE INSPECCIONES DE PUENTES EN MODELOS BIM

Atencio, Edison; Lozano-Galant, Fidel; Montalvo, Angela; Porras, Rocío; Lozano-Galant, José Antonio
Escuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (Chile), edison.atencio@pucv.cl; Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) (España).

Abstract

To ensure the adequate structural and functional condition of bridges, periodic on-site inspections are conducted. These inspections often rely on manual processes, reducing efficiency and data accessibility. Furthermore, the information obtained is rarely connected to virtual bridge models developed using the Building Information Modelling (BIM) methodology. This article presents a methodology to automate incorporating information from bridge inspections. Using a parametric programming tool, this methodology enables the automatic transfer of georeferenced inspection data from on-site assessments to the bridge's BIM model. The goal of this integration is to optimize decision-making in maintenance operations. The proposed approach is validated through a real inspection on a concrete bridge on the CM42.

***Keywords**: digitalization, bridge inspection, geographical system identification, building information modeling, bridge management system, maintenance, digital twin.*

Resumen

Para garantizar el adecuado estado estructural y funcional de los puentes, se realizan inspecciones periódicas in situ. Estas inspecciones suelen depender de procesos manuales, lo que reduce tanto la eficiencia como la accesibilidad de los datos. Además, la información obtenida rara vez se conecta con los modelos virtuales de los puentes desarrollados mediante la metodología Building Information Modelling (BIM). En este artículo, se presenta una metodología para automatizar la incorporación de la información procedente de las inspecciones de puentes. Esta metodología permite transferir automáticamente información georreferenciada de las inspecciones in situ al modelo BIM del puente, utilizando una herramienta de programación paramétrica. Esta integración tiene como objetivo optimizar la toma de decisiones en las operaciones de mantenimiento. El enfoque propuesto se valida a través de una inspección real realizada en un puente de hormigón situado en la CM42.

***Palabras clave:** digitalización, inspección de puentes, identificación de sistemas geográficos, modelado de información de construcción, sistema de gestión de puentes, mantenimiento, gemelo digital.*

 BY-NC-SA

Introducción

El mantenimiento continuo y las reparaciones son esenciales para garantizar la funcionalidad y seguridad de los puentes a lo largo de su ciclo de vida. La falta de mantenimiento adecuado puede acelerar el desarrollo de patologías estructurales, como lo evidenció (Aktan et al. 1996), quienes identificaron que el 21.4% de los puentes analizados en EE.UU. requerían rehabilitación debido a insuficiencias en las estrategias de mantenimiento. Uno de los factores clave en la degradación estructural radica en las propiedades mecánicas de los materiales de construcción. Si no se monitorean adecuadamente, pueden comprometer la estabilidad de la estructura, lo que subraya la importancia de estrategias de mantenimiento proactivas.

Para optimizar el mantenimiento, se realizan inspecciones periódicas que permiten evaluar el estado del puente mediante la asignación de índices de daño (Gattulli & Chiaramonte, 2005). Estas inspecciones se clasifican en rutinarias, que consisten en exámenes visuales generales; principales, que implican evaluaciones detalladas por ingenieros especializados; y especiales, que se llevan a cabo en respuesta a problemas detectados previamente para orientar trabajos de reparación o refuerzo. Recientes estudios han propuesto mejoras en estos protocolos. (Matos et al. 2023) desarrollaron un marco de control de calidad basado en indicadores clave de desempeño (KPIs), mientras que (Sacks et al., 2018) diseñaron el protocolo SeeBridge, que emplea sensores remotos e integración con modelos de información.

A pesar de estos avances, (Abdallah et al. 2022) evidenciaron que la mayoría de los protocolos de inspección de puentes siguen basándose en procesos manuales, lo que conlleva múltiples problemas. Entre los principales desafíos se encuentran los errores en la entrada de datos debido a la documentación manual, la lentitud en la recolección de información, la accesibilidad limitada de los registros, la dificultad en el análisis de datos, la falta de actualizaciones en tiempo real y la escasa integración con otros sistemas, como los modelos BIM o los sistemas de gestión de mantenimiento.

En el contexto de la transformación digital impulsada por la Industria 4.0, la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) están adoptando herramientas innovadoras para optimizar la gestión de infraestructuras. En este sentido, los Sistemas de Gestión de Puentes (BMS) han demostrado su efectividad al integrar diversas tecnologías digitales (Shim et al., 2019). Nepomuceno et al. (2021) realizaron una revisión del estado del arte sobre el uso de estas tecnologías en inspección de puentes, destacando herramientas como visión por computador (Lou et al., 2023), drones UAV (Hubbard & Hubbard, 2020), cámaras 360º (Humpe, 2020), realidad aumentada (Lozano-Galant et al., 2024) realidad virtual (Jauregui & White, 2003), escáneres láser y nubes de puntos, robots de inspección (Akutsu, 2017), sistemas de información geográfica (GIS) (Deng et al., 2016), *big data* (Kobayashi & Kaito, 2018), internet de las cosas (IoT) (Komarizadehasl et al., 2022), inteligencia artificial (AI) (Wang et al., 2023) y monitoreo de salud estructural (Chacon et al., 2023).

A pesar del avance en la digitalización, la mayoría de los trabajos en la literatura utilizan software comercial de GIS, lo que limita su conectividad con modelos BIM. Para superar esta brecha, este artículo presenta una herramienta de código abierto que digitaliza las inspecciones de puentes, integrando GIS con programación paramétrica para automatizar la calibración de resultados en modelos BIM.

La metodología se valida mediante un estudio de caso en un puente real en España, demostrando su aplicabilidad y ventajas en la gestión del mantenimiento de infraestructuras. Finalmente, este trabajo busca optimizar las estrategias de inspección y mantenimiento de puentes, mejorando la eficiencia y precisión de los procesos mediante herramientas digitales avanzadas.

1. Metodología de inspección digital de puentes

Esta sección presenta una metodología para la calibración automática del modelo BIM con patologías identificadas en sitio mediante dispositivos móviles, como *tablets* o *smartphones*. Estos dispositivos utilizan una aplicación GIS personalizada para georreferenciar las patologías detectadas, mientras que una herramienta de programación paramétrica permite incorporarlas automáticamente en su ubicación

 BY-NC-SA

correspondiente dentro del modelo BIM. Esta metodología se resume en tres pasos, como se muestra en la Figura 1:

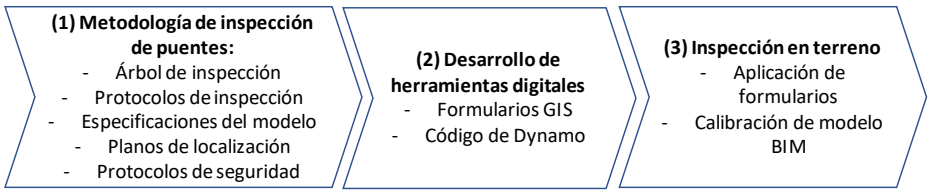


Fig. 1 Pasos del protocolo de inspección digital de puentes

Siguiendo la Figura 1, antes de realizar la inspección del puente, es necesario establecer los objetivos de la evaluación, los cuales determinan el tipo de inspección a realizar. Las inspecciones pueden clasificarse en rutinarias, enfocadas en la evaluación visual de los elementos del puente para detectar posibles patologías, o especiales, que analizan patologías específicas y pueden requerir acceso a elementos estructurales con medios auxiliares y pruebas de laboratorio. Para lograr una inspección eficiente, se establecen varios protocolos clave, como el árbol de inspección, que organiza y clasifica los elementos del puente en superestructura, subestructura, cubierta y elementos del tablero, sistemas de soporte y elementos especiales. Además, se definen los protocolos de inspección digital para la selección de dispositivos y recolección de datos en la aplicación GIS, junto con las especificaciones del modelo BIM, como el Nivel de Detalle (LOD) y el Nivel de Información (LOI) según el Plan de Ejecución BIM (BEP). También se establecen planos del puente para el posicionamiento de patologías y protocolos de seguridad para garantizar condiciones óptimas durante la inspección.

En la fase de desarrollo de herramientas digitales, se personalizan las soluciones tecnológicas para cumplir con los requisitos establecidos en la metodología. Se implementa una aplicación GIS en ArcGIS con formularios georreferenciados alineados con el plano del puente y el árbol de inspección, los cuales pueden completarse en sitio mediante una *tablet*. Asimismo, se desarrolla un algoritmo paramétrico en Dynamo que automatiza la calibración del modelo BIM con los datos obtenidos en GIS, permitiendo la incorporación automática de las coordenadas georreferenciadas de las patologías detectadas.

Una vez desarrolladas las herramientas digitales, se lleva a cabo la inspección digital en sitio. Si no existe un gemelo digital del puente, se crea un modelo BIM a partir de planos o nubes de puntos, respetando los niveles de LOD y LOI definidos en el BEP. Posteriormente, se aplica el protocolo digital de inspección utilizando los formularios GIS desarrollados, reemplazando las hojas de inspección tradicionales. Finalmente, la herramienta de programación paramétrica se emplea para automatizar la inserción de las patologías identificadas en el modelo BIM.

El proceso de calibración del modelo BIM con los resultados de la inspección digital sigue tres pasos: primero, se realiza la inspección digital en sitio utilizando la aplicación GIS; segundo, los resultados de la inspección se exportan a una hoja de cálculo en Excel; y tercero, el modelo BIM se calibra automáticamente con los datos obtenidos mediante el algoritmo paramétrico en Dynamo. Esta metodología optimiza la recolección, gestión y visualización de datos de inspección, asegurando una integración eficiente con modelos BIM y mejorando la precisión en la toma de decisiones para la gestión y mantenimiento de infraestructuras.

2. **Aplicación GIS de código abierto**

El software QGIS ha sido seleccionado para la solución propuesta debido a su naturaleza de código abierto. Sus principales ventajas incluyen su facilidad de personalización, el sólido respaldo de su comunidad con una amplia variedad de complementos y su compatibilidad con múltiples plataformas. Entre estas, destaca su conectividad con QField (QField, 2024), una aplicación GIS móvil diseñada para la recolección y edición de datos en campo.

 BY-NC-SA

El desarrollo de la herramienta digital sigue los siguientes pasos, como se muestra en la Figura 2: (1) Creación del formulario en QGIS: Se diseña un nuevo formulario dentro de un proyecto QGIS, dividiendo la información según las categorías del árbol de inspección. (2) Definición de atributos en QGIS: Se personalizan los atributos de cada categoría, incorporando las patologías y los índices de daño definidos en el árbol de inspección. Algunos ejemplos de atributos son: nombre e identificación de la patología, fecha y hora, imágenes, índice de daño y notas. (3) Exportación del formulario a QField: El formulario de QGIS se transfiere a QField para permitir la recopilación de nuevos datos, actualización de información existente y ejecución de tareas GIS directamente en el dispositivo, incluso sin conexión a internet. QField proporciona una interfaz optimizada para pantallas táctiles, además de funcionalidades como seguimiento GPS, edición de atributos, entrada de datos basada en formularios y sincronización de datos en modo offline. (4) Inspección digital: Se utiliza la aplicación desarrollada en QField para realizar la inspección del puente mediante un dispositivo digital. (5) Sincronización del proyecto: Los formularios de QGIS se actualizan con la información recolectada en campo a través de QField. (6) Exportación a Excel: Finalmente, los formularios de QGIS se exportan a una hoja de cálculo en Excel para su posterior análisis e integración con otras herramientas.

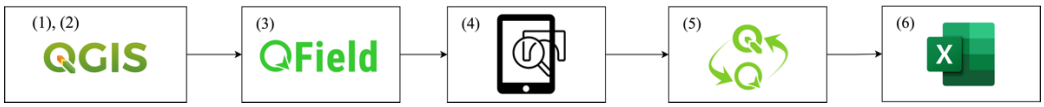


Fig. 2 Pasos de la herramienta SIG de código abierto desarrollada

3. **Calibración de modelo BIM con resultados de inspección**

Se utilizó un algoritmo de programación paramétrica para automatizar la integración de los resultados de la inspección en el software BIM. Para ello, se seleccionó Dynamo debido a sus capacidades avanzadas de programación paramétrica, mientras que Revit se empleó como plataforma de modelado BIM. La interoperabilidad entre estas herramientas ha sido ampliamente documentada en la literatura, como señala (Collao et al., 2021). Los resultados de la inspección en sitio fueron incorporados y georreferenciados en Revit utilizando parámetros compartidos, lo que permite su uso en distintos proyectos y mejora la visualización de la información a través de tablas de cantidades y etiquetas.

La Figura 3 presenta los pasos secuenciales para integrar los resultados de la inspección digital con la herramienta GIS mencionada previamente. El proceso se resume en los siguientes pasos: (1) Importación de los resultados de inspección desde la hoja de cálculo Excel exportada de QGIS. (2) Creación de los tipos y categorías de parámetros compartidos para los elementos del modelo, incluyendo tipo de elemento, ID del elemento, tipo de patología, ID de la patología e índice de severidad, según lo definido en la hoja de cálculo. (3) Lectura de los resultados de las patologías detectadas durante la inspección digital. (4) Georreferenciación de las patologías en los elementos del modelo BIM. (5) Asignación de la información de la patología en los parámetros compartidos de los elementos, con base en los datos de la hoja de Excel. (6) Incorporación de imágenes de las patologías en los parámetros compartidos de los elementos correspondientes.

BY-NC-SA

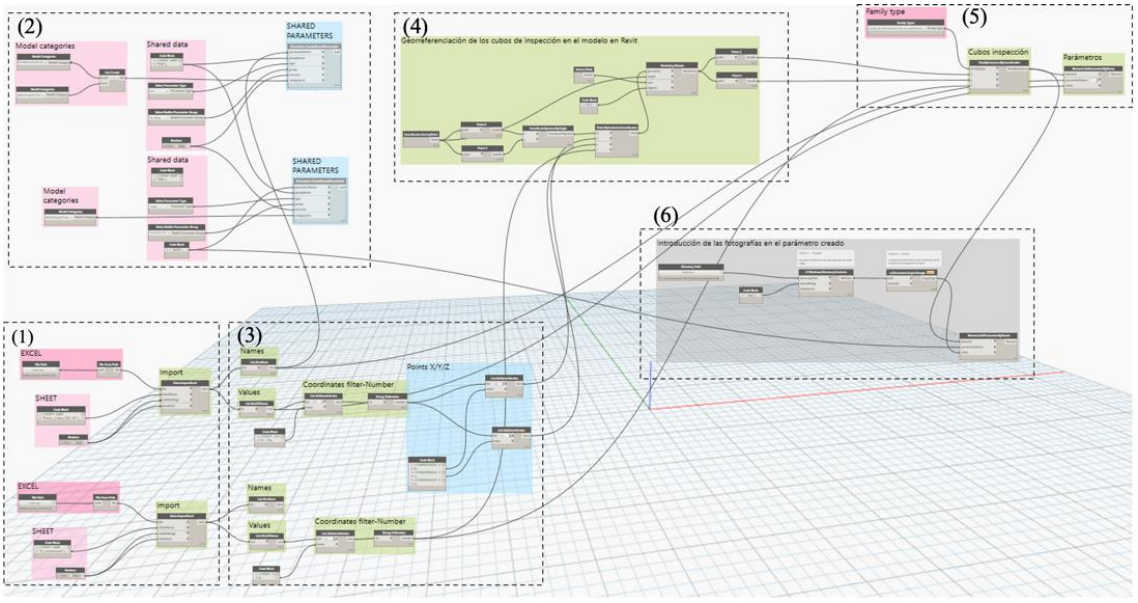


Fig. 3 Código de Dynamo para automatizar la calibración del modelo BIM con los resultados de la inspección digital.

4. **Caso de estudio**

Para testear la solución propuesta en el presente trabajo, se desarrolló un caso de estudio basado en la inspección digital de un puente real, el PSC-02, ubicado en la carretera CM-42 en Consuegra, España. Se trata de un puente de concreto con vigas prefabricadas en forma de U, con un ancho de 8 metros y una longitud total de 73 metros, dividido en tres tramos (16+41+16 metros). Sus pilas están construidas con hormigón armado colado en sitio (Ver Figura 4).

Fig. 4 Puente seleccionado para el caso de estudio.

Para esta investigación, se desarrolló un modelo BIM del puente (Ver Figura 5) con un Nivel de Detalle (LOD) 300, basado en los planos estructurales, el cual incluye sus principales elementos, como estribos, pilas y tablero. Desde su construcción, el puente ha sido sometido a inspecciones rutinarias cada dos años y generales cada cinco años.

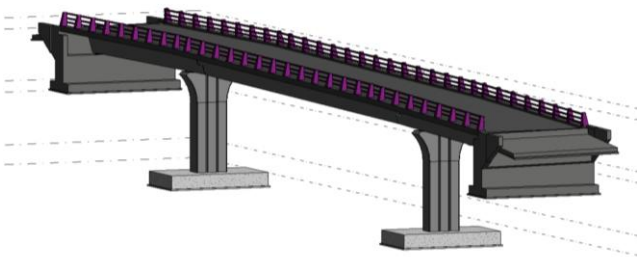


Fig. 5 Modelo BIM del caso de estudio

 BY-NC-SA

Sin embargo, estos procesos han dependido de metodologías manuales, como la toma de notas en documentos impresos y el almacenamiento de fotografías de patologías en memorias USB. Este enfoque analógico ha generado problemas de precisión en la localización de patologías dentro de los elementos estructurales.

En la inspección tradicional, las patologías identificadas se clasificaron según los componentes afectados: estribos, pilas, tablero y equipamiento (incluyendo juntas de dilatación, sistemas de drenaje, pavimento, barandas, iluminación y servicios).

Estas categorías fueron incorporadas en la aplicación GIS desarrollada para la inspección digital, asignando etiquetas específicas a cada patología detectada. Además, se utilizó un índice de severidad basado en seis niveles (del 1, sin defectos, al 6, que indica un estado crítico que podría requerir restricciones de uso o cierre de la estructura).

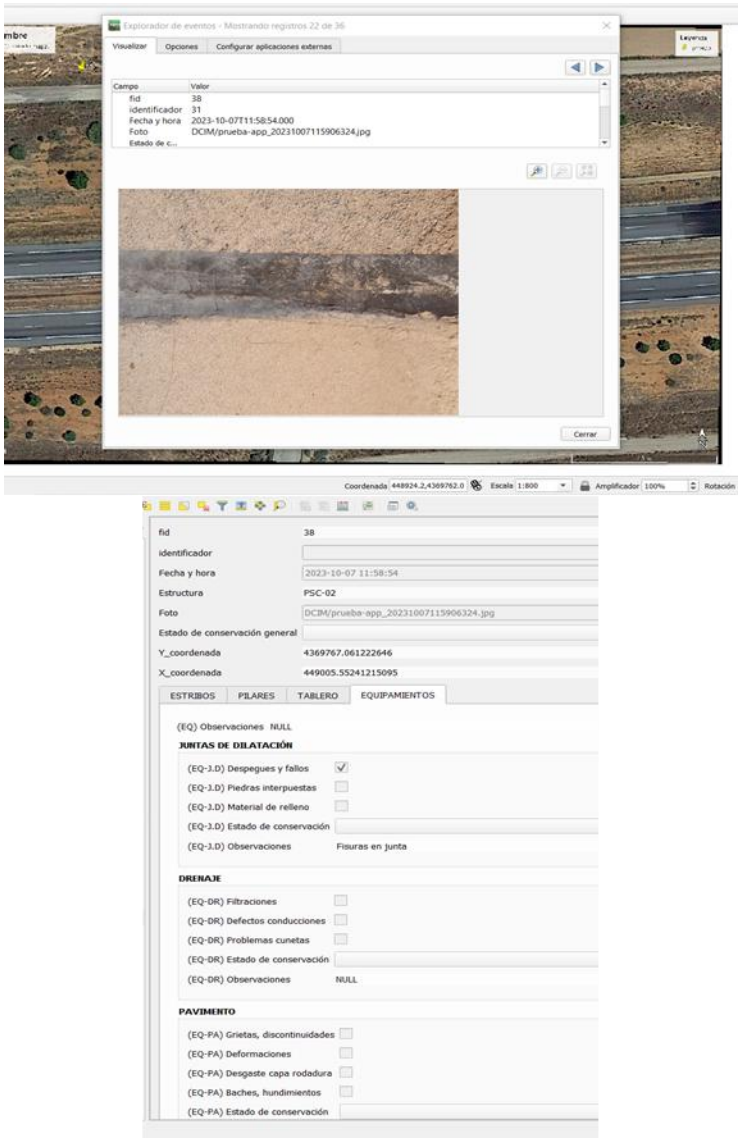


Fig. 6 Ejemplo del registro en la aplicación de una patología de fisuras en las juntas de expansión.

La inspección digital se realizó con la herramienta GIS implementada, registrando la información georreferenciada de las patologías en el modelo BIM. Se documentaron daños en distintos elementos del puente, incluyendo fisuras en juntas de expansión y barras de refuerzo expuestas en los estribos. Los resultados se integraron en el modelo BIM mediante parámetros compartidos, permitiendo una visualización clara y organizada de las patologías mediante tablas de cantidades y etiquetas.

 BY-NC-SA

En conclusión, este caso de estudio valida la eficacia de la metodología propuesta, demostrando que la digitalización del proceso de inspección mediante GIS y BIM permite mejorar la precisión en la identificación de patologías, optimizar la gestión de datos y reducir errores asociados a los métodos manuales.

5. **Conclusiones**

El desarrollo de una aplicación de código abierto basada en Sistemas de Información Geográfica (GIS) para la digitalización de inspecciones de puentes y su integración automatizada en modelos BIM ha demostrado ser una solución efectiva para mejorar la precisión y eficiencia en la gestión del mantenimiento de infraestructuras. A través de este estudio, se ha validado la utilidad de esta metodología en un caso real, evidenciando sus ventajas frente a los métodos tradicionales de inspección, que dependen en gran medida de la toma manual de notas y la posterior digitalización de datos, lo que introduce errores y dificulta la accesibilidad a la información.

La herramienta desarrollada no solo optimiza la captura de datos georreferenciados en campo, sino que también permite su transferencia automatizada a un modelo BIM mediante programación paramétrica, mejorando la visualización y el análisis de patologías estructurales. Entre sus principales beneficios se encuentran la reducción de errores humanos, una mayor trazabilidad de la información, una mejor integración de los datos en procesos de mantenimiento y una representación más precisa del estado de la infraestructura en modelos digitales tridimensionales.

No obstante, la implementación de esta tecnología presenta desafíos adicionales. En primer lugar, se requiere una infraestructura tecnológica adecuada, incluyendo dispositivos móviles con capacidad GIS y equipos informáticos con especificaciones suficientes para el procesamiento de modelos BIM. Además, aunque QGIS y QField son herramientas de código abierto, la integración con software propietario como Revit y Dynamo implica costos adicionales y la necesidad de capacitación técnica en programación paramétrica. A nivel organizacional, la transición de métodos tradicionales a digitales puede enfrentar resistencia por parte del personal, lo que resalta la importancia de estrategias de gestión del cambio y capacitación especializada para garantizar una adopción efectiva.

Otra limitación identificada es la dependencia de inspecciones manuales en sitio, lo que puede introducir errores en la ubicación precisa de patologías, especialmente en superficies verticales como pilas de puentes. Aunque la aplicación permite la entrada manual de coordenadas en el eje Z, este proceso es propenso a inexactitudes. Para mitigar esta limitación, se plantea la incorporación futura de tecnologías como drones equipados con sensores LiDAR y fotogrametría, lo que mejoraría la precisión de la captura de datos tridimensionales y permitiría inspecciones más seguras y eficientes en áreas de difícil acceso.

Asimismo, la integración de tecnologías emergentes, como inteligencia artificial (IA) y realidad aumentada (RA), representa una oportunidad para optimizar la detección y clasificación automática de patologías, reduciendo la dependencia del análisis manual. Además, la interoperabilidad con otros sistemas de gestión de infraestructuras y el desarrollo de formatos de datos estandarizados serán clave para maximizar el impacto de esta metodología en el mantenimiento de puentes y estructuras civiles.

En términos de impacto, esta investigación ha demostrado que la digitalización de los procesos de inspección mediante GIS y BIM es un paso fundamental para mejorar la eficiencia y la toma de decisiones en la gestión de infraestructuras. La validación de esta metodología en un puente real en España confirma su aplicabilidad y potencial para ser replicada en otras estructuras. No obstante, se requieren estudios adicionales para evaluar su efectividad en diferentes contextos y condiciones estructurales.

Finalmente, la implementación de esta solución digital supone un avance significativo en la gestión del mantenimiento de puentes, proporcionando una herramienta de bajo costo, escalable y adaptable a distintos entornos. Sin embargo, su éxito dependerá de la continua optimización tecnológica y la adopción progresiva por parte de la industria, asegurando así una transición efectiva hacia prácticas de inspección más precisas, eficientes y alineadas con los principios de Industria 4.0 en la ingeniería de infraestructura.

 BY-NC-SA

Referencias

ABDALLAH, A., ATADERO, R. A. y OZBEK, M. E. (2022). "A State-of-the-Art Review of Bridge Inspection Planning: Current Situation and Future Needs" en Journal of Bridge Engineering, 22(7). https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001812

AKTAN, E., FARHEY, D. N., BROWN, D. L., DALAL, V., HELMICKI, A. J., HUNT, V. J. y SHELLEY, S. J. (1996). "Condition Assessment for Bridge Management" en Journal of Infrastructural Systems, 2(3), 108–117. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0342(1996)2:3(108)

AKUTSU, A., SASAKI, E., TAKEYA, K., KOBAYASHI, Y., SUZUKI, K. y TAMURA, H. (2017). "A comprehensive study on development of a small-sized self-propelled robot for bridge inspection" en Structure and Infrastructure Engineering, 13(8), 1056–1067. https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1236132

CHACÓN, R., CASAS, J. R., RAMONELL, C., POSADA, H., STIPANOVIC, I. y ŠKARIĆ, S. (2023). "Requirements and challenges for infusion of SHM systems within Digital Twin platforms" en Structure and Infrastructure Engineering, 1–17. https://doi.org/10.1080/15732479.2023.2225486

COLLAO, J., LOZANO-GALANT, F., LOZANO-GALANT, J. A. y TURMO, J. (2021). "BIM Visual Programming Tools Applications in Infrastructure Projects: A State-of-the-Art Review" en *Applied Sciences*, 11(18), 8343. https://doi.org/10.3390/app11188343

GATTULLI, V. y CHIARAMONTE, F. (2005). "Condition Assessment by Visual Inspection for a Bridge Management System" en Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, 95-107. https://doi.org/10.1111/j.1467-8667.2005.00379.x

HUBBARD, B. y HUBBARD, S. (2020). "Unmanned Aircraft Systems (UAS) for Bridge Inspection Safety" en Drones, 4(3), 40. https://doi.org/10.3390/drones4030040

HUMPE, A. (2020). "Bridge Inspection with an Off-the-Shelf 360° Camera Drone" en *Drones*, 4(4), 67. https://doi.org/10.3390/drones4040067.

JÁUREGUI, D. V. y WHITE, K. R. (2003). "Implementation of Virtual Reality in Routine Bridge Inspection" en *Transportation Research Record*, 1827(1), 29-35. https://doi.org/10.3141/1827-04.

KOBAYASHI, K. y KAITO, K. (2017). "Big data-based deterioration prediction models and infrastructure management: towards assetmetrics" en Structure and Infrastructure Engineering, 13(1), 84–93. https://doi.org/10.1080/15732479.2016.1198407

KOMARIZADEHASL, S., KOMARY, M., ALAHMAD, A., LOZANO-GALANT, J. A., RAMOS, G. y TURMO, J. (2022). "A Novel Wireless Low-Cost Inclinometer Made from Combining the Measurements of Multiple MEMS Gyroscopes and Accelerometers" en *Sensors*, 22(15), 5605. https://doi.org/10.3390/s22155605.

LUO, K., KONG, X., ZHANG, J., HU, J., LI, J. y TANG, H. (2023). "Computer Vision-Based Bridge Inspection and Monitoring: A Review" en *Sensors*, 23(18), 7863. https://doi.org/10.3390/s23187863.

LOZANO-GALANT, F., PORRAS, R., MOBARAKI, B., CALDERÓN, F., GONZÁLEZ-ARTEAGA, J. y LOZANO, J. A. (2024). "Enhancing Civil Engineering Education through Affordable AR Tools for Visualizing BIM Models" en Journal of Civil Engineering Education. https://doi.org/10.1061/JCEECD.EIENG-2007

MATOS, J., FERNANDES, S., TRAN, M. Q., NGUYEN, Q. T., BARON, E. y DANG, S. N. (2023). "Developing a Comprehensive Quality Control Framework for Roadway Bridge Management: A Case Study Approach Using Key Performance Indicators" en Applied Sciences, 13(13), 7985. https://doi.org/10.3390/app13137985

NEPOMUCENO, D. T., VARDANEGA, P. J., TRYFONAS, T., PREGNOLATO, M., BENNETTS, J. y WEBB, G. (2021). "A survey of emerging technologies for the future of routine visual inspection of bridge structures" en *Bridge Safety, Maintenance, Management, Life-Cycle, Resilience and Sustainability – Casas, Frangopol & Turmo (eds.)*. ISBN 978-1-032-35623.

QFIELD. *QField*. https://qfield.org/ [Consulta: 02 de marzo de 2025].

SACKS, R., KEDAR, A., BORRMANN, A., MA, L., BRILAKIS, I., HÜTHWOHL, P., DAUM, S., KATTEL, U., YOSEF, R., LIEBICH, T., ESEN, B. y MUHIC, S. (2018). "SeeBridge as next generation bridge inspection: Overview, Information Delivery Manual and Model View Definition" en *Automation in Construction*, 90, 134-145. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.033.

SHIM, C. S., DANG, N. S., LON, S. y JEON, C. H. (2019). "Development of a bridge maintenance system for prestressed concrete bridges using 3D digital twin model" en *Structure and Infrastructure Engineering*, 1319-1332. https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1620789.

WANG, T., REIFFSTECK, P., CHEVALIER, C., CHEN, C. W. y SCHMIDT, F. (2023). "An interpretable model for bridge scour risk assessment using explainable artificial intelligence and engineers' expertise" en *Structure and Infrastructure Engineering*, 1–13. https://doi.org/10.1080/15732479.2023.2230564.

 BY-NC-SA

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen chatgpt4 en la plataforma https://chatgpt.com, para revisión de la redacción del contenido del artículo.

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación.

BY-NC-SA

ANÁLISIS DE LOS ESTÁNDARES BC3 E IFC PARA MEJORAR INTEROPERABILIDAD

Juncar Sánchez, Evelio; Reston Vigueras, Lucia; Sgalippa, Juana.
Sánchez Juncal, Evelio – España (Universidade de A Coruña, A Coruña, España) - evelio@ediliciaBIM.com; Reston Vigueras, Lucia - Argentina (Salta, Universidad Católica de Salta, Argentina) - lureston1@gmail.com; Sgalippa, Juana - Argentina (Salta, Universidad Católica de Salta, Argentina) - jsgalippa.arq@gmail.com

Abstract

Cost management in BIM projects requires tools capable of handling economic and quantification data efficiently. This research analyzes and compares the BC3 and IFC specifications within the context of cost management in BIM models, exploring their interoperability and adaptability to diverse workflows. The study introduces a conceptual framework aimed at merging both standards, minimizing intermediate steps, and enhancing interoperability in OpenBIM environments. It evaluates the strengths and limitations of BC3, tailored for budgeting and measurements, as well as the IFC schema, designed to integrate information in collaborative projects. This theoretical approach proposes to establish a common structure that enables a direct flow between BC3 and IFC, optimizing cost management processes while transitioning traditional methods to open and adaptable workflows Preliminary findings indicate that this integration enhances process automation, improves collaboration, and increases efficiency in managing costs for BIM projects, demonstrating the potential of OpenBIM methodologies in modern construction practices.

***KeyWords**: costs, IFC, BC3, OpenBIM, interoperability, automation, optimization, collaboration, integration, management*

Resumen

La gestión de costos en proyectos BIM necesita instrumentos que organicen datos económicos y de cuantificación de forma eficaz. Este estudio analiza y compara las especificaciones BC3 e IFC en el marco de la administración de costos en modelos BIM, explorando su interoperabilidad y capacidad de adaptación a diversos flujos de trabajo. La investigación propone un marco conceptual para fusionar ambos estándares, eliminando pasos intermedios y maximizando la interoperabilidad en ambientes OpenBIM. Se examinan las limitaciones y potencialidades de BC3, diseñado para presupuestos y mediciones, y del esquema IFC, orientado a la integración de información en proyectos colaborativos. Este enfoque teórico busca establecer una estructura común que permita un flujo directo entre BC3 e IFC, optimizando la administración de costos y adaptando los procesos tradicionales a metodologías abiertas. Los resultados iniciales evidencian que esta integración no solo facilita la automatización de procesos, sino que también mejora la colaboración y eficiencia en la gestión de costos en proyectos BIM.

***Palabras clave**: costos, IFC, BC3, OpenBIM, interoperabilidad, automatizacion, optimización, colaboración, integración, gestión.*

 BY-NC-SA

Introducción

La interoperabilidad en la industria de la construcción se ha convertido en un desafío central con la adopción de metodologías avanzadas como Building Information Modeling (BIM). En este contexto, el intercambio fluido y preciso de datos entre diferentes plataformas y actores del proyecto es esencial para lograr una gestión eficiente. Sin embargo, uno de los obstáculos más significativos para alcanzar una verdadera interoperabilidad es la falta de un sistema estándar y común que facilite la integración de la gestión de costos a lo largo del ciclo de vida de un proyecto. En particular, la combinación de los estándares BC3 e IFC, fundamentales en la gestión de presupuestos y la modelización de información de construcción, podría proporcionar una solución innovadora para superar estas barreras.

En el mercado español, el formato BC3 se ha consolidado como el estándar predominante para la gestión de presupuestos en el sector de la construcción, debido a su amplia aceptación y funcionalidad en el ámbito local. BC3 es utilizado en el sector para detallar los costos de los proyectos de manera precisa y detallada. Por su parte, el esquema IFC, ampliamente reconocido y utilizado a nivel internacional, se enfoca en la organización de datos geométricos y datos no gráficos dentro del entorno BIM, con inclusión de elementos capaces de albergar información de costos. A pesar de su prominencia en el mundo BIM, las herramientas comerciales que hacen uso del estándar IFC para la gestión de costos, no lo hacen incluyendo dicha información de manera nativa sino estableciendo una relación con sus propias estructuras de datos por medio de identificadores que sirvan de vínculo con el modelo geométrico IFC. Esta situación plantea un reto cuando se busca integrar los presupuestos dentro de los modelos digitales.

Si bien las soluciones comerciarles disponibles (Presto, OpenBIM Quantities, TCQ, etc.) representan un avance importante en la interoperabilidad entre modelos BIM y presupuestos, persisten limitaciones significativas, tanto por el proceso en sí, como por las limitaciones propias de los formatos de intercambio utilizados (BC3). La vinculación manual de costos y mediciones con modelos IFC se ejecuta mediante procesos manuales propensos a errores. Además, la renuncia a utilizar la estructura IFC para incluir la información de costos impide que los datos económicos se integren de forma plena en el ciclo de vida del proyecto.

La presente investigación busca ir más allá de las soluciones existentes al explorar un camino que permita la integración de los datos de BC3 dentro de IFC. Esta propuesta no busca reemplazar las herramientas actuales, sino complementarlas mediante un enfoque más eficiente que reduzca la intervención manual y mejore la consistencia de los datos a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. Al permitir la incorporación de la información de costos en los modelos IFC de forma nativa, se optimiza y garantiza un flujo de información consistente, permitiendo una real interoperabilidad y permitiendo una gestión más transparente, integrada y eficaz.

1. Premisa inicial y objetivos

La presente investigación tiene como punto de partida la necesidad de mejorar la compatibilidad e interoperabilidad entre los formatos BC3 e IFC (Industry Foundation Classes) en el contexto de la gestión de presupuestos en proyectos BIM. Con la generalización del uso de tecnologías BIM, se manifiesta con fuerza la necesidad de integrar de manera eficiente los datos de costos en los modelos de información de construcción, lo que pasa por una adecuada compatibilidad entre estos dos formatos. El objetivo principal de este estudio es comparar las similitudes y diferencias entre ambas estructuras, enfocándose especialmente en su capacidad para representar y manejar parámetros de costos. Se busca identificar las oportunidades y limitaciones actuales en su interoperabilidad y proponer posibles mejoras para su integración más fluida en futuros proyectos BIM.

1.1. Metodología

La investigación sigue un enfoque comparativo centrado en el análisis de compatibilidad entre los formatos IFC y BC3, se ha optado por un método de análisis documental, llevando a cabo una revisión de las

 BY-NC-SA

especificaciones técnicas y estructuras de los formatos BC3 e IFC para identificar las principales similitudes y diferencias, especialmente en lo relacionado con la representación de los datos de presupuesto y la organización de las partidas.

En segundo lugar, se ha procedido a la validación de la investigación, a través de un caso práctico. Para ello se ha utilizado un archivo IFC con las partidas de presupuesto integradas que se ha comparado con el presupuesto equivalente en formato BC3. El hecho de que, tanto el formato IFC, como el BC3 sean almacenados en archivos de texto plano, permite la comparación directa usando un simple editor de texto, lo que ha permitido un análisis detallado de cómo se estructuran y gestionan los datos de costos en cada uno de los formatos.

En la investigación documental no se han identificado estudios previos que aborden específicamente la relación entre las distintas versiones del esquema BC3 y el IFC, la validación de los resultados se ha realizado a partir de la comparación estructural entre ambos formatos.

2. **Desarrollo y marco teórico**

2.1. **Esquema IFC**

La información de costes dentro del formato IFC, se organiza en una estructura de objetos que siguen una sintaxis específica para su descripción. Estos objetos se definen mediante propiedades, y estas propiedades se enlazan entre sí a través de relaciones, lo que permite una integración precisa y coherente de los datos.(Figura 1) De esta manera, el formato IFC facilita el traslado de información tanto de la geometría como de las propiedades adicionales del modelo, tales como los costos, materiales, cantidades de obra y otros aspectos del proyecto.

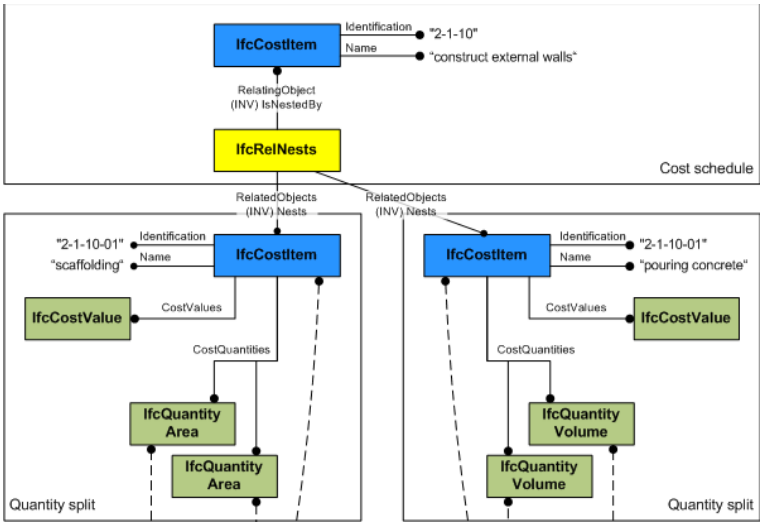


Fig. 1 – Especificación técnica de los parámetros IFC. Fuente: buildingSMART (2024)

Es decir, no es solo un contenedor de datos, sino un modelo de información estructurado y con significado. A diferencia de otros formatos que pueden almacenar información como simples valores alfanuméricos (por ejemplo, listas de propiedades en un Excel o geometrías en un DWG), el esquema IFC establece relaciones semánticas entre los elementos del modelo. Esto significa que los datos en IFC no solo existen, sino que tienen un propósito y contexto dentro del modelo BIM. El valor clave del IFC es que facilita la interoperabilidad porque los softwares pueden interpretar el contenido del archivo con significado y no solo como datos aislados. Esto es lo que permite la correcta transferencia de información entre diferentes plataformas sin perder la intención original del diseño y construcción. (Figura 2)

 BY-NC-SA

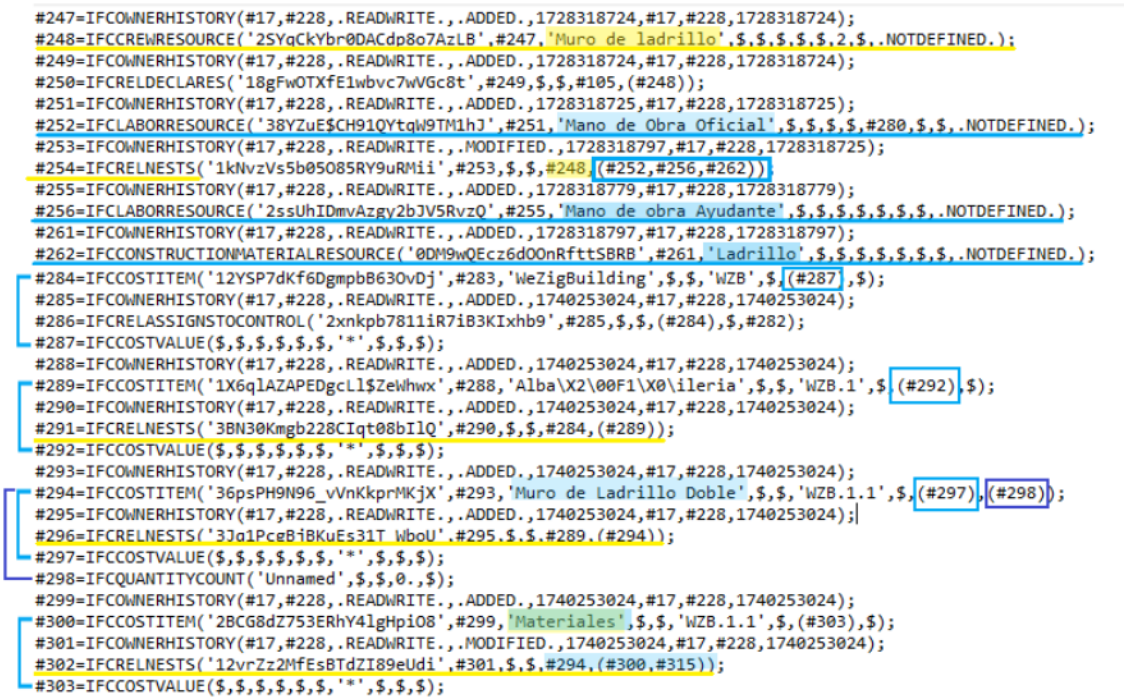


Fig. 2 – Implementación en lenguaje STEP de los elementos .IFC y sus relaciones. Fuente: Elaboración propia (2024)

En términos específicos de gestión de costos, se han identificado en el esquema IFC las siguientes entidades como fundamentales:

- IfcCostItem: Representa un elemento o partida de costo asociada a un componente o actividad dentro del modelo. A través de este parámetro, se pueden definir los costos de los materiales, la mano de obra y otros gastos asociados a un elemento o actividad del proyecto.
- IfcQuantity: Este parámetro hace referencia a la cantidad de trabajo o materiales que están asociados a un elemento dentro del modelo. La relación entre un IfcElement y un IfcQuantity permite vincular las cantidades físicas del proyecto con los costos y otros aspectos relacionados.
- IfcResource: Entidad IFC que contiene la información necesaria para representar los costos, la programación y otros impactos del uso de un objeto en un proceso.
- IfcCrewResource: Entidad que identifica personas o equipo responsable de una tarea mediante la identificación de las personas asignadas a cada IfcLaborResource.
- IfcConstructionMaterialResource: Este parámetro gestiona los recursos materiales dentro del modelo, como ladrillos, barras de acero, cemento, entre otros. A través de las relaciones IfcRelNest, estos materiales se pueden asociar a los elementos del proyecto que los requieren, asegurando una correcta distribución de costos y evitando duplicidades de datos.

La utilización de IfcRelNest junto con los parámetros IfcCostItem y IfcConstructionMaterialResource facilita una gestión más eficiente de los costos, al mantener una estructura coherente y actualizada a lo largo del proyecto. De esta manera, los recursos materiales, las cantidades y los costos asociados a cada elemento están perfectamente alineados, lo que mejora la precisión de las estimaciones y la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del proyecto.

2.2. **Esquema BC3**

El formato .BC3 es un estándar ampliamente utilizado en España para la gestión de presupuestos en proyectos de construcción. Su función principal es representar de manera detallada los costos asociados a los trabajos de construcción, facilitando la planificación y control económico de los proyectos.

 BY-NC-SA

El esquema .BC3 se define por medio de una estructura jerárquica del presupuesto. El contenido se almacena en archivos de texto plano cuyas líneas siguen una sintaxis específica para representar las distintas partidas presupuestarias y sus características asociadas. Los datos almacenados en el archivo están organizados en "registros" que se organizan y estructuran para dar forma a los distintos aspectos del presupuesto del proyecto: la partida de obra, con su código de la partida, la descripción del trabajo, las unidades de medida, las cantidades, los precios unitarios y el total de los costos (Figura 3).

Registro tipo propiedad y versión
~V | [[PROPIEDAD_ARCHIVO] | VERSION_FORMATO | [\ DDMMAAAA] | [PROGRAMA_EMISION] | [CABECERA] | { ROTULO_IDENTIFICACION \ } | [JUEGO_CARACTERES] | [COMENTARIO] | [TIPO INFORMACIÓN] | [NÚMERO CERTIFICACIÓN] | [FECHA CERTIFICACIÓN] | [URL_BASE]
Registro tipo Coeficientes
~K | { DN \ DD \ DS \ DR \ DI \ DP \ DC \ DM \ DIVISA \ } | { CI \ GG \ BI \ BAJA \ IVA | { DRC \ DC \ DFS \ DRS \ DUO \ DI \ DES \ DN \ DD \ DS \ DSP \ DEC \ DIVISA \ } | [n] |
Registro tipo Concepto
~C | CODIGO { \ CODIGO } | [UNIDAD] | [RESUMEN] | { PRECIO \ } | { FECHA \ } | [TIPO] |
Registro tipo Descomposición
~D | CODIGO_PADRE | < CODIGO_HIJO \ [FACTOR] \ [RENDIMIENTO] \ > | < CODIGO_HIJO \ [FACTOR] \ [RENDIMIENTO] \ { CODIGO_PORCENTAJE ; } \ > |
Registro tipo Añadir Descomposición
~Y | CODIGO_PADRE | < CODIGO_HIJO \ [FACTOR] \ [RENDIMIENTO] \ > | < CODIGO_HIJO \ [FACTOR] \ [RENDIMIENTO] \ { CODIGO_PORCENTAJE ; } \ > |
Registro tipo Descomposición de Residuos
~R | CODIGO_PADRE | { TIPO_DESCOMPOSICION \ CODIGO_HIJO \ { PROPIEDAD \ VALOR [UM] \ } | } |
Registro tipo Texto
~T | CODIGO_CONCEPTO | TEXTO_DESCRIPTIVO
Registro tipo Descripción Paramétrica
~P | [[DESCRIPCION_PARAMETRICA] | [NOMBRE.DLL] |]
~P | CODIGO_FAMILIA | [DESCRIPCION_PARAMETRICA] |

Fig. 3 – Resumen de registros técnicos del esquema.BC3. Fuente: Elaboración propia (2025)

Este esquema, emplea una organización a base de registros, compuestos por un conjunto de códigos que ayudan a definir el contenido de cada uno y su relación con el resto. Las características y funciones de cada registro están definida en el "Formato de Intercambio Estándar de Base de datos e Construcción" cuya última versión publicada es la FIEBDC-3/2020. Por ejemplo, el registro Concepto, base de la totalidad del formato, sigue la siguiente estructura:

~C | CODIGO { \ CODIGO } | [UNIDAD] | [RESUMEN] | { PRECIO \ } | { FECHA \ } | [TIPO] |

CODIGO: identifica un concepto y puede tener hasta 20 caracteres. Los caracteres ## y # indican, respectivamente, un concepto raíz (único en la base de datos) y un concepto tipo capítulo, y deben aparecer en el registro ~C. Si un código incluye # intercalado, representa una combinación CODIGO_ENTIDAD o CONCEPTO definida en el registro ~O.

UNIDAD: Unidad de medida.

RESUMEN: Resumen del texto descriptivo, tiene un máximo de 64 caracteres.

PRECIO: representa el costo de un concepto. Si el concepto tiene descomposición, su precio será el resultado de esta, siendo obligatorio para su verificación. En caso de discrepancia, prevalecerá el precio obtenido por la descomposición, aplicándose también a conceptos tipo capítulo y raíz. Una excepción a esta regla ocurre en el intercambio de mediciones no estructuradas, según el registro ~M

FECHA: en el formato BC3 indica la última actualización del precio y sigue el formato `DDMMAAAA`. Si hay más precios que fechas, los precios sin fecha tomarán la última definida.

Una primera aproximación nos permite relacionar cada componente del registro Concepto con distintas entidades IFC de la siguiente manera:

 BY-NC-SA

Tabla 1. Comparativa de formatos BC3 vs. IFC. Fuente: Elaboración propia (2025)

BC3	IFC
~C	IfcCostItem
CODIGO	IfcCostItem.NAME
UNIDAD	IfcSIUnit
RESUMEN	IfcCostItem.DESCRIPTION
PRECIO	IfcCostValue.APPLIEDVALUE
FECHA	Ifc.CostValue.APLICABLEDATE
TIPO	IfcCostValue.CATEGORY

2.3. **Comparación de esquemas BC3 vs IFC**

Tabla 2. Comparativa de formatos BC3 vs. IFC. Fuente: Elaboración propia (2025)

Punto de Comparación	BC3	IFC
Propósito Principal	Representar presupuestos y costos en proyectos de construcción.	Representar toda la información de un proyecto de construcción, incluidos costos, materiales, geometría y más.
Estandarización	Estándar utilizado principalmente en España para presupuestos de construcción.	Estándar internacional para la interoperabilidad de modelos BIM a nivel global.
Formato de Archivo	Archivo de texto plano con extensión .bc3.	Archivo de texto plano en lenguaje STEP, con extensión .ifc.
Representación de Costos	Directamente enfocado en la representación de costos, utilizando partidas y conceptos de presupuesto.	Incluye los costos dentro de un modelo de datos más amplio, representando tanto los costos como los recursos, materiales y humanos, y cantidades.
Interoperabilidad	Permite la interoperabilidad con herramientas de presupuestación en la industria de la construcción.	Facilita la interoperabilidad entre plataformas y aplicaciones BIM, incluyendo la integración con herramientas de costos.
Organización de la Información	Estructura jerárquica, con un sistema lineal que organiza partidas de costos por capítulos y conceptos.	Estructura jerárquica compleja que organiza los objetos del modelo, incluyendo costos, materiales y relaciones entre ellos.
Relaciones entre Elementos	Permite relaciones jerárquicas o agrupaciones entre elementos. Establece la relación con las entidades IFC a partir de su GUID.	Establece relaciones de todo tipo entre los elementos del modelo, vinculando propiedades, materiales y costos de manera eficiente.
Propiedades de los Elementos	Definición de conceptos, partidas, unidades, precios y cantidades asociadas a cada partida del presupuesto.	Definición de parámetros y propiedades relacionadas con los costos, recursos, materiales y cantidades, vinculados a los objetos del modelo.
Determinación de Cantidades	Las cantidades se definen de manera manual, con estimaciones realizadas fuera del modelo.	Las cantidades están vinculadas directamente a las cantidades del modelo geométrico.
Actualización de Costos	No está integrado con el modelo; los cambios en el modelo requieren actualizar el presupuesto.	Los cambios en el modelo 3D se reflejan automáticamente en los costos mediante relaciones codificadas, evitando la actualización manual.
Cobertura de Información	Se enfoca en los aspectos económicos y presupuestarios de la construcción.	Cubre tanto aspectos económicos como físicos, geoespaciales, temporales y de recursos en un solo modelo integral.
Dependencia de Herramientas Externas	Necesita herramientas externas para realizar cálculos de costos, ya que no está integrado dentro del entorno BIM.	Los costos pueden gestionarse dentro del entorno BIM, sin necesidad de herramientas externas, gracias a su integración con parámetros de IFC.
Adopción y	Principalmente utilizado en el mercado	Utilizado a nivel global por diversas industrias y

 BY-NC-SA

Utilización	español en el sector de la construcción.	plataformas BIM.

2.4. **Comparación de terminologías y formato**

Tabla 3. Equivalencia de terminologías BC3 vs IFC. Fuente: Elaboración propia (2025)

Concepto	Terminología BC3	IFC
Elemento de Costo	Partida, Concepto	IfcCostItem
Cantidad de Material/Trabajo	Cantidad	IfcQuantity
Materiales/Recursos	Recurso Material, Partida de Materiales	IfcResource
Unidad de Medida	Unidad de Medida de la Partida (m^2, m^3, etc.)	IfcUnit (Unidad asociada a propiedades)
Precio Unitario	Precio Unitario de la Partida	IfcCostValue (precio unitario asociado al ítem)
Costos Asociados	Total de la Partida, Costo Total de Concepto	IfcCostItem (el costo total se obtiene a partir de los parámetros asociados al ítem)
Elemento Constructivo	Elemento Constructivo, Obra (ej. Muro, Columna)	IfcElement (representa los objetos constructivos del modelo)
Descripción de la Partida	Descripción de la Partida (detalles de la obra)	IfcPropertySet (contiene propiedades de los elementos, incluidas descripciones)
Mano de Obra	Mano de Obra, Costo de Mano de Obra	IfcCrewResource (puede incluir mano de obra, equipos, etc.)
Material	Material, Costo de material	IfcConstructionResource
Cantidad de Materiales	Cantidad de Materiales (por ejemplo, m^3 de concreto)	IfcQuantityResource (relacionado con los recursos materiales y cantidades asociadas)
Relación entre Elementos y Costos	Relación implícita entre Partidas y Elementos	IfcRelAssociatesCostItem (relaciona elementos del modelo con los costos asociados)
Fecha o Tiempo	Tiempo de Ejecución, Plazo	IfcTimeStamp (relacionado con fechas y tiempo de ejecución)
Cambio de Presupuesto	Actualización de Presupuesto	IfcRelAssigns (relacionado con actualizaciones o cambios dentro del modelo)
Informe o Detalle de Presupuesto	Detalle del Presupuesto	IfcDocumentInformation (puede incluir detalles y documentos relacionados con los costos)

3. **Validación en caso práctico: "Muro de ladrillo doble"**

Se realiza la conversión de una partida ejemplo, Muro de Ladrillo Doble, del formato BC3 al formato IFC, asegurando que los datos de costos, mediciones y relaciones jerárquicas se reflejen correctamente. La partida se representa de la siguiente manera:

3.1. **En BC3**

Tabla 4. Lectura de archivo.BC3 en .TXT. Fuente: Elaboración propia (2025)

~C|WZB.1.1|m2|Muro de ladrillo doble|43.700000000|15022025|0|
~D|WZB.1.1|WZB.1.1.1\1.000000000\1.000000000\WZB.1.1.2\1.000000000\1.000000000|
~C|WZB.1.1.1|u|Materiales|19.370000000|15022025|0|
~C|WZB.1.1.1.1|u|Ladrillo h. doble 25x12x8|0.170000000|15022025|3|
~C|WZB.1.1.1.2|m3|Mortero|84.800000000|15022025|3|
~C|WZB.1.1.2|u|Mano de obra|24.330000000|15022025|0|
~D|WZB.1.1.2|WZB.1.1.2.1\1.000000000\0.960000000\WZB.1.1.2.2\1.000000000\0.480000000|
~C|WZB.1.1.2.1|h|Oficial especializado|17.060000000|15022025|1|
~C|WZB.1.1.2.2|h|Oficial ayudante|16.560000000|15022025|1|

 BY-NC-SA

~C define una partida o subpartida.

~D establece relaciones jerárquicas entre partidas y sus componentes.

3.2. **En IFC**

Tabla 5. Lectura de archivo IFC Fuente: Elaboración propia (2025)

```
#131=IFCWALL('0Qllgj6Q5DsR6cLE_5z73y',#18,'Muro b\X2\00E1\X0\sico:Gen\X2\00E9\X0\rico - 200 mm:149115',$,'Muro b\X2\00E1\X0\sico:Gen\X2\00E9\X0\rico - 200 mm',#126,#130,'149115',.SOLIDWALL.);

#170=IFCMATERIALCONSTITUENT('Ladrillo, com\X2\00FA\X0\n',$,#167,$,'Alba\X2\00F1\X0\iler\X2\00ED\X0\a');

#254=IFCRELNESTS('1kNvzVs5b05O85RY9uRMii',#253,$,$,#248,(#252,#256,#262));

#248=IFCCREWRESOURCE('2SYqCkYbr0DACdp8o7AzLB',#247,'Muro de ladrillo',$,$,$,$,2,$,.NOTDEFINED.);
#252=IFCLABORRESOURCE('38YZuE$CH91QYtqW9TM1hJ',#251,'Mano de Obra Oficial',$,$,$,$,#280,$,$,.NOTDEFINED.);
#256=IFCLABORRESOURCE('2ssUhIDmvAzgy2bJV5RvzQ',#255,'Mano de obra Ayudante',$,$,$,$,$,$,$,.NOTDEFINED.);
#262=IFCCONSTRUCTIONMATERIALRESOURCE('0DM9wQEcz6dOOnRfttSBRB',#261,'Ladrillo',$,$,$,$,$,$,$,.NOTDEFINED.);

#302=IFCRELNESTS('12vrZz2MfEsBTdZI89eUdi',#301,$,$,#294,(#300,#315));
#294=IFCCOSTITEM('36psPH9N96_vVnKkprMKjX',#293,'Muro de Ladrillo Doble',$,$,'WZB.1.1',$,(#297),(#298));
#297=IFCCOSTVALUE($,$,$,$,$,$,'*',$,$,$);
#298=IFCQUANTITYCOUNT('Unnamed',$,$,0.,$);
#300=IFCCOSTITEM('2BCG8dZ753ERhY4lgHpiO8',#299,'Materiales',$,$,'WZB.1.1',$,(#303),$);
#303=IFCCOSTVALUE($,$,$,$,$,$,'*',$,$,$);
#315=IFCCOSTITEM('0hOkIA5O15UxV2Cgu$cc68',#314,'Mano de Obra',$,$,'WZB.1.2',$,(#316),$);
#316=IFCCOSTVALUE($,$,$,$,$,$,'*',$,$,$);

#307=IFCRELNESTS('1SthQ58p994RY21wbc8NJo',#306,$,$, #300,( #305,#311));
#305=IFCCOSTITEM('0I3cMxUIfCNfLShfYLTTeu',#304,'Ladrillo h. doble 25x12x8',$,$,'WZB.1.1.1',$,(#308),(#309));
#308=IFCCOSTVALUE($,$,IFCMONETARYMEASURE(0.17),$,$,$,'Material Cost',$,$,$);
#309=IFCQUANTITYCOUNT('Unnamed',$,$,94.,$);
#311=IFCCOSTITEM('2F6ikJW$v4ugbePmOrRACw',#310,'Mortero',$,$,'WZB.1.1.2',$,(#312),(#313));
#312=IFCCOSTVALUE($,$,IFCMONETARYMEASURE(84.8),$,$,$,'Material Cost',$,$,$);
#313=IFCQUANTITYVOLUME('Unnamed',$,$,0.04,$);

#320=IFCRELNESTS('2p7lmRJnr6H9HupmQStLuD',#319,$,$, #315,( #318,#324));
#318=IFCCOSTITEM('36IsRPPj1DURtn_Oi45hAX',#317,'Oficial Especializado',$,$,'WZB.1.2.1',$,(#321),(#322));
#321=IFCCOSTVALUE($,$,IFCMONETARYMEASURE(17.06),$,$,$,'Labor Cost',$,$,$);
#322=IFCQUANTITYTIME('Unnamed',$,$,0.96,$);
#324=IFCCOSTITEM('3vZApFMSH6vP9t$f7RhMXB',#323,'Oficial Ayudante',$,$,'WZB.1.2.2',$,(#325),(#326));
#325=IFCCOSTVALUE($,$,IFCMONETARYMEASURE(16.56),$,$,$,'Labor Cost',$,$,$);
#326=IFCQUANTITYTIME('Unnamed',$,$,0.48,$);
```

IFCWALL define un muro con geometría.

IFCMATERIAL especifica materiales usados.

IFCCOSTITEM representa costos asociados.

IFCCOSTVALUE adjudica el valor monetario.

IFCQUANTITY refiere a las cantidades asociadas al presupuesto.

IFCRELNEST vincula las diferentes partidas del presupuesto.

3.3. **Similitudes**

Tabla 6. Similitudes entre esquema BC3 vs. IFC. Fuente: Elaboración propia (2025)

Aspecto	BC3	IFC	Descripción
Desglose de Costos	Materiales (WZB.1.1.1) y Mano de obra (WZB.1.1.2)	#305 (Materiales) y #318 (Mano de Obra)	Se estructuran en materiales y mano de obra, reflejando los mismos componentes.

 BY-NC-SA

Jerarquía de Componentes	~D define las relaciones padre-hijo entre partidas y subpartidas.	IFCRELNESTS vincula partidas y subpartidas.	Ambos formatos tienen una estructura jerárquica para definir dependencias.
Costos Individuales	~C con valores unitarios y cantidades	IFCCOSTVALUE con IFCMONETARYMEASURE y IFCQUANTITYCOUNT/VOLUME/TIME	Ambos formatos especifican costos y cantidades de cada recurso.
Materiales Específicos	Ladrillo h. doble 25x12x8 y Mortero	#305 (Ladrillo) y #311 (Mortero)	Se mantiene el mismo tipo de materiales y cantidades en ambas representaciones.
Mano de Obra Detallada	Oficial Especializado y Oficial Ayudante con precios unitarios y horas	#318 (Oficial Especializado) y #324 (Oficial Ayudante) con IFCCOSTITEM y IFCQUANTITYTIME	Ambos formatos detallan los diferentes roles laborales con sus costos y tiempos de ejecución.

3.4. **Diferencias**

Tabla 7. Diferencia entre los esquemas BC3 vs IFC para parámetros de costos. Fuente: Elaboración propia (2025)

Aspecto	BC3	IFC	Descripción
Representación del Muro	Se define solo como una partida con costos por m².	#131=IFCWALL representa el muro con geometría.	IFC modela el muro con propiedades geométricos, mientras que BC3 solo lo cuantifica.
Unidad de Medida Principal	m² en la partida principal.	Sin una unidad directa, pero ligada a medidas del objeto.	En IFC, la medición se obtiene del modelo geométrico, en BC3 se define explícitamente.
Asociación de Costos	Cada partida tiene su precio y unidad directamente definidos.	IFCCOSTVALUE almacena costos vinculados a IFCCOSTITEM.	En IFC, los costos están anidados dentro del objeto, mientras que en BC3 están directamente en cada línea de partida.
Definición de Materiales	Se identifican con ~C y un precio unitario.	IFCMATERIAL y IFCCOSTITEM los asocian al muro.	IFC vincula materiales a elementos geométricos, BC3 los maneja como partidas independientes.
Tiempo de Mano de Obra	Definido en ~C con horas trabajadas y costo por hora.	IFCQUANTITYTIME para definir tiempos de trabajo.	En BC3, el tiempo es una cantidad en la partida; en IFC se almacena como un objeto de cantidad (IFCQUANTITYTIME).

3.5. **Estrategia de integración**

Durante la investigación no se ha identificado ningún software, comercial o no, que permita la conversión automática de partidas BC3 a objetos IFC, se propone una estrategia teórica de integración basada en la correspondencia entre los parámetros de ambos formatos. Esta estrategia establece un marco conceptual que podría servir de base para el desarrollo de herramientas futuras que permitan la automatización del proceso. Se debe definir cómo representar cada partida presupuestaria en IFC sin perder información clave.

3.5.1. Asignación de costos a elementos IFC

Mapear ~C de BC3 con IFCCOSTITEM en IFC.

Vincular ~D de BC3 con IFCRELNESTS para jerarquizar costos.

Relacionar ~V (valores de coste) con IFCCOSTVALUE.

 BY-NC-SA

3.5.2. Uso de IFCQUANTITYRESOURCE para integrar mediciones

Las mediciones de BC3 pueden convertirse en IFCQUANTITYLENGTH, IFCQUANTITYAREA o IFCQUANTITYVOLUME en IFC.

3.5.3. Incorporación en software BIM

Desarrollo de un script de conversión que importe datos BC3 y los asigne a un modelo IFC existente. Implementación en herramientas como Revit, ArchiCAD o software especializado en presupuestos.

4. **Conclusión**

El esquema IFC contempla la posibilidad de incorporar información de costes asociada a las entidades constructivas de manera nativa, tiene la capacidad de extenderse con IFCCOSTITEM, lo que permitiría la integración de los datos de BC3 en un modelo. El análisis comparativo, sugiere que es posible la integración de la información almacenada en los registros BC3 en entidades especializadas IFC, manteniendo su estructura jerárquica y valores económicos. A pesar de que la conversión no puede realizarse de manera directa y requiere de un procesado adicional para su adaptación, este estudio plantea un modelo conceptual de integración, que permitiría el desarrollo de herramientas específicas para su implementación práctica en entornos BIM.

En términos de equivalencia de datos, los costos unitarios, materiales y mano de obra en BC3 pueden representarse en IFC mediante IFCCOSTITEM, IFCCOSTVALUE y IFCQUANTITYCOUNT/TIME/VOLUME, mientras que la jerarquía de partidas puede replicarse usando IFCRELNESTS. Sin embargo, la organización de la información difiere significativamente: BC3 estructura los costos en forma tabular, independiente de la geometría, mientras que IFC los vincula a elementos constructivos, dando un paso más en la integración de la información de costos en el modelo BIM.

La posible conversión de partidas a entidades IFC debe garantizar que no haya una pérdida de los datos de costos y que estos se vinculen adecuadamente al modelo BIM. Conviene añadir a esto el hecho de que las herramientas de autoría BIM se han enfocado mayoritariamente en la generación de geometría, por lo que habitualmente no contemplan el uso de entidades IFC como IFCCOSTITEM, lo que limita en gran medida su aplicación inmediata más allá de las herramientas de gestión de costes.

El análisis demuestra que, aunque BC3 e IFC, a pesar de contar con estructuras de datos muy distintas, son formatos con suficientes aspectos compatibles en términos de representación de costos. La clave para su integración radica en establecer una correspondencia entre los elementos de cada estándar, lo que permitiría una conversión de datos sin pérdida de información. Además, el soporte de IFC para la gestión de costes mediante el uso de entidades como IFCCOSTITEM abre la puerta a automatizar la estimación de presupuestos dentro del entorno BIM, mejorando la precisión y actualización de costos en cada etapa del proyecto, así como dotando de una mayor eficiencia a los profesionales al disponer de toda la información, geométrica y económica, relacionada dentro del modelo.

Actualmente, la principal barrera para esta integración es la falta de herramientas estándar que vinculen ambos formatos de manera automática. Esto obliga al desarrollo de métodos personalizados o plugins específicos para establecer una conexión efectiva. Sin embargo, con un enfoque estructurado y la implementación de soluciones tecnológicas adecuadas, la incorporación de información de costos de BC3 en IFC es un camino viable y prometedor para la industria de la construcción y la gestión BIM.

4.1. **Perspectivas a futuro**

Los resultados de esta investigación evidencian la viabilidad de una mayor integración entre los formatos BC3 e IFC en la gestión de presupuestos en entornos BIM. Sin embargo, esta integración aún enfrenta desafíos que requieren soluciones tecnológicas específicas, siendo el principal problema, la falta de herramientas que permitan una conversión automatizada entre ambos formatos. Actualmente, esta conversión solo es viable a

 BY-NC-SA

nivel teórico, por lo que una colaboración entre desarrolladores de software, entidades de estandarización y profesionales de la industria será clave para diseñar soluciones que optimicen este proceso.

Además, futuras investigaciones podrían explorar nuevas estrategias para estructurar la información de costos dentro de IFC, mejorando su interoperabilidad con estándares de presupuestación como BC3. La estandarización de procesos y la adaptación de IFC para integrar datos económicos con mayor flexibilidad fortalecerían la automatización y la eficiencia en la planificación de costos en proyectos BIM. Finalmente, validar estos enfoques en estudios de casos más amplios y en proyectos de mayor escala permitirá afinar la metodología y establecer lineamientos concretos para su implementación en la industria.

Referencias

BuildingSMART**.** (2024). *IFC - Industry Foundation Classes*. https://www.buildingsmart.org/standards/ifc/ [Consulta: 22 de febrero de 2025].

FUNDACIÓN LABORAL DE LA CONSTRUCCIÓN. (2021). *BC3 - Formato de intercambio de presupuestos*. https://www.fundacionlaboral.org/ [Consulta: 22 de febrero de 2025].

ISO. (2019). *ISO 10303-21:2019 - Industrial automation systems and integration — Product data representation and exchange — Part 21: Implementation methods: Clear text encoding of the exchange structure*. International Organization for Standardization.

VALLADARES, C. (2021). *BIM, estandarización y sus aplicaciones para la gestión de la construcción*. Editorial Académica Española.

FIEBDC. (2016). *FIEBDC-32016-2-2*. https://www.fiebdc.es/fiebdc-32016-2-2/ [Consulta: 22 de febrero de 2025].

TELEMATEL. (s.f.). *¿Qué es un Archivo BC3?*. https://www.telematel.com/blog/archivo-bc3/ [Consulta: 24 de febrero de 2025].

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen chatgpt4 en la plataforma https://chatgpt.com/, para la redacción de contenido, la revisión y mejora de estilo, la síntesis o resumen de información y el formateado de referencias bibliográficas.

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación.

 BY-NC-SA

LAW CLASH DETECTION

Tort-Vázquez, Enrique; Carroggio-Genís, Víctor; Elberti, Pierfrancesco; Bácenas-García, Javier; Iglesias-Gamella, Fernando.

Arquitecto por la Universidad de San Jorge. Socio en Atort Arquitectos, enrique@atort.com: Ingeniero Industrial por la UPC-ETSEIB. Lean Construction Manager en Think in Lean, victor@carroggio.es; Arquitecto por la Universidad Politécnica de Milán. Project Manager en ACTA Architects, p.elberti@gmail.com; Ingeniero Mecánico por la universidad Alfonso X El Sabio. Builtech Specialist en Modelical, jbtoybarce@gmail.com: Arquitecto por la Universidad de Alcalá de Henares. Responsable de Innovación y BIM de Kronos Real Estate, figlesias@kronosre.com.

Abstract

*We have developed an innovative **Law Clash Detection** (LCD) system aimed at optimizing regulatory validation in BIM models by integrating artificial intelligence and advanced automation processes. This solution introduces a methodology that minimizes manual intervention and mitigates human errors inherent to traditional processes. The system uses tools such as Dynamo, Python, and ChatGPT to perform regulatory analysis, generate planning tables, and execute compliance checks. Through an automated workflow, regulatory conflicts are identified, detailed reports are generated, and non-compliant elements are automatically corrected using the Revit API. Results are displayed in native Revit models with color codes and on OpenBIM platforms like BIMCollab, ensuring interoperability. The system is also designed to adapt to additional regulations, including combined parameter analysis and validation of materials and finishes. Future developments include integrating a dedicated AI engine and migrating to an OpenBIM plugin for modeling and visualization platforms.*

***Keywords**: BIM, automation, artificial intelligence, Law Clash Detection, regulations, Dynamo, Python, Revit, OpenBIM, efficiency.*

Resumen

*Hemos desarrollado un sistema innovador de **Law Clash Detection** (LCD) orientado a optimizar la validación normativa en modelos BIM mediante la integración de inteligencia artificial y procesos de automatización avanzados. Esta solución propone una metodología que minimiza la intervención manual y mitiga los errores humanos inherentes al proceso tradicional. El sistema emplea herramientas como Dynamo, Python y ChatGPT para llevar a cabo análisis normativos, generar tablas de planificación y ejecutar verificaciones de cumplimiento. A través de un flujo automatizado, se identifican conflictos normativos, se generan informes detallados y se implementan correcciones automáticas en los elementos no conformes mediante la API de Revit. Los resultados se representan tanto en modelos nativos de Revit mediante códigos de color como en plataformas OpenBIM como BIMCollab, garantizando la interoperabilidad. Asimismo, el sistema ha sido diseñado para adaptarse a normativas adicionales, incluyendo el análisis de parámetros combinados y la validación de materiales y acabados. En su desarrollo futuro, se contempla la integración de un motor de inteligencia artificial específico y la migración hacia un plug-in OpenBIM para plataformas de modelado y visualización, consolidándose como una herramienta robusta, escalable y destinada a maximizar la eficiencia en proyectos constructivos.*

***Palabras clave:** BIM, automatización, inteligencia artificial, Law Clash Detection, normativa, Dynamo, Python, Revit, OpenBIM.*

 BY-NC-SA

Introducción

El cumplimiento de las normativas en la industria de la Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operación (AECO) es esencial para garantizar la seguridad, calidad y legalidad de las edificaciones. Sin embargo, el proceso de aplicación de dichas normativas suele implicar revisiones manuales exhaustivas, haciéndolo susceptible a errores humanos e implicando una inversión significativa de tiempo y recursos. Según el informe de la Comisión Europea de 2022 sobre la digitalización en la construcción, el sector sufre una baja adopción de tecnologías avanzadas, lo que impacta directamente en la eficiencia y control normativo de los proyectos.

Además, la complejidad y la variedad de las normativas aplicables, como las ordenanzas urbanísticas municipales, que varían según el ámbito territorial, añaden dificultades al proceso de verificación. Hoy en día se carece de herramientas automatizadas que faciliten la comprobación del cumplimiento normativo, lo que puede contribuir a retrasos en los proyectos y al aumento de los costes asociados.

En este contexto, se presenta el desarrollo del sistema Law Clash Detection (LCD), un flujo automatizado para la detección y validación normativa en modelos BIM mediante la integración de inteligencia artificial, la automatización con Dynamo y el análisis de datos con Python. El objetivo propuesto en esta investigación es el de optimizar el proceso de verificación normativa, reduciendo la intervención manual y mejorando la precisión en la identificación de incumplimientos.

La propuesta metodológica aspira a transformar la verificación normativa en un proceso más eficiente, automatizado y trazable, facilitando la detección de incidencias normativas ya en las primeras fases de diseño, reduciendo la carga de trabajo de los profesionales del sector. Además, se plantea la posibilidad de extrapolar este flujo de trabajo a entornos de validación normativa en otros contextos nacionales y/o internacionales.

1. Alcance

Una vez formulada la idea del sistema Law Clash Detection (LCD), se hizo necesario delimitar cuidadosamente el alcance de las verificaciones normativas y el desarrollo de la automatización, adaptándolo a los recursos actualmente disponibles para su implementación. Con este propósito, se establecieron fases de desarrollo progresivas, comenzando con un enfoque simplificado, pero con una proyección ambiciosa de objetivos.

El estudio se ha desarrollado utilizando modelos nativos de Autodesk Revit. Como punto de partida, se ha definido un flujo de trabajo de verificación normativa centrado en reconocimiento geométrico de los elementos del modelo BIM, permitiendo en una primera fase la identificación visual dentro de Revit de aquellos elementos que no cumplan los requisitos de una normativa específica.

En un segundo momento, se han incorporado funcionalidades que no solo van a detectar las incidencias normativas, sino que también identifican la causa de cada infracción, determinan la normativa incumplida y proponen las modificaciones necesarias para garantizar el cumplimiento de esas.

En las fases más avanzadas, se ha implementado un flujo de trabajo de auditoría mediante el uso de herramientas de inteligencia artificial, a través del cual se generan gráficos y tablas dinámicas que complementan y enriquecen el proceso de análisis. Asimismo, se producen entregables en formato IFC con las incidencias visualmente identificadas, lo que facilita su consulta en visores OpenBIM como BIM Collab y permite un enfoque de visualización integral del proceso.

Finalmente, se incluye una funcionalidad de corrección automática de incidencias directamente en el modelo mediante Dynamo, optimizando la trazabilidad y eficiencia en la gestión de los elementos conflictivos. Este desarrollo progresivo permite validar la hipótesis de que la IA puede utilizarse efectivamente para verificar el cumplimiento legislativo en un modelo BIM, estableciendo una base sólida para su implementación a mayor escala.

BY-NC-SA

A largo plazo, se proyecta la extensión de este flujo de trabajo a otros softwares de modelado BIM, incluyendo la capacidad de identificación y verificación de normativas relacionadas con materiales y acabados. Este enfoque garantiza un desarrollo coherente y controlado en todas sus etapas, facilitando no solo la implementación inicial, sino también la futura expansión del sistema hacia un proceso completo de verificación y corrección normativa automatizada.

2**. Desarrollo**

2.1. **Primera fase de desarrollo**

Acotando el alcance, la investigación se centró en identificar los posibles incumplimientos con las normativas que dieran resultados de carácter geométrico, tales como el ancho de los pasillos, la altura entre plantas o la pendiente de las rampas. En esta primera etapa se acotó la comprobación normativa exclusivamente al Código Técnico de la Edificación (CTE), dado que se trata de un documento redactado claramente, de fácil acceso y que, por ende, resulta ser la base esencial para todos los proyectos de edificación en España.

El flujo de trabajo diseñado es compatible únicamente con el software de modelado BIM Revit en esta primera instancia.

El flujo ha sido concebido como una herramienta que permita verificar si, dada una característica geométrica, esta cumple con los requisitos dictados en el CTE. Por ejemplo, se puede consultar si la contrahuella de todas las escaleras del modelo BIM en examen cumple con la normativa del CTE, aunque no se pueda realizar una verificación global para todos los elementos del modelo. Este acotamiento permite desarrollar un flujo inicial de menor complejidad, adecuado para alcanzar los primeros objetivos del proyecto. Al finalizar el proceso, los elementos que no cumplen con la normativa quedan claramente identificados en Revit, facilitando su corrección.

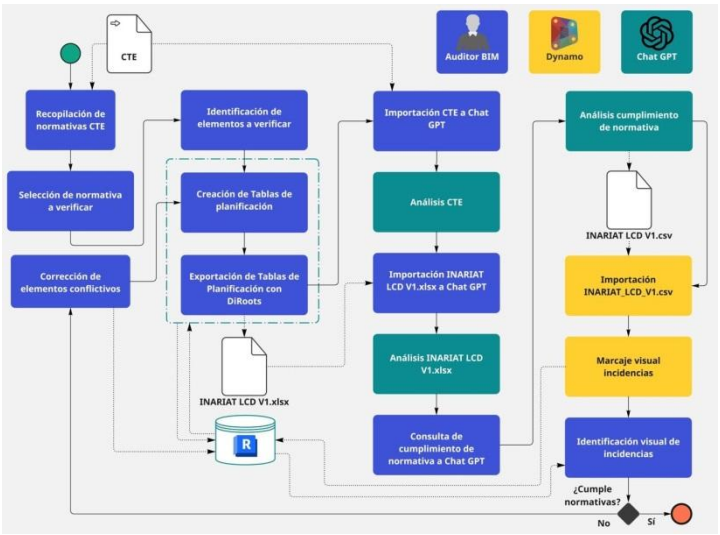


Fig. 1 Flujo LCD fase 1.

A continuación, se enumeran cada uno de los pasos de este primer flujo con el que se empezó a desarrollar el sistema:

1. Recopilación de normativas del CTE en formato *pdf*.
2. Selección manual de la normativa a consultar.
3. Identificación manual de los elementos a verificar.
4. Creación de una Tabla de Planificación de los elementos a consultar: esta tabla identifica los elementos a analizar con su *ifcGUID* y los parámetros críticos para verificar la normativa.
5. Exportación en formato *xlsx* de la tabla de planificación.

BY-NC-SA

6. Importación de la normativa a la IA: se carga el *pdf* del CTE en *ChatGPT* para su análisis.
7. Importación del archivo *xlsx* de la tabla de planificación a *ChatGPT*
8. Consulta de Cumplimiento de Normativa a *ChatGPT*: Solicitar a la IA la identificación de elementos de la tabla de planificación que no cumplen con una normativa específica del CTE.
9. Descarga del *csv* con los elementos conflictivos: la IA modifica la tabla de planificación añadiendo una columna con un parámetro que indica el cumplimiento o no cumplimiento de la normativa analizada y entrega un *csv.*
10. Importación del *csv* modificado a *Dynamo*.
11. Ejecución de una rutina de *Dynamo* para marcaje visual: Una sobreescritura gráfica marca en *Revit* los elementos no conformes.
12. Identificación de Incidencias en el Modelo BIM: En este punto se manifiesta un error de concepción en el diseño del flujo, las tablas de planificación extraídas muestran, para identificar a cada elemento, el parámetro *ifcGUID,* que es diferente al *Element ID*, propio de cada elemento de un proyecto de *Revit*. Para identificar los elementos que se quieren visualizar, *Revit* requiere un *Element ID* y la rutina no funciona con un *ifcGUID.*
13. Corrección de elementos conflictivos: Modificar los elementos manualmente en *Revit* y repetir el proceso desde la exportación si es necesario.

Conclusiones:

Después de completar esta primera fase de desarrollo, se ha confirmado la viabilidad de la idea inicial: se ha logrado utilizar ChatGPT para verificar que varios elementos de un modelo de Revit cumplan con normativas específicas, aunque sin llegar a evidenciarlos visualmente. Siendo el flujo de trabajo funcional, presenta un amplio margen de mejora. Por ejemplo, algunos pasos de consulta a ChatGPT podrían combinarse en uno único, y se podría crear una plantilla en Revit con tablas de planificación predefinidas. También hay que corregir la creación de las tablas de planificación para mostrar el Element ID en vez del ifcGUID. Estas mejoras se implementan en las siguientes fases de desarrollo.

En este punto, el flujo de trabajo es especialmente útil para realizar verificaciones a gran escala. Por ejemplo, en situaciones donde es necesario comprobar que 2.000 escalones cumplan con el ancho máximo de contrahuella, esta herramienta puede ahorrar considerablemente tiempo. Sin embargo, para verificaciones puntuales o de pocos elementos, su utilización no resulta práctica ya que no se beneficia de un ahorro significativo de tiempo.

En las fases sucesivas, el enfoque se centra en simplificar y optimizar este flujo de trabajo para hacerlo más eficiente y fácil de utilizar.

2.2. **Segunda fase de desarrollo**

Mejoras e implementaciones objetivo:

Sustitución de ifcGUID por Element ID: Este cambio se justifica porque el Element ID es el identificador único que la API de Revit utiliza internamente para gestionar y localizar los elementos del modelo, mientras que el ifcGUID es un identificador externo, asociado a procesos de interoperabilidad IFC. Aunque se ha considerado que el Element ID puede ser reasignado si un elemento es eliminado, este riesgo no afecta al flujo diseñado, ya que está concebido para el análisis de un modelo no transitorio, sin modificaciones durante la ejecución del proceso, partiendo de una imagen estática del proyecto.

Exportación directa de tablas de planificación desde Revit en formato csv: Este método es más eficiente y rápido, y evita las complejidades innecesarias añadidas por herramientas como DiRoots, que generan archivos Excel con características adicionales (colores, tablas inteligentes, etc.) que pueden interferir en el análisis de datos y en la interpretación de la IA.

Automatización de la exportación de tablas de planificación con Dynamo: Incorporar una rutina en Dynamo para automatizar la exportación de las tablas de planificación en csv, optimizando el flujo de trabajo y minimizando la intervención manual en el proceso.

 BY-NC-SA

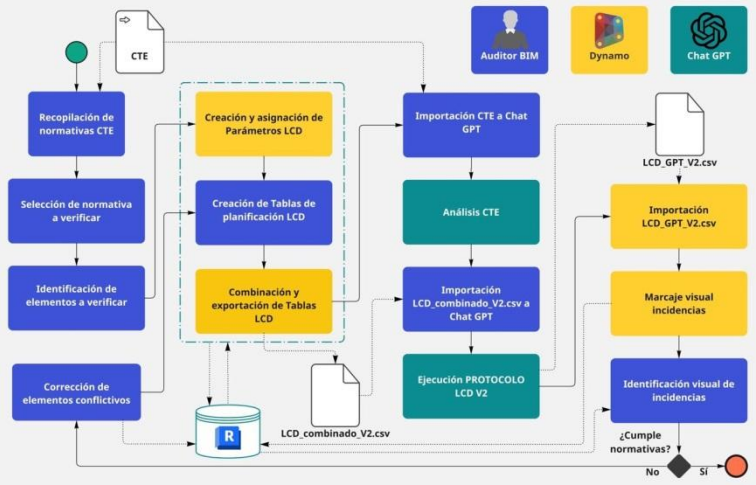


Fig. 2 Flujo LCD fase 2.

Este flujo de trabajo se inicia igual que el de la fase 1 y no cambia hasta la cuarta tarea. A continuación, se detalla el contenido de las 2 etapas que han sido modificadas significativamente:

4. Creación y asignación de los parámetros *Element Id* y "*LCD Check"* desde *Dynamo*: Se definen dos parámetros de proyecto en *Revit*, automáticamente con *Dynamo*, que indican el estado de verificación normativa de cada elemento y que almacena como texto el identificador único de cada elemento, respectivamente. Estos parámetros permiten registrar los resultados del análisis normativo y asociarlos correctamente a los elementos del modelo.

6. Combinación y exportación de *"Tablas de Planificación LCD"*: Se combinan las distintas tablas de planificación generadas para el análisis de diversas normativas en un único archivo *csv*.

Conclusiones:

En la Segunda Fase de Desarrollo del proyecto Law Clash Detection (LCD), se introducen algunas mejoras clave con el fin de optimizar el flujo de trabajo y solucionar los asuntos identificados en la fase inicial.

Por un lado, se ha sustituido el uso del identificador ifcGUID por el Element ID en las tablas de planificación de Revit, consiguiendo ejecutar la identificación visual del análisis en Revit posteriormente.

También, se pasa a exportar directamente las tablas de planificación desde Revit en formato CSV, prescindiendo de herramientas como DiRoots. Adicionalmente, se desarrolla una rutina en Dynamo que permite la exportación automática de estas tablas de planificación, incorporando la generación y asignación de los parámetros Element ID y "LCD Check". El parámetro "LCD Check", de tipo texto, se utiliza para almacenar el estado de cumplimiento normativo de cada elemento del modelo de Revit. Los valores posibles son: "No" (no verificado), "No Cumple" (no cumple con la normativa) y "Sí Cumple" (Sí cumple con la normativa).

Por otro lado, se optimiza la creación de "Tablas de Planificación LCD", diseñadas para verificar los parámetros normativos relevantes, como el ancho o la altura de elementos específicos, tales como escaleras o rampas. Estas tablas siguen una estructura estándar con dos columnas: Element ID y el valor del parámetro a verificar, lo que facilita la gestión y análisis de grandes volúmenes de datos de forma precisa y eficiente.

Además, se implementa la combinación de las tablas de planificación en un único archivo csv, que consta de cuatro columnas: Element ID, el tipo de parámetro, el valor del parámetro y la categoría del elemento. Esta estructura simplificada permite una integración más eficiente con ChatGPT, quien se encarga de analizar el cumplimiento normativo de todos los elementos del modelo de una sola vez.

Para completar este ciclo de mejoras, se desarrolla una rutina en Dynamo que marca visualmente en Revit los elementos que no cumplen con las normativas, presentando los resultados en una nueva vista 3D nombrada "LCD Check".

BY-NC-SA

Con estas implementaciones, el flujo de trabajo se automatiza y se fortalece, logrando que la verificación normativa no solo sea más sencilla y rápida, sino que también facilite la visualización de los elementos conflictivos dentro del modelo BIM de forma efectiva. Por otro lado, el funcionamiento interno del sistema es complejo, hay muchos códigos de python y flujos que transcurren dentro de Dynamo que son difíciles de identificar visualmente. Si falla algo, es difícil identificar la raíz del problema. Por este motivo, es muy importante seguir desarrollando las rutinas y los códigos de manera robusta y con outputs de feedback que indiquen si los códigos se ejecutan de manera correcta o no.

2.3. **Tercera fase de desarrollo**

Mejoras e implementaciones objetivo:

Listado de Categorías y Parámetros de Elementos en *Revit*: Crear un listado detallado de categorías de elementos de *Revit* (rampas, puertas, escaleras, etc.) que se relacionen con parámetros clave de *Revit*, como ancho, alto, y pendiente. Este listado debe vincularse a 10 normativas del Código Técnico de la Edificación (CTE).

Rutina de *Dynamo* para Creación de *"Tablas de planificación LCD":* Implementar una rutina en *Dynamo* que permita la creación automática de "*Tablas de Planificación LCD*". Estas tablas deben estar vinculadas con el listado de categorías y parámetros mencionado anteriormente, asegurando que cada elemento cumpla con las normativas.

Parámetros Adicionales LCD: Añadir los parámetros "*LCD Law"* y "*LCD Comment"*. El parámetro "*LCD Law"* indicará los apartados específicos del CTE que han sido comprobados, mientras que "*LCD Comment"* proporcionará un comentario sobre la validación realizada y, en caso de incumplimiento, explicará las razones.

Asignación Coherente de Parámetros: Para los elementos evaluados con más de una normativa, se debe asignar un valor coherente a los parámetros *"LCD Check"* y "*LCD Comment"*, reflejando el estado de cumplimiento del elemento frente a todas las normativas revisadas.

Visualización de Cumplimiento Parcial: Implementar la visualización de color naranja para los elementos que cumplen parcialmente con las normativas, es decir, aquellos que cumplen con algunas normativas evaluadas, pero no con todas.

Visualización de Falta de Información: Visualizar en la vista "*LCD Check"* los elementos que carecen de información suficiente para ser evaluados, es decir, aquellos con parámetros vacíos o con datos no interpretables.

Contadores para Asegurar la Ejecución Completa de Nodos: Añadir contadores que verifiquen la ejecución correcta de todos los nodos en la rutina de *Dynamo*, garantizando que no se omita ningún proceso.

Condicionales para Ejecución de Nodos: Incorporar condicionales que aseguren la correcta ejecución de los nodos de *Dynamo*, ajustándose a las condiciones específicas del modelo y sus elementos.

Optimización de la Secuencia de Ejecución: Mejorar la secuencia de ejecución de la rutina en *Dynamo* con nodos *passthrough*.

Incorporación del archivo "*LCD_TP.csv"*, generado por el Auditor BIM: Este archivo contiene las normativas a revisar y permite la creación automática de tablas de planificación. Además, mediante la automatización en *Dynamo*, se facilita la preparación del modelo de *Revit* para el análisis, optimizando el flujo de trabajo.

Generación automática de un informe de auditoría: esto va a documentar el análisis realizado y las incidencias detectadas, proporcionando una salida completa y estructurada del proceso de auditoría.

BY-NC-SA

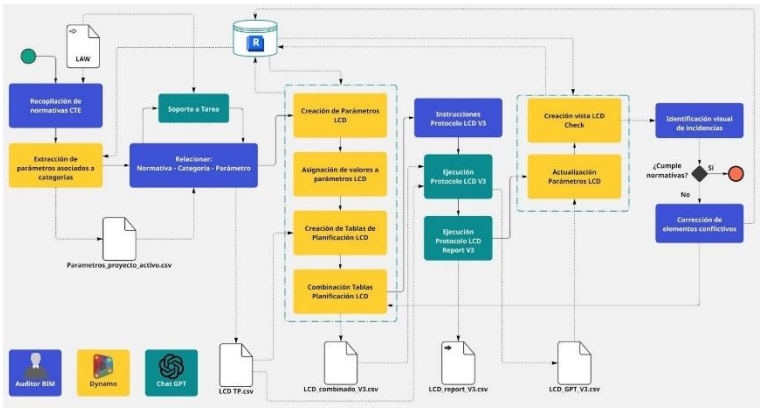
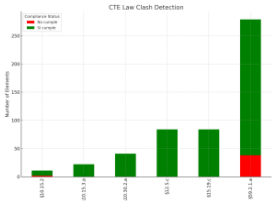


Fig. 3 Flujo LCD fase 3.

Comparando el flujo de la versión 2 con el de la versión 3, se puede observar que muchas tareas que anteriormente debía realizar el Auditor BIM manualmente, se han automatizado con Dynamo. A medida que transcurre el flujo, se generan nuevos documentos que añaden información al modelo BIM y que sirven de puente entre tareas.

Una vez entrenada, la IA ejecuta el Protocolo LCD Report V3, que genera un informe en formato PDF con los resultados del análisis normativo. Aunque el documento presenta un amplio margen de mejora en términos de diseño visual, es relevante subrayar que ha sido desarrollado íntegramente por inteligencia artificial, lo que representa un avance significativo para el sistema LCD. El informe ofrece una representación clara y concisa del análisis, facilitando la interpretación de los resultados y la detección de elementos conformes y no conformes con la normativa.

CTE Law Clash Detection



CTE Law Clash Detection - Resumen de Cumplimiento

LCD Law	No cumple	Si cumple
§10.15.2	2	9
§10.15.3.a	0	22
§10.30.2.a	0	41
§12.5.c	0	84
§15.19.c	0	84
§59.2.1.a	38	241

Fig. 4 Página 4 del informe LCD Report V3 creado por GPT.

Igual que en la fase 2 de desarrollo, se genera una vista en Revit denominada "LCD Check" que muestra los elementos evaluados según las normativas con una leyenda de colores.

Se introduce un cambio respecto la fase 2, se añaden dos colores nuevos de visualización, el naranja y el morado, la leyenda quedaría de la siguiente manera:

Verde si el valor de “LCD Check” es "Si cumple".

Rojo si el valor de “LCD Check” es "No cumple".

Morado si el valor de “LCD Check” es "No comprobable".

Naranja si el valor de “LCD Check” es "Cumple parcialmente"

Conclusión:

BY-NC-SA

La tercera fase de desarrollo ha marcado un avance significativo en la optimización del flujo de trabajo del sistema Law Clash Detection (LCD), mejorando tanto la precisión de las verificaciones normativas como la eficiencia en el manejo de datos. En esta etapa, se implementaron componentes esenciales como el archivo “LCD_TP.csv” que, en combinación con las rutinas de Dynamo, permite la creación automatizada de tablas de planificación vinculadas a normativas específicas del Código Técnico de la Edificación (CTE). Esta incorporación ha facilitado la preparación del modelo de Revit para análisis posteriores, permitiendo una vinculación directa entre los elementos y sus respectivos requisitos normativos.

Además, se introdujeron mejoras visuales para los elementos evaluados: se agregó la visualización en color morado para elementos con información insuficiente y el color naranja para aquellos que cumplen parcialmente con las normativas. Este esquema de colores permite una inspección visual rápida de los estados de cumplimiento, ayudando a los auditores BIM a identificar y priorizar elementos conflictivos de manera efectiva.

Es fundamental, sin embargo, que el auditor BIM interprete los resultados del análisis LCD con criterio técnico, manteniéndose atento a situaciones donde el contexto del elemento afectado pueda hacer que una normativa no aplique en casos específicos. La capacidad del auditor para identificar estas particularidades asegura que el análisis no dependa únicamente de los parámetros estandarizados, compensando las limitaciones actuales del sistema.

Finalmente, la generación automática de informes de auditoría mediante inteligencia artificial ha representado un hito clave en el flujo de trabajo, al permitir una salida estructurada y coherente que documenta de forma clara las incidencias detectadas. Esta funcionalidad no solo proporciona una visión global del estado del modelo, sino que también facilita su revisión y ajuste en etapas posteriores.

Con estas mejoras, el proceso se consolida como una herramienta más robusta, eficiente y alineada con los objetivos de control de calidad normativa.

2.4. **Cuarta fase de desarrollo**

En esta fase de desarrollo, se introducen mejoras significativas en la automatización del análisis y corrección de modelos BIM en Revit, con el objetivo de optimizar la auditoría conforme a normativas del Código Técnico de la Edificación (CTE).

En primer lugar, se implementará un módulo basado en inteligencia artificial capaz de analizar automáticamente las propiedades de los elementos del modelo, relacionarlas con los requisitos normativos y generar tablas de planificación “LCD Check”, minimizando la intervención del auditor BIM y agilizando la configuración para distintos proyectos.

Asimismo, se integrará un sistema de corrección automatizada de incidencias mediante un código en Python ejecutado en Dynamo, permitiendo resolver de manera masiva errores recurrentes en modelos de gran escala. Las incidencias menores, en cambio, seguirán siendo corregidas manualmente.

Para garantizar la trazabilidad de las modificaciones, se generará una vista específica en Revit que resalte los elementos ajustados, facilitando su revisión y verificación por parte del auditor BIM.

Finalmente, se incorporará una opción de exportación a IFC con compatibilidad para BIM Collab, habilitando la visualización mediante smart views y mejorando la interoperabilidad del modelo en procesos de revisión colaborativa.

BY-NC-SA

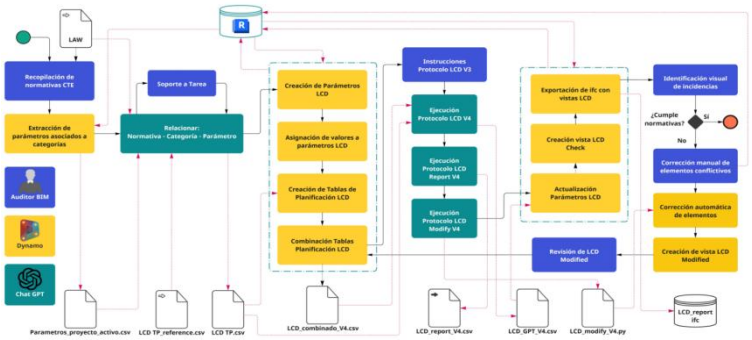


Fig. 5 Flujo LCD fase 4.

En comparación con la versión 3, la versión 4 introduce una reestructuración significativa en el flujo de trabajo, redistribuyendo la responsabilidad del análisis normativo y la parametrización en Revit. Anteriormente, el auditor BIM lideraba esta tarea con la asistencia de ChatGPT; en esta nueva fase, ChatGPT asume el rol principal, mientras que el auditor se encarga de ajustes específicos.

Asimismo, la generación de la vista “LCD Check” se complementa ahora con una rutina de exportación automática a IFC, optimizando la interoperabilidad del modelo auditado. Finalmente, se ha implementado un sistema de corrección automática de incidencias mediante IA, acompañado de una vista específica en Revit que resalta visualmente los elementos modificados, mejorando la trazabilidad y el control del proceso de auditoría BIM.

A continuación, se presenta una explicación continua del flujo desarrollado en esta última fase de mejora y su funcionamiento.

Inicialmente, se cargan en ChatGPT los documentos de normativas correspondientes al Código Técnico de la Edificación (CTE) para que la IA tenga el contexto de las verificaciones requeridas.

Seguidamente, se le proporciona el archivo “Parametros_proyecto_activo.csv”, donde se explican tanto su estructura como los datos que contiene, solicitando un análisis de su contenido en relación con las categorías y parámetros que maneja Revit en proyectos BIM.

Posteriormente, se comparte una tabla de referencia o plantilla “LCD_TP_reference.csv” explicando su rol en el proyecto como modelo para la creación de nuevas tablas de planificación. Se detalla a la IA cómo cada columna de esta tabla se vincula con normativas del CTE y con los parámetros específicos de Revit que permitirán automatizar la verificación de cumplimiento.

Con esta base, se instruye a la IA para que genere de manera autónoma un archivo “LCD_TP.csv” nuevo, con una serie de tablas adaptadas a los requisitos del CTE. Es decir, con la información sobre el proyecto a auditar y la normativa aplicable, la IA propone de manera autónoma una serie de normativas a analizar para determinados elementos del modelo BIM.

Finalmente, el auditor BIM revisa el archivo creado por la IA, aplicando las correcciones necesarias para asegurar la coherencia de las relaciones entre parámetros, normativas y valores admisibles.

Este es el proceso seguido para crear el archivo de referencia para crear tablas de planificación de manera automática con IA, sin embargo, aunque este proceso ofrece un marco de referencia para la creación automática de tablas de planificación mediante IA, la complejidad del ejercicio evidenció ciertas limitaciones en la capacidad de procesamiento y coherencia de ChatGPT 4.0. El sistema requiere ajustes frecuentes, ya que en múltiples casos la IA sugiere relaciones o valores que no se corresponden adecuadamente con la normativa. Se evidencia que Chat GPT 4.0, tiene una limitación de tiempo de procesado por orden y no puede procesarlo todo exhaustivamente en una misma instrucción. A pesar de estas limitaciones, se considera este ejercicio como un logro. Se ha logrado una prueba conceptual exitosa de lo que podría lograrse con un entorno de IA más avanzado y con mayor capacidad de análisis contextual prolongado.

BY-NC-SA

Para automatizar la corrección de incidencias múltiples, se ha desarrollado un nuevo protocolo: el “Protocolo LCD Modify V4". Este protocolo constituye un procedimiento automatizado ejecutable en ChatGPT para la identificación y corrección de incidencias normativas en modelos BIM dentro del entorno Revit. Su propósito es optimizar la modificación de parámetros conflictivos en elementos afectados cuando una tabla de planificación LCD presente más de veinte incidencias relacionadas con normativas del Código Técnico de la Edificación (CTE).

El protocolo se inicia con el análisis del último “Protocolo LCD V4” ejecutado. Si en este análisis se detecta una “Tabla de planificación LCD” con más de veinte incidencias en un mismo parámetro, la IA propone un nuevo valor que garantice el cumplimiento normativo, ajustándolo al punto más cercano entre el valor actual y el valor admisible. Esta propuesta es presentada al auditor BIM para su validación.

Una vez aprobado el valor propuesto, se procede a la generación de un código en Python diseñado para ser ejecutado en un nodo de Dynamo para Revit. Este código accede a la API de Revit, identifica los elementos afectados y modifica sus parámetros, garantizando su adecuación a la normativa. Además, el protocolo actualiza automáticamente el estado del parámetro “LCD Check" a “LCD Modified”, lo que indica que la corrección ha sido aplicada con éxito. Finalmente, el código generado es almacenado en un archivo denominado “LCD_modify_V4.py” para su implementación en Dynamo.

Para visualizar el análisis del sistema LCD en un entorno OpenBIM, el proyecto de Revit se exporta a IFC incluyendo los parámetros LCD, lo que permite abrir el archivo en visores como BIM Collab y aplicar smart views sobre estos parámetros, ofreciendo una visualización completa del análisis sin necesidad de acceso a Revit.

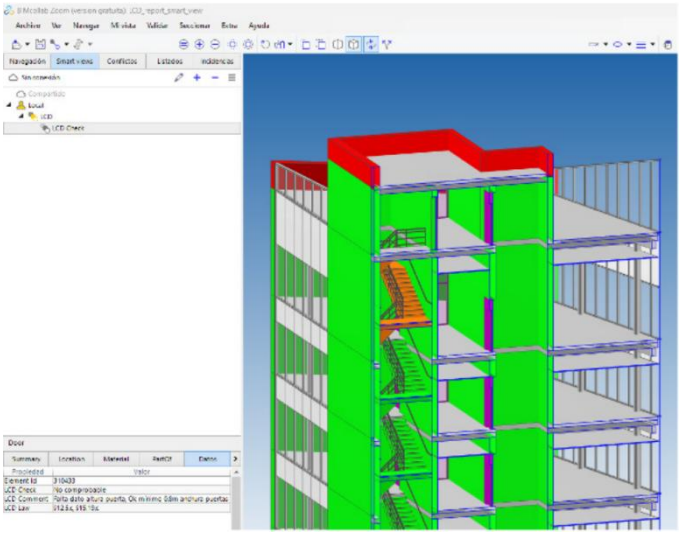


Fig. 6 Smart view LCD en BIM Collab.

Para facilitar este flujo, se ha añadido un nuevo nodo en la rutina de Dynamo que realiza la exportación del proyecto activo a IFC, asegurando que los parámetros LCD se incluyan en el archivo. Este IFC se guarda automáticamente con el nombre “LCD_report.ifc” en el mismo directorio del proyecto, permitiendo así su fácil localización y acceso.

Tras el análisis completo de cumplimiento de normativas, comienza el proceso de correcciones. En caso de haberse identificado más de 20 incidencias del mismo tipo, un nodo de Python en Dynamo ejecuta automáticamente el archivo “LCD_modify_V4.py”, previamente generado y guardado en el directorio del proyecto.

BY-NC-SA

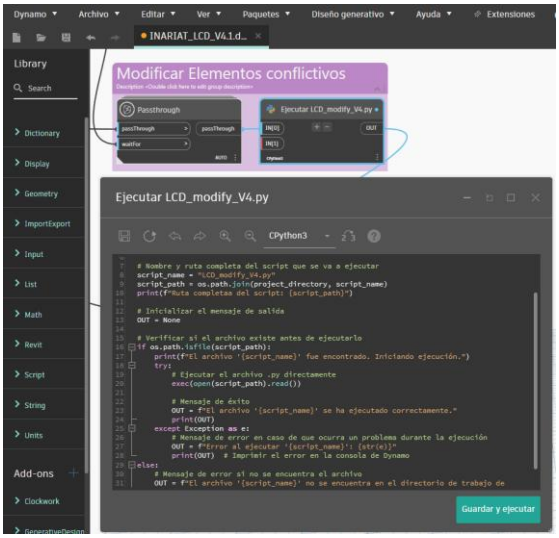


Fig. 7 Nodo de ejecución de LCD_modify_V4.py en Dynamo.

El archivo “LCD_modify.py” contiene los Element ID de los elementos a modificar, junto con el parámetro específico que debe ajustarse y el valor objetivo correspondiente para cada caso. El script realiza los ajustes necesarios en cada elemento, estableciendo el valor del parámetro al deseado, y marca todas las instancias de ese tipo con el parámetro “LCD Check” como “LCD Modified” para garantizar la trazabilidad del proceso de corrección.

Para identificar los elementos modificados por el “Protocolo LCD modify v4” en el modelo, se añade una leyenda en la vista “LCD Check” que destaca los elementos modificados en color azul claro. Esta sobreescritura gráfica se ejecuta tras la modificación automática, buscando todos los elementos con el parámetro “LCD Check” configurado en “LCD Modified” y aplicando la sobreescritura gráfica para asegurar una visualización clara y trazable de los cambios realizados.

Conclusión:

La cuarta fase de desarrollo del sistema Law Clash Detection (LCD) destaca los beneficios de un flujo de trabajo optimizado mediante automatización avanzada y una integración precisa entre inteligencia artificial y auditor BIM, alcanzando así un modelo de verificación normativa autónomo y eficiente en proyectos BIM.

El análisis automatizado de propiedades en Revit y la generación automática de tablas “LCD_TP.csv” reducen la carga inicial del auditor. Ahora, ChatGPT asume un rol proactivo en la vinculación de normativas del CTE con parámetros de Revit, requiriendo solo ajustes específicos por parte del auditor. Esto no solo acelera la configuración, sino que permite adaptar rápidamente el sistema a distintos proyectos y distintas normativas. A través de este flujo de trabajo somos capaces de analizar todo un proyecto en relación con las normativas aplicables, y las herramientas de inteligencia artificial utilizadas permiten realizar una auditoría específica adaptada a cada caso.

3**. Conclusiones del desarrollo y potencial de implementación**

El sistema Law Clash Detection (LCD), desde la fase 1 hasta la fase 4, muestra una evolución progresiva en la automatización y precisión de la verificación normativa en entornos BIM. Gracias a la integración de una IA avanzada, el sistema permite analizar de forma específica los elementos de un modelo en Revit frente a las normativas aplicables, generando auditorías detalladas y personalizadas para cada proyecto, y abordando incluso la corrección automática de incidencias múltiples.

BY-NC-SA

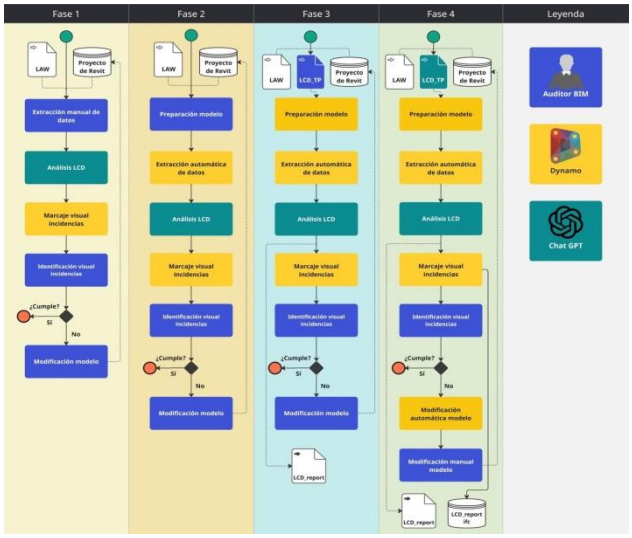


Fig. 8 Flujo Resumen LCD fases 1-2-3-4.

A medida que el sistema evoluciona, el rol del auditor BIM se enfoca más en la supervisión, mientras que la automatización mediante Dynamo y la interpretación, análisis y generación de documentación por parte de ChatGPT 4.0 asumen un papel central, optimizando los tiempos de verificación y reforzando la trazabilidad y el control normativo.

No obstante, el sistema aún presenta limitaciones y requiere mejoras para consolidarse como una solución comercializable. Uno de los principales retos es la estabilidad y estandarización del entorno de IA. ChatGPT, diseñado para ofrecer respuestas variadas, necesita consistencia en la ejecución de protocolos. Además, su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos es limitada. Desarrollar un motor de IA específico con lenguaje Large Lenguage Models (LLMs) y técnicas de Machine Learning permitiría auditorías normativas más complejas, abordando verificaciones interrelacionadas de materiales, eficiencia energética y acústica.

La evolución final del sistema implicaría la migración de la automatización desde Dynamo a un plug-in OpenBIM compatible con el grueso de herramientas de modelado BIM disponibles en el mercado, consolidando así una solución integral, escalable y adaptable a los distintos entornos utilizados en la industria AECO.

Referencias

AKPONEWARE, A. AND ADAMU, Z., 2017. Clash Detection or Clash Avoidance? An Investigation into Coordination Problems in 3D BIM. Buildings, MDPI AG.

AUTODESK PLATFORM SERVICE. Apis to Design and make anything. https://aps.autodesk.com/ [Consulta 19 de febrero de 2025]

COMISIÓN EUROPEA, 2022. Digital Decades Country Reports. https://digital-strategy.ec.europa.eu/es/library/country-reports-digital-decade-report-2023

LUZMO (CUMUL.IO FORMERLY). Turn Data to Impact. https://www.luzmo.com/ [Consulta 20 de febrero de 2025]

NAIMI, S. AND ABDALHAMEED, B., 2023. Based BIM techniques to clash detection for construction projects. Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)

NANJIANG CHEN, XUHUI LIN, HAI JIANG AND YI AN, 2024. Automated Building Information Modeling Compliance Check through a Large Language Model Combined with Deep Learning and Ontology. https://www.mdpi.com/journal/buildings

SMITH, D.K. AND TARDIF, M., 2009. Building information modeling: a strategic implementation guide for architects, engineers, constructors, and real estate asset managers. John Wiley & Sons.

PROVOST, F. AND FAWCETT, T., 2013. Data Science for Business: What you need to know about data mining and data-analytic thinking. O'Reilly Media, Inc.

BY-NC-SA

RAMYA, S. AND GEORGE, G., 2022. Relative Study on Clash Detection and its Effects on BIM Modelling. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)

SUCCAR, B. AND POIRER, R., 2020. BIM Lifecycle Information Transformation and exchange for delivering and managing digital assets.

THAT OPEN COMPANY. Welcome to the AECOsystem. https://thatopen.com/ [Consulta 19 de febrero de 2025]

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen ChatGPT-4 (OpenAI) en la plataforma https://chat.openai.com, para el análisis automatizado del Código Técnico de la Edificación (CTE), la generación de tablas de planificación normativas, la verificación de cumplimiento de parámetros de modelos BIM en Revit, así como para la elaboración automatizada de informes de auditoría, corrección de estilo y resumen de contenidos dentro del desarrollo del sistema Law Clash Detection.

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación.

BY-NC-SA

ENHANCING BIM COLLABORATION THROUGH LEGO® SERIOUS PLAY®: AN INNOVATIVE APPROACH TO UNIVERSITY

Villa, Valentina
Department of Structural, Geotechnical and Building Engineering, Politecnico di Torino, Italia, valentina.villa@polito.it

Abstract

In the changing educational landscape, new learning methodologies put the focus on active participation, critical thinking and problem solving over traditional passive instruction. This article presents an innovative teaching model implemented at Politecnico di Torino, where LEGO® SERIOUS PLAY® (LSP) methodology was used to enhance discussions and reflections on building information modeling (BIM). Based on experiential learning principles, the workshops encouraged active student participation in collaborative, hands-on activities, using LSP to creatively and interactively explore complex BIM concepts. By creating physical models with LEGO®, participants were able to visualize abstract ideas, communicate their perspectives more effectively, and build a shared understanding of BIM processes and challenges together. This method has proven particularly effective in fostering active learning, critical thinking, and teamwork, which are key skills related to higher-level cognitive processes in Bloom's taxonomy.

Keywords*: learning methodologies, active learning, critical thinking, Lego® Serious Play® (LSP), building information modeling (BIM), collaboration*

Resumen

En el cambiante panorama educativo, nuevas metodologías de aprendizaje ponen el foco en la participación activa, el pensamiento crítico y la resolución de problemas por encima de la instrucción pasiva tradicional. Este artículo presenta un modelo de enseñanza innovador implementado en el Politécnico de Turín, donde se utilizó la metodología LEGO® SERIOUS PLAY® (LSP) para mejorar las discusiones y reflexiones sobre la modelización de la información para la edificación (BIM). Basado en los principios del aprendizaje experiencial, los talleres fomentaban la participación activa de los estudiantes en actividades colaborativas y prácticas, utilizando el Lego® Serious Play® para explorar de manera creativa e interactiva conceptos BIM complejos. Al crear modelos físicos con LEGO®, los participantes pudieron visualizar ideas abstractas, comunicar sus perspectivas de manera más eficaz y construir juntos una comprensión compartida de los procesos y desafíos del BIM. Este método ha demostrado ser particularmente eficaz para fomentar el aprendizaje activo, el pensamiento crítico y el trabajo en equipo, que son habilidades clave relacionadas con los procesos cognitivos de mayor nivel en la taxonomía de Bloom.

Palabras clave: *metodologías de aprendizaje, aprendizaje activo, pensamiento crítico, Lego® Serious Play® (LSP), modelado de información para la edificación (BIM), colaboración*

 BY-NC-SA

Introduction

The integration of innovative teaching methodologies in higher education is essential for fostering deep learning and collaboration among students. Rooted in Bloom's Taxonomy, which emphasizes progression from basic knowledge acquisition to higher-order thinking skills such as analysis, evaluation, and creation, active learning methods have gained prominence. Among these, hands-on activities have been shown to enhance cognitive engagement and understanding. This principle aligns with the concept of "learning by doing", where tactile experiences reinforce conceptual comprehension (Wheeler, 2020).

Over the past few years, several efforts have been undertaken to create more effective methods for providing engineering students with the necessary problem-solving skills (Wankat and Oreovicz, 2015). Laboratory activities, among other approaches, are valuable for teaching and advancing knowledge and education. The literature emphasizes the importance of students being actively engaged beyond mere listening, participating in higher-order tasks (Bonwell and Eison, 1991). In science, technology, engineering, and mathematics (STEM) courses, active learning enhances conceptual understanding and problem-solving skills, as evidenced by improved test scores (Hake, 1998). It also fosters positive attitudes and increased persistence in group settings (Springer et al., 1999), and disproportionately benefits students from disadvantaged backgrounds and female students in male-dominated fields (Freeman et al., 2014).

Bloom's taxonomy provides an effective framework for categorizing learning objectives in education, spanning cognitive, affective, and psychomotor domains (Bloom et al., 1956). It is commonly used to design educational processes that promote advanced thinking, such as analyzing and evaluating concepts, rather than simply memorizing facts. The revised version of Bloom's taxonomy (Anderson et al., 2001) introduces more active forms of thinking, with updates to the cognitive domain (Clark, 2004). Modern teaching techniques aim to motivate educators to integrate all three domains, fostering a holistic educational model that encompasses the entire learning process, rather than focusing on isolated specializations.

Lego® Serious Play® (LSP) is an innovative methodology designed to stimulate creative thinking, foster collaboration, and enhance problem-solving using LEGO® bricks. Initially developed for corporate environments, LSP has found applications in diverse fields, including education, where it serves as a tool for engaging students in participatory and reflective learning processes. The core philosophy of *Lego® Serious Play®* is grounded in constructivism and constructionism. Constructivism posits that knowledge is actively constructed by learners rather than passively received, while constructionism emphasizes the role of tangible objects in facilitating this process. By leveraging these principles, *Lego® Serious Play®* transforms abstract ideas into physical models, making complex concepts more accessible and promoting shared understanding within teams.

The *Lego® Serious Play®* method, developed by (Victor et al., 2002), utilizes LEGO® bricks within a guided environment to foster exploratory learning. This approach is rooted in (Piaget, 1954)'s constructivist theory. The concepts of play and flow (Primus & Sonnenburg, 2018), along with the constructionist link between cognition and hands-on activity (Dann, 2018), and the crucial role of metaphors in shaping meaning, form the theoretical foundation of this methodology.

Metaphorical thinking is stimulated by the creativity induced by play, which helps illustrate ideas, leading to new meanings and ultimately to constructivist learning. *Lego® Serious Play®* transforms learning into an experiential process. The workshops are structured into four phases: challenge presentation, building time, meaning sharing, and reflection (Blair & Rillo, 2016). The entire process is led by a facilitator, who plays a significant role in the first and last phases, while the building and meaning-sharing phases are primarily participant-driven. The recommended time for each phase varies depending on the challenge and the depth the facilitator intends to reach (Blair & Rillo, 2016).

 BY-NC-SA

1. **State of the Art**

Although there are no direct examples of *Lego® Serious Play®* applied to BIM education at universities, adapting this methodology could be an interesting option to enhance learning and collaboration in information modeling courses, strengthening the soft skills necessary for teamwork, coordination, and cooperation.

In 2011, (Bulmer, 2011) applied *Lego® Serious Play®* in the "Technology Management and Entrepreneurship" program at the University of New Brunswick to stimulate creativity, innovation, and collaboration among engineering students, improving problem-solving and teamwork through LEGO® bricks. In 2021, (Lopez-Fernandez, 2021) conducted workshops with 242 computer science students, using *Lego® Serious Play®* to teach software engineering concepts in a playful and active manner, enhancing motivation, learning, and the development of transversal skills. In 2023, (Benesova, 2023) implemented *Lego® Serious Play®* in a university management module, highlighting its benefits in participatory and co-creative education. Supported by music, LSP improved students' learning and management skills. Another example is (Vahid, 2024), who utilized *Lego® Serious Play®* to facilitate and enhance organizational decision-making processes through a conceptual framework.

Despite the lack of specific research examples on *Lego® Serious Play®* applied to BIM education at universities, inspiration can be drawn from similar applications in other educational contexts.

In the context of Building Information Modeling (BIM), a methodology that requires interdisciplinary collaboration and complex information management, *Lego® Serious Play®* offers a unique approach to enhancing team dynamics. BIM relies on effective communication, coordination, and cooperation among stakeholders to optimize design and construction processes. However, fostering such collaboration can be challenging due to varying levels of expertise and communication barriers within project teams. *Lego® Serious Play®* addresses these challenges by creating a non-threatening environment where participants can express ideas visually and verbally, leading to improved mutual understanding and team cohesion (Kriszan, 2024).

Several studies have demonstrated the effectiveness of *Lego® Serious Play®* in educational settings. For instance, (Cullum, 2019)'s research on using LEGO® for exploring historical concepts in higher education revealed that students engaged more actively in discussions and demonstrated a deeper understanding through hands-on model building. Similarly, (Kawahara, 2019)'s experiments with LEGO-based historical reconstructions highlighted the potential of tactile learning to enhance cognitive and social skills. These findings suggest that *Lego® Serious Play®* can be a valuable tool for teaching BIM concepts, enabling students to visualize complex workflows and fostering collaboration essential for real-world projects.

This paper investigates the application of *Lego® Serious Play®* in a university workshop focused on BIM modeling and collaboration. By exploring its potential to enhance teamwork and improve the design process, this study aims to contribute to the growing body of research on innovative teaching methods in architecture and engineering education. Specifically, it examines how *Lego® Serious Play®* can bridge gaps in communication and coordination within BIM teams while promoting critical thinking and creativity. Integrating *Lego® Serious Play®* into BIM modeling courses can represent an innovative approach to improving collaboration, understanding complex concepts, and developing the essential skills required in the construction industry.

In the "*Gestione del Cantiere e del Progetto*" and "*Project and Site Management*" master's degree courses at Building engineering at Politecnico di Torino, we experimented with using LEGO to stimulate creative thinking and collaborative processes. With the support of Starching, the *Lego® Serious Play®* for BIM (LSP4BIM) methodology enabled students to "think with their hands," engaging them in a collective decision-making process. Targeted exercises were designed to encourage a shared solution by integrating individual perspectives, fostering a structured and cohesive approach to information modeling and collaborative workflows. These skills are essential for effectively embracing digital transformation in the construction sector. Incorporating play into university classrooms transformed communication dynamics and increased engagement levels, making all participants active contributors to the learning experience.

 BY-NC-SA

2. **Development of Educational program**

The *Lego® Serious Play®* method is based on three fundamental principles: construction, storytelling, and reflection. These principles can be applied to facilitate BIM learning, enhancing the understanding of 3D models and improving communication among design teams.

- **Construction:** Using LEGO bricks to create models representing BIM concepts, such as buildings or infrastructure, helps students visualize and better understand complex structures.
- **Storytelling:** Participants explain the meaning of their models, sharing their perspectives and ideas, thereby improving communication and collaboration.
- **Reflection:** Analyzing the built models and identifying common themes fosters critical thinking and deep learning.

Lego® Serious Play® can be used to enhance collaboration among students, fostering a more cohesive and productive working environment. By constructing LEGO models, students can explore different perspectives and develop a deeper mutual understanding, enhancing team building and collaboration. Moreover, this method allows students to visualize BIM processes: using LEGO bricks to represent workflows and BIM process phases can help students better grasp how different disciplines interact throughout a project.

In addition, *Lego® Serious Play®* serves as a problem-solving technique: it can be employed to address common BIM challenges, such as data management and interoperability between different software. Constructing LEGO models representing these challenges can facilitate discussions and the search for innovative solutions.

The *Lego® Serious Play®* methodology was therefore integrated into the educational program of two master's degree courses in Building Engineering at Politecnico di Torino during the 2022/2023 academic year. Specifically, two dedicated sessions were organized: one for the "*Gestione del Cantiere e del Progetto*" course, part of the "*Resilienza del Costruito*" master's program, delivered in Italian to a class of 15 students, and one for the "*Project and Site Management*" course, part of the "*Green Building*" master's program, taught in English to an international class of approximately 78 students, 38 of whom participated in the activity.

Both courses provide an overview of the construction process and project management strategies, from the design phase to on-site construction. Undoubtedly, BIM supports all phases, and collaboration has become an essential element, both for the group projects students are required to carry out during the semester and in their future professional careers.

For this reason, the Lego Serious Play methodology was introduced as an innovative teaching tool, aiming to shift perspectives, encourage alternative approaches to problem-solving and reflection, bring play into university classrooms, and transform traditional lectures into shared discussions.

The activity described below was designed and implemented in collaboration with architect Leonardo Previ, a certified *Lego® Serious Play®* facilitator and founder of Trivioquadrivio, an Italian consulting firm specializing in corporate training, organizational development, and innovation. For over 25 years, he has been designing and facilitating learning experiences based on creative and experiential methodologies.

Support for its application in the field of information modeling was provided by Matteo Giani, consultant and BIM Manager at Starching, an Italian engineering and architecture firm specializing in integrated design, BIM (Building Information Modeling), and the management of complex projects. The company offers consulting and development services for buildings, infrastructure, and urban planning, combining digital innovation with sustainability.

A full-day workshop was organized for each specialization course. The goal of the workshop was to understand how BIM has been integrated into students' workflows and how they perceive modeling and the transformations that BIM use entails in relationships between colleagues, specialists, and stakeholders.

 BY-NC-SA

3. **Daily Schedule**

The two sessions took place on April 18, 2023, for the Italian-taught course and on May 31, 2023, for the English-taught course. The workshop structure was the same for both classes:

- 09:30 - 10:00 Introduction to the LSP4BIM methodology
- 10:00 - 11:00 Skills building (preparatory exercises)
- 11:00 - 11:30 Core identity 1: participants individually build a model representing the key feature of architectural design.
- 11:30 - 12:00 Core identity 2: participants individually build a model representing the key feature of BIM.
- 12:00 - 13:00 Positioning (participants place their models on the table to create an initial business landscape) and faculty feedback.
- 13:00 - 14:00 Lunch break
- 14:00 - 14:30 Agent 1: participants individually build a model representing the agent with the most positive impact on the landscape.
- 14:30 - 15:00 Agent 2: participants individually build a model representing the agent with the most negative impact on the landscape.
- 15:00 - 16:30 Faculty intervention to comment on and integrate the results obtained by the participants.

4. **Working groups**

The first session took place in the "Gestione del Cantiere e del Progetto" course, taught in Italian, with a total of 15 participants divided into two groups. The first group consisted of 8 females, while the second group included 6 females and 1 male.

The second session was held in the "Project and Site Management" course, in the international English-taught class, with a total of 23 participants divided into three groups. The first group consisted of 8 males, the second of 6 males and 1 female, and the third of 7 males and 1 female.

Table 1. Composition of the working groups for the two courses, including the number of male and female participants in each group

	Italian course		**International course**		
Group number	***Team 1***	***Team 2***	***Team 1***	***Team 2***	***Team 3***
Male	1	0	8	6	7
Female	6	8	0	1	1
Number of participants per group	**7**	**8**	**8**	**7**	**8**

Fig. 1: Photo of participants: left Italian course and right international course.

Emerging from the keywords below, an interesting observation emerged when considering the gender distribution within the two workshop groups. In the Italian course, which had most female participants, the discussions and models tended to focus more on collaborative aspects and the management of information flows. Students emphasized teamwork, communication, and the importance of shared understanding in BIM processes.

On the other hand, the international course, predominantly composed of male participants, showed a stronger inclination toward technological themes, including the use of digital twins, sensors, and advanced interoperability concepts. While this distinction does not imply a rigid division of interests, it highlights how

 BY-NC-SA

group composition may subtly influence the orientation of discussions and the emergence of specific topics during creative, hands-on activities.

The preparatory exercises warmed up the classroom, creating a nice transformative atmosphere and putting the students at ease. They were games exemplifying the essence of the *Lego® Serious Play®* methodology, i.e., doing before thinking, thinking with hands.

In "*Core identity 1*" participants, on an individual basis, had to represent an aspect related to engineering design. With limited time and having the LSP kit at their disposal, they then gave meaning to their construction, illustrating it to the classroom and summarizing the concept they had in mind on a post-it note. Table 2 shows the key words that emerged in the distinct groups:

Table 2. Key features of architectural design

Italian course		**International course**		
Team 1	***Team 2***	***Team 1***	***Team 2***	***Team 3***
Linearity	Spaces and people	Simmetry	Confort	Relationship
Innovation	Overcoming limits	Team working	Safety	Multipath
Structural nodes	Balance	Foundation	Innovation	Energy
Shielding	Safety	Technology	Beyond	Harmony
Design	Future	Innovation	Decoration	Equilibrium
Ease of use	Stability	Sustainability	Control	Elevation
Accessibility	Collaboration	Team working	Art	Architecture
	Quality	Transportation		Survey

The use of physical models truly conveys the idea of concepts that are sometimes very abstract, such as communication, management, lack of organization, etc. To illustrate how effective this methodology is when applied to the BIM management of processes, some images are provided of the objects created during the workshop, inspired by the ideas previously discussed in class. The concept of forward-looking design, embracing innovation, is well represented by spaceships.

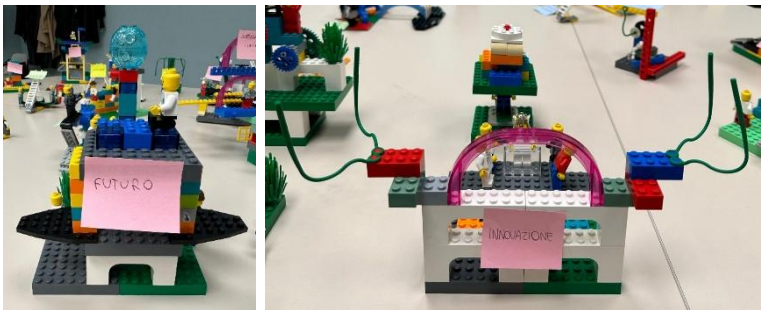


Fig. 2: Photo of two LEGO models of key features of architectural design

In "*Core identity 2*" participants, on an individual basis, had to represent an aspect related to BIM (Building Information Modeling). With limited time and having the *Lego® Serious Play®* kit at their disposal, they then gave meaning to their construction, illustrating it to the classroom and summarizing the concept they had in mind on a post-it note. Table 3 shows the key words that emerged in the distinct groups:

Table 3. Key features of BIM

Italian course		**International course**		
Team 1	***Team 2***	***Team 1***	***Team 2***	***Team 3***
Cooperate	Interoperability	Interoperability	Knowledge	Digital Twin
Cooperation	Decisions	Team working	Process	Sensors
Integration	Durability	Communication	Interoperability	Simulations
Sharing	Collaboration	Composable	Trasparency	Connection
Interoperability	Learning	Stability BIM	AIM	LCA
Process	Dynamism	Thinking	Completeness	Modular
Information	Information	Data Collection	Mindset	Unity
	Coordination	Evolution		Team work

In the analysis of BIM, models of collaboration, connection, and communication emerge. There are figures looking at each other, working at the same table, following the same path, and being connected by a thread.

BY-NC-SA

The visualization also includes characters who, if unwilling to collaborate, turn into skeletons, as shown in Fig. 4.

Fig. 3: Photo of two LEGO models of key features of BIM

At this point, the elements that emerged in the more traditional view of the building process and BIM had to be structured and positioned to create a shared and unified discourse for the group.

Remarkably interesting elements emerged, both in terms of planimetric organization (some thought of a hexagon, some a linear path, some a city with a center and many streets branching off from the central square). Personal visions mixed with a common thought, a clear sign of how this methodology, highly creative but with very precise timing and rules, leads to a result shared by the team in a brief time.

Fig. 4: Photo of three different landscape arrangements that combine the key features of architectural design and BIM: linear (on the left), city-shaped with a central square (in the middle), and hexagonal (on the right).

After a break, we moved on to the third part of the work: In "*Agent 1*" the participants, on an individual basis, had to represent a positive agent on the landscape presented in the morning. With limited time and having the *Lego® Serious Play®* kit at their disposal, they then gave meaning to their construction, illustrating it to the classroom and summarizing the concept they had in mind on a post-it note. Table 4 shows the key words that emerged in the distinct groups:

Table 4. Meaning of models representing the agent with the most positive impact on the landscape

Italian course		**International course**		
Team 1	***Team 2***	***Team 1***	***Team 2***	***Team 3***
Knowledge	Compare	Innovation	Fusion	Climate change
Creativity	Agreement	Collaboration	Technology	Governance
Investment	Teamwork	Efficiency	Step by step	Efficiency
Process time	Training	Development	Evaluation	Communication
Sustainability	Management	Infrastructure	Leadership	Cooperation
Money	Communication	Coordination	Expertise	Time
Construction time	Sustainability	Strategy	Integration	Budget
	Specialized planning	Implementation		Technology

For the third part, dedicated to models representing the agent with the most positive impact on the landscape, the most significant one is shown in Figure 5, where the paradigm shift is clearly visualized. From individuals initially focused on their own goals, two staircases at the center connect and create unity. It is not an easy path—it is an uphill climb for both—but there is a concrete opportunity for effective communication, thanks to the use of innovative technologies.

BY-NC-SA

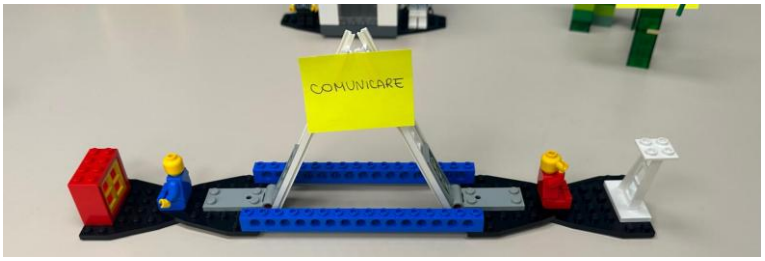


Fig. 5: Photo of a model representing the agent with the most positive impact on the landscape

In "*Agent 2*" the participants, on an individual basis, had to represent a negative agent on the landscape. With limited time and having the *Lego® Serious Play®* kit at their disposal, they then gave meaning to their construction, illustrating it to the classroom and summarizing the concept they had in mind on a post-it note. Table 5 shows the key words that emerged in the distinct groups:

Table 5. Meaning of models representing the agent with the most negative impact on the landscape

Italian course		**International course**		
Team 1	***Team 2***	***Team 1***	***Team 2***	***Team 3***
Difficulty in making teams	Bureaucracy	Inefficiency	Lack of teamwork	No safety
Inconsistency	Economic losses	Delay	Lack of coordination	Economic losses
Different languages	Setbacks	No Planning	Time	No communication
Non-observation of rules	Traffic accidents	Regulatory issue	Budget overrun	Money
Structural instability	Time (haste)	Lack of trasparency	No scheduling	Time Waste
Lack of coordination on site	Disinformation	Cultural barriers	Confusion	Inefficiency
Business failure	Disregard	Confusion	Bureaucracy	No common rules
	Lack of updating	Financial problems		Interoperability

Regarding the negative aspects, we find a lack of coordination, represented by staircases leading to nowhere, positioned in different points of space, and skeletons moving along paths without clearly knowing where to go. The use of different languages creates dividing walls, highlighting the absence of effective teamwork, with characters searching for a path in completely opposite directions.

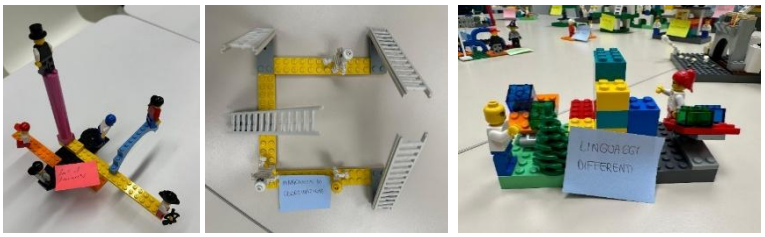


Fig. 6: Photo of a model representing the agent with the most negative impact on the landscape

5. **Results and feedback**

To enhance the clarity and impact of the findings, a summary table consolidate the key results from each activity (e.g., Core Identity 1 and 2, Agents 1 and 2). Table 6 would synthesize the concepts that emerged during the workshops, providing a clear and concise comparison across separate groups and activities. By presenting the data in a structured format, the table would facilitate a better understanding of the recurring themes and unique insights generated by the participants, highlighting the effectiveness of the Lego® Serious Play® methodology in fostering collaboration and critical thinking within BIM education.

Table 6. Summary table that consolidates the key results from each activity

Workshop Activity	**Focus Area**	**Key Themes (Italian Course)**	**Key Themes (International Course)**	**Observations**

 BY-NC-SA

Core Identity 1	Architectural Design	Linearity, Innovation, Stability	Symmetry, Sustainability, Collaboration	Emphasis on structure, harmony, and user experience
Core Identity 2	BIM Concepts	Cooperation, Communication, Interoperability	Digital Twin, Teamwork, Information	Strong focus on process integration and teamwork
Agent 1	Positive Influences	Creativity, Agreement, Efficiency	Innovation, Sustainability, Communication	Communication and innovation seen as key enablers
Agent 2	Negative Influences	Bureaucracy, Time Waste, No Teamwork	Inefficiency, Lack of Coordination, Confusion	Common issues: delays, miscommunication, unclear roles

The feedback from the students after the workshop highlighted several key takeaways. First, the importance of communication was emphasized, with students recognizing the value of never turning their backs on each other and having the courage to take responsibility. They also reflected on the need for commitment and effort in performing one's tasks effectively. The workshop underscored the significance of multidisciplinary knowledge and the role of clear, critical thinking in producing quality projects. Students also highlighted the importance of sharing a common vision to achieve goals. Furthermore, communication was identified as essential for reaching objectives, as it involves the exchange of ideas and collaboration, with participants stressing that people must actively engage with one another. Finally, brainstorming was seen as a vital tool, with students acknowledging that communication and idea-sharing are far from a waste of time.

The students appreciated several aspects of the workshop. They highlighted the sequence of exercises and the concept of using Lego to relate to BIM, which allowed for hands-on interaction and practical learning. They value team collaboration and idea-sharing, recognizing that each individual's actions contributed to the final result. Many students appreciated how the models were unified to explore the connections between them.

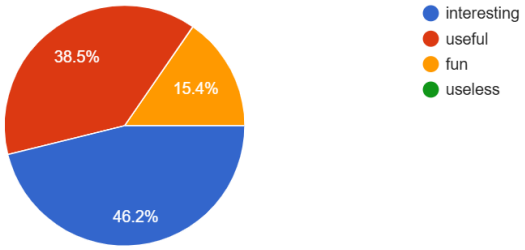


Fig. 7: The results to the question "How do you evaluate the workshop?"

The inclusivity and focus on creating a powerful performance stood out as a key aspect of the workshop, demonstrating the effectiveness of the methodology from the start. Creativity, group activities, and the opportunity to work with the thoughts of other engineers were also valued. Finally, students enjoyed the freedom to create without overthinking, which helped them understand the subconscious aspects of BIM, as well as the critical thinking and creativity involved in naming Lego shapes and creating stories around them.

Both days were rich in energy and content. The feedback from the students was overwhelmingly positive, with all participants expressing a favorable opinion to the question "Do you think it was a worthwhile experience?" and the majority deemed the sessions both useful and engaging.

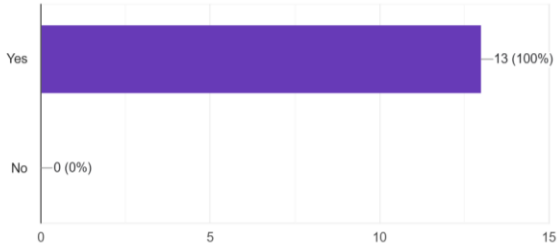


Fig. 8: The results to the question "How do you evaluate the workshop?"

BY-NC-SA

Overall, the students did not highlight any aspects they disliked, except for one comment suggesting that it would have been better if the teams were chosen randomly, and a mention regarding the date of the workshop.

They mostly appreciated the hands-on, "learn by doing" approach, which contrasted with the typical theoretical and passive learning methods, helping to engage their subconscious and improve creative thinking, problem-solving, and communication. Many found it both interesting and fun, and it helped them understand their unconscious thoughts about BIM better. The workshop also broadened their horizons, addressing topics not typically covered in engineering degrees, and promoting creativity and team bonding. They valued the opportunity to work with new ways of group thinking and problem-solving.

The workshop made them reflect on various aspects, including how the exercises were connected and the importance of collaboration to achieve goals. Students realized that different people could have unique ideas, yet still arrive at similar outcomes. They were struck by how many different solutions and perspectives can emerge from the same topic. Some students noted that the exercise highlighted the theoretical nature of engineering and the industry's need for more practical, enjoyable approaches. The workshop also encouraged participants to tap into their creativity and think about how the meaning we assign to things shapes their outcome, emphasizing the value of collaboration and creating methodologies from their team's perspective.

The students expressed positive emotions throughout the workshop. Many felt calm, happy, and interested, with several noting that they were engaged in the activities, having fun and not wasting time. Some described feeling relaxed yet energized, excited, and amused, with one student commenting that "time flies." Overall, the atmosphere was described as great, and students felt highly active and focused during the experience.

In terms of group work, students generally had a positive experience. Cooperation was highlighted as good, with many mentioning that communication and collaboration went well. Some students appreciated the chance to listen to each other, share ideas, offer advice, and elevate each other's thinking. One student described the group experience as "perfect," emphasizing the mutual support in refining the model. The overall group dynamic was seen as enjoyable, with a great atmosphere that fostered creativity and collaboration, despite some occasional challenges.

To further contextualize this experience within the broader landscape of software studies, it is valuable to draw comparisons with other pedagogical innovations such as gamification. Both Lego® Serious Play® and gamification aim to increase student engagement and foster active participation. While Lego® Serious Play® relies on tangible, collaborative construction and metaphoric storytelling, gamification introduces game elements like points, badges, and challenges to motivate learners. In the context of BIM education, gamified approaches—such as simulation-based scenarios or competitive team-based modeling—could complement Lego® Serious Play® by reinforcing decision-making under constraints, a crucial skill in real-world project environments.

Additionally, the LSP4BIM methodology shares several principles with the Project-Based Learning (PBL) approach. Both methods emphasize active student engagement, interdisciplinary collaboration, and real-world problem solving. Integrating Lego® Serious Play® into a broader Project-Based Learning framework could further enhance the learning experience, by allowing students to iteratively develop solutions to open-ended design challenges while also reflecting on their collaborative processes. This integration could be particularly powerful in multidisciplinary AEC courses, where students must synthesize knowledge across domains.

From an assessment perspective, experiential methods like LSP often challenge traditional evaluation metrics. To address this, hybrid assessment tools can be adopted. For example, combining physical modeling activities with digital splash-screen assessments, typically used in online learning environments, can offer a richer picture of student understanding. Splash-screen tools can be used to prompt immediate reflection and self-evaluation after each phase of the workshop. Additionally, combining LEGO models with online collaborative platforms (e.g., Padlet, Miro) could help document the evolution of group thinking, capture non-verbal contributions, and facilitate asynchronous peer feedback. Such mixed approaches not only enhance inclusivity and accessibility but also support a more formative assessment model, focusing on student growth, collaboration, and process awareness rather than only on outcomes.

 BY-NC-SA

6. **Conclusion**

The integration of *Lego® Serious Play®* into university-level BIM education, as explored through workshops at Politecnico di Torino, demonstrates a promising avenue for enhancing collaborative learning and critical thinking skills. This study aimed to investigate the potential of *Lego® Serious Play®* to address the inherent challenges in BIM education, specifically focusing on improving team dynamics, communication, and the comprehension of complex processes. The findings from these workshops offer valuable insights into the effectiveness of experiential learning methodologies in preparing students for the collaborative demands of the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry.

The primary observation from the implementation of LSP4BIM is the significant increase in student engagement and active participation. Traditional lecture-based instruction often struggles to foster a sense of shared understanding and can be limited in its ability to cater to diverse learning styles. In contrast, the hands-on nature of *Lego® Serious Play®* encourages students to actively construct their understanding of BIM concepts through physical models. The act of building with LEGO® bricks allows for the tangible representation of abstract ideas, making them more accessible and facilitating deeper cognitive processing.

Furthermore, the storytelling component of *Lego® Serious Play®* proves instrumental in promoting effective communication within BIM teams. By articulating the meaning behind their models, students are compelled to share their perspectives, negotiate ideas, and build a collective narrative. This process helps to break down communication barriers, foster empathy, and create a more inclusive environment where all voices are heard and valued. The ability to articulate one's ideas and understand the viewpoints of others is crucial in the context of BIM, where interdisciplinary collaboration is paramount. The reflection phase of the *Lego® Serious Play®* workshops provides an opportunity for students to critically analyze their models and identify common themes and insights. This reflective process encourages higher-order thinking skills, such as analysis, evaluation, and synthesis, which are essential for effective problem-solving in the AEC industry. By reflecting on their experiences, students are able to consolidate their learning, identify areas for improvement, and develop a more nuanced understanding of the complexities of BIM.

The workshops highlighted the potential of Lego® Serious Play® to foster a more playful and creative learning environment. The use of LEGO® bricks makes the learning process more fun, reducing anxiety and promoting a relaxed, open atmosphere. This encourages students to take risks, experiment with innovative ideas, and think innovatively, which is highly valued in the AEC industry, where adaptability and innovation are crucial. Despite the positive findings, certain limitations should be acknowledged, such as the small sample size and the need for further research to validate these results on a larger scale and in diverse educational contexts. Additionally, the assessment of learning outcomes was mainly based on qualitative observations, and future studies could benefit from incorporating quantitative measures. Despite these limitations, the study provides valuable insights into the effectiveness of Lego® Serious Play® as an innovative teaching methodology for BIM education. The findings suggest that it can enhance student engagement, promote effective communication, stimulate critical thinking, and create a more creative learning environment. By integrating Lego® Serious Play® into BIM curricula, educators can better prepare students for the collaborative demands of the AEC industry and equip them with the skills needed to thrive in the rapidly evolving digital landscape. In conclusion, the integration of Lego® Serious Play® into BIM education represents a significant step toward a more engaging, collaborative, and effective learning experience. Further research and experimentation in this area are crucial to fully unlocking the potential of Lego® Serious Play® and other experiential learning approaches in BIM education.

7. **Future applications**

The potential future applications of the Lego® Serious Play® methodology in BIM education are broad and transformative. Integrating Lego® Serious Play® into BIM courses can create immersive learning environments that foster creativity, critical thinking, and collaboration. Future applications could include advanced workshops where students address real-world BIM challenges, such as project coordination and conflict resolution, using LEGO® models to visualize and solve problems. Incorporating digital LEGO® tools

 BY-NC-SA

could also expand Lego® Serious Play® 's reach, making it suitable for remote and hybrid learning environments. Continuous refinement through feedback and research will ensure its ongoing effectiveness.

Combining Lego® Serious Play® with other teaching methods, such as virtual reality and gamification, can further enhance the learning experience, equipping students with the skills needed to meet the evolving demands of the AEC industry. Additionally, Lego® Serious Play® can encourage collaboration across disciplines within the AEC industry. Joint workshops involving architecture, engineering, and construction management students can help address interdisciplinary BIM challenges, fostering a holistic understanding of the construction process. Integrating Lego® Serious Play® with active learning methods, such as Problem-Based Learning and case studies, can create a comprehensive educational experience that strengthens critical thinking, problem-solving, and teamwork skills. By implementing strategies like these, educators can fully leverage the potential of Lego® Serious Play® to enhance BIM education and prepare students for the collaborative and interdisciplinary demands of the AEC industry.

8. **Acknowledgments**

I would like to express our sincere gratitude to Leonardo Previ, President of Trivioquadrivio, for his guidance, expertise, and for providing the necessary tools for the successful implementation of the workshop. My sincere thanks also go to Matteo Giani, BIM Manager at Starching, for his valuable support and contributions. Without their dedication and commitment, this wonderful experience would not have been possible. I am also grateful to the master's degree students of the "Project and Site Management" and "Gestione del Cantiere e del Progetto" courses of Politecnico di Torino, for stepping up to the challenge and for their enthusiastic participation in the proposed activities.

References

Anderson, L. W., D. R. Krathwohl, P. W. Airasian, K. A. Cruikshank, R. E. Mayer, P. R. Pintrich, J. Raths, and M. C. Wittrock. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. New York: Pearson, Allyn & Bacon.

Benesova, N. (2023). LEGO® Serious Play® in management education. *Cogent Education*, *10*(2). https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2262284

Blair, S., & Rillo, M. (2016). SERIOUSWORK: How to facilitate meetings & workshops using the LEGO® serious Play® method. ProMeet.

Bloom, B., M. D. Engelhart, E. J. Furst, W. H. Hill, and D. Krathwohl. (1956). Taxonomy of educational objectives. Handbook I: The cognitive domain. New York: Longmans.

Bonwell, C., and J. Eison. (1991). Active learning: Creating excitement in the classroom. AEHE-ERIC Higher Education Rep. No. 1. Washington, DC: Jossey-Bass.

Bulmer, L. (2011). THE USE OF LEGO ® SERIOUS PLAY IN THE ENGINEERING DESIGN CLASSROOM. Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEA). https://doi.org/10.24908/pceea.v0i0.3699

Clark, D. R. (2004). "Bloom's taxonomy of learning domains." Accessed July 18, 2018. http://nwlink.com/~donclark/hrd/bloom.html.

Dann, S. (2018). Facilitating co-creation experience in the classroom with lego serious Play. Australasian Marketing Journal, 26(2), 121–131. https://doi.org/10.1016/j.ausmj.2018.05.013

Hake, R. R. (1998). "Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses." Am. J. Phys. 66 (1): 64–74. https://doi.org/10.1119/1 .18809.

Freeman, S., S. L. Eddy, M. McDonough, M. K. Smith, N. Okoroafor, H. Jordt, and M. P. Wenderoth. (2014). "Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics." Proc. Nat. Acad. Sci. USA 111 (23): 8410–8415. https://doi.org/10.1073/pnas .1319030111.

VAHID JAVIDROOZI, CHRIS MAGUIRE, GERALD FELDMAN y NASSIR IBRAHIM (2024). "Facilitating organisational decision-making process through LEGO® SERIOUS PLAY® method" en International Journal of Management and Decision Making (2024, vol. 23, n. 6. 127-140)

JOCHEN TEIZER, OLGA GOLOVINA, STEPHAN EMBERS y MARIO WOLF, (2020) "A Serious Gaming Approach to Integrate BIM, IoT, and Lean Construction in Construction Education" en Construction Research Congress 2020: Project Management and Controls, Materials, and Contracts pp. 21-30. doi:10.1061/9780784482889.003

 BY-NC-SA

D. López-fernández, A. Gordillo, F. Ortega, A. Yagüe and E. Tovar, "LEGO® Serious Play in Software Engineering Education," in IEEE Access, vol. 9, pp. 103120-103131, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3095552.

Victor, B., Roos, J., & Rasmussen, R. (2002). U.S. Patent Application No. 09/772,810.

Piaget, J. (1954). The construction of reality in the child. Basic Books. https://doi.org/10.1037/11168-000

Primus, D. J., & Sonnenburg, S. (2018). Flow experience in design thinking and practical synergies with lego serious Play. Creativity Research Journal, 30(1), 104–112. https://doi.org/10.1080/10400419.2018.1411574

Springer, L., M. Stanne, and S. Donovan. 1999. "Effects of small-group learning on undergraduates in science, mathematics, engineering and technology: A meta-analysis." Rev. Educ. Res. 69 (1): 21–51. https://doi .org/10.3102/00346543069001021

Stephanie Wheeler, Jonathan Passmore, Richard Gold (2020). All to play for: LEGO® SERIOUS PLAY® and its impact on team cohesion, collaboration and psychological safety in organisational settings using a coaching approach. Journal of Work-Applied Management. Vol. 12, issue 2. Emerald Insight. ISSN: 2205-2062

Kriszan, A., & Nienaber, B. (2024). Researching Playfully? Assessing the applicability of LEGO® Serious Play® for researching vulnerable groups. Societies, 14(2), 15. https://doi.org/10.3390/soc14020015

Wankat, P. C., & Oreovicz, F. S. (2015). Teaching Engineering, second edition. Purdue University Press.

Cullum, P. (2019). Play as a technique for history in higher education. University of Huddersfield. Retrieved from https://pure.hud.ac.uk/en/publications/play-as-a-technique-for-history-in-higher-education.

Kawahara, D. (2019, January 14). Constructive play: LEGO for learning in history, heritage and beyond. University of Lincoln. Retrieved from https://history.lincoln.ac.uk/2019/01/14/constructive-play-lego-for-learning-in-history-heritage-and-beyond

 BY-NC-SA

MODELADO BIM DE LA TORRE DE CONTROL DE LA UNIVERSIDAD DE ALICANTE COMO EJERCICIO ACADÉMICO

Pérez-Sánchez, Juan Carlos; Céspedes-López, María Francisca; Mora-García, Raúl Tomás; Pérez-Sánchez, Vicente Raúl.
Profesor Titular de Universidad (Universidad de Alicante, España), jc.perez@ua.es; Profesora Ayudante Doctora (Universidad de Alicante, España), paqui.cespedes@ua.es; Profesor Contratado Doctor (Universidad de Alicante, España), rtmg@ua.es; Profesor Titular de Universidad (Universidad de Alicante, España), raul.perez@ua.es.

Abstract

This paper presents the BIM modeling process of the Control Tower building of the University of Alicante, used as an example to optimize the management and operation of educational infrastructures. The work is developed in the BIM in Building course of the Degree in Technical Architecture, creating a comprehensive digital model that represents not only the geometry of the building, but also integrates information on construction systems, facilities and maintenance. The paper details the modeling phases, from data collection to the integration of technical and operational information. Students apply the BIM methodology to a specific project, learning how to model and integrate information, which optimizes decision making and reduces errors. The paper describes the tools used and analyzes the advantages and disadvantages encountered in the process. The study highlights the importance of digitization in architecture and construction, proposing recommendations for future BIM applications.

Keywords*: BIM, University, Training, Point Cloud, As-built Model, Data, Management, Maintenance.*

Resumen

Este trabajo presenta el proceso de modelado BIM del edificio Torre de Control de la Universidad de Alicante, utilizado como un ejemplo para optimizar la gestión y operación de infraestructuras educativas. El trabajo se desarrolla en la asignatura BIM en la Edificación del Grado en Arquitectura Técnica, creando un modelo digital integral que representa no solo la geometría del edificio, sino que también integra información sobre sistemas constructivos, instalaciones y mantenimiento. La comunicación detalla las fases del modelado, desde la recopilación de datos hasta la integración de información técnica y operativa. Los estudiantes aplican la metodología BIM a un proyecto concreto, aprendiendo a modelar e integrar información, lo que optimiza la toma de decisiones y reduce errores. En el trabajo se describen las herramientas utilizadas y se analizan las ventajas e inconvenientes encontradas en el proceso. El estudio resalta la importancia de la digitalización en la arquitectura y construcción, proponiendo recomendaciones para futuras aplicaciones de BIM.

Palabras clave: *BIM, Universidad, Formación, Nube de puntos, Modelo As-built, Datos, Gestión, Mantenimiento.*

 BY-NC-SA

Introducción

La implantación de la metodología BIM en el sector de la edificación está siendo un proceso lento, pese a las ventajas que supone frente a las metodologías tradicionales. Existen varios factores que han ralentizado el cambio de la metodología tradicional a BIM, entre los que destacan el componente económico, la carencia de información, la capacitación del personal técnico y el componente humano *(Gómez Valdés et al., 2023)*.

No obstante, en los últimos años, la incorporación de BIM en el sector de la edificación ha avanzado significativamente en España, impulsándose fundamentalmente en el sector público. En 2023 se aprobó el Plan BIM para la incorporación de la metodología BIM en la contratación pública, que pone en valor su uso y sus beneficios, estableciendo un calendario progresivo de implantación *(Orden PCM/818/2023, 2023)*. Su publicación, está ayudando a la aceleración de la implantación y publicación del estándar BIM en las administraciones públicas. Los colegios profesionales y asociaciones están realizando una labor importante, fomentando la formación y divulgación BIM, que ha supuesto un avance de la metodología BIM en el sector. Esto ha permitido, entre otras cosas, la divulgación y conocimiento de la metodología BIM (buildingSMART Spain, 2025).

En este contexto, la formación en BIM de estudiantes de grados relacionados con el sector AEC ("Architecture, Engineering and Construction"), es un factor clave para el avance en la implantación de la metodología BIM. En este sentido, también se ha avanzado significativamente en los últimos años, estableciendo estrategias de integración de la metodología BIM en titulaciones afines en la Universidad. Existen numerosos estudios sobre estrategias para la implantación de BIM en el ámbito universitario a nivel estatal. Algunos están centrados en un grado concreto como es el caso del Grado en Ingeniería de Edificación de la Escuela Politécnica de Cuenca *(Alfaro González et al., 2016)*, o el del Grado en Arquitectura Técnica de la Universidad de Alicante *(Pérez-Sánchez et al., 2017)* y otros estudios están centrados en las Escuelas de Arquitectura (*Aldeanueva Fernández et al., 2017).* A partir de los estudios y análisis de implantación, se han ido incorporando contenidos BIM en la Universidad, en titulaciones relacionadas con el sector AEC, en las asignaturas principalmente de Máster, y en menor medida de Grado o Postgrado, y también mediante cursos de formación continua (García Santos et al., 2017). Todas estas iniciativas han sido aisladas y no coordinadas entre escuelas, no existiendo un planteamiento global que unifique las estrategias a adoptar, dentro del marco legislativo y competencial actual (García Granja et al., 2020).

El estudio realizado se enmarca en la asignatura BIM en la Edificación, del Grado en Arquitectura Técnica de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante. A lo largo del curso 2023-24, se realizó el modelo BIM del edificio de la Torre de Control de la Universidad de Alicante, empleando nuevas tecnologías y programas BIM, para obtener una representación digital del edificio, que incluyera información gráfica y datos.

Para ello, se planteó el desarrollo de la asignatura centrado en la obtención del modelo BIM del edificio objeto de estudio, realizando una búsqueda previa de información, empleando escáner láser terrestre (TLS, "Terrestrial Laser Scanning") para la adquisición de datos de edificios existentes, utilizando programas BIM para el modelado a partir de los datos obtenidos y su análisis posterior (*Rocha et al., 2020*).

De esta forma, los contenidos de la asignatura se aplicaron al proyecto del edificio objeto de estudio, empleando la plataforma Moodle de la Universidad de Alicante para publicar la documentación necesaria, y para permitir realizar las entregas por parte de los estudiantes, pudiendo tener un control durante todo el proceso.

1. Antecedentes

Tal y como se ha comentado, el edificio objeto de estudio es la Torre de Control de la Universidad de Alicante. Sus dimensiones, singularidades y características, hacen que haya sido elegido para el desarrollo del proyecto en la asignatura BIM en la edificación.

 BY-NC-SA

El edificio de la Torre de Control del antiguo aeródromo de Rabasa fue construido hacia el 1940. Es un edificio compuesto por volúmenes simples, principalmente prismas y cilindros. Su proximidad a la antigua pista de aterrizaje, y la necesidad de observación a ambos lados de la pista, hace que predomine la simetría en el edificio. Su diseño se centra en la necesidad de observación, configurando la composición de volúmenes del edificio y la amplitud de zonas de superficies acristaladas. En el año 2017 fue catalogado en el Registro Ibérico de edificios para equipamientos, incluyéndolo en el catálogo de inmuebles protegidos de la fundación para la documentación y conservación de la arquitectura y el urbanismo del movimiento moderno (docomomo) (*Martí Ciriquián et al., 2020*) (Fig. 1).

Fig. 1 Vista actual del edificio Torre de Control.

La Torre de Control es un ejemplo de arquitectura contemporánea con una fuerte carga simbólica, no solo en términos de funcionalidad y diseño, sino también en su capacidad para representar la evolución histórica de la Universidad de Alicante. En la actualidad, el edificio se utiliza como espacio de observación y control de las actividades del campus, y alberga instalaciones académicas y de investigación.

2. **Metodología**

Antes de abordar el desarrollo del proyecto, los estudiantes rellenaron un cuestionario, a través de la plataforma Moodle UA, con la finalidad de conocer las dimensiones BIM que suscitaban más su interés y poder desarrollarlas en el mismo. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos, siendo 14 los alumnos matriculados en la asignatura.

Tabla 1. Resultados de la encuesta de interés sobre Dimensiones BIM

Dimensiones BIM	Interés de los estudiantes
3D	14
4D	10
5D	14
6D	12
7D	13

A partir de los datos obtenidos, y teniendo en cuenta los contenidos propuestos en la asignatura, se elaboró la metodología a seguir para el modelado BIM de la Torre de Control de la Universidad de Alicante.

La metodología seguida por los estudiantes para la realización del proyecto se puede resumir en 3 fases. La primera fase se centró en la toma de datos del edificio, realizando una búsqueda de fuentes de información tanto escritas como gráficas, y tomando datos in situ con la ayuda de un TLS. En la segunda fase, con los

 BY-NC-SA

datos obtenidos, se procedió al levantamiento del modelo BIM, empleando la documentación existente para el modelado del interior del edificio y la nube de puntos obtenida para el modelado del exterior del edificio. Paralelamente al modelado, se fue incorporando información en el modelo a través de parámetros, y se realizaron comprobaciones para evitar errores, corrigiendo interferencias y duplicidades de elementos. En la tercera fase, se obtuvo la documentación gráfica y los datos a partir del modelo BIM obtenido, visualizando y gestionando el modelo, y realizando ejemplos de conexión y traspaso de información entre programas BIM (Fig. 2).

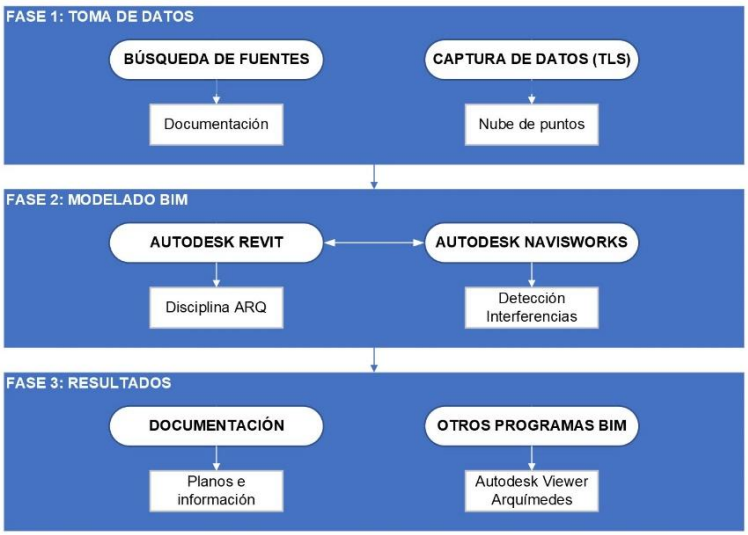


Fig. 2 Esquema de la metodología empleada.

3. Toma de datos

La toma de datos comprendió la búsqueda de información del edificio objeto de estudio. Por un lado, los estudiantes realizaron una búsqueda de fuentes escritas y gráficas, y por otro lado capturaron datos in situ, utilizando para ello un TLS.

3.1. Búsqueda de fuentes

Se realizó una búsqueda de información a través de la web, relacionada con el proyecto. La información obtenida por los estudiantes sirvió para tener una visión general del edificio. Se trata de un edificio con tres niveles, conformado por una serie de volúmenes simples, y una simetría reforzada por el volumen central que sobresale verticalmente para tener un mayor campo visual hacia ambos lados. Constructivamente está compuesto por estructura de hormigón y sus cerramientos están resueltos con fábricas de ladrillo.

En cuanto a la documentación gráfica, se encontraron planos en formato .pdf. Para poderlos escalar adecuadamente, se convirtieron en archivos .dwg, utilizándolos posteriormente en el modelado. Además, se encontraron también planos en formato .jpg, como alzados y secciones, que se pasaron al modelo directamente como imágenes y se escalaron a partir de los planos .dwg.

3.2. Captura de datos

No se tomaron datos in situ del interior del edificio dado que todas sus dependencias están en uso. Por este motivo, para la obtención del modelo BIM, se utilizaron las fuentes encontradas por los estudiantes, citadas anteriormente.

La captura de datos se realizó del exterior de edificio, recurriendo al empleo de un TLS. En concreto se utilizó un láser escáner Leica BLK360-G1, que tiene un campo de visión de 360º en horizontal y 270º en vertical, con un alcance hasta 60 m, y una velocidad de medición de hasta 360.000 puntos por segundo. El

 BY-NC-SA

equipo permite la captura de imágenes HDR (High Dynamic Range) con las 4 cámaras que lleva incorporadas, con tecnología Visual Inertial System (VIS) para el registro previo en tiempo real (*Leica Geosystems, 2018*).

El proceso de captura y gestión de datos con el escáner Leica BLK360, comenzó con la configuración del dispositivo y la conexión a una red Wi-Fi para la transmisión de datos. Para ello se utilizó el programa BLK Data Manager, que además de configurar el escáner, permite la descarga de datos para su posterior gestión. Se utilizó un modo de densidad de puntos estándar, con una densidad estimada de escaneo de 1 minuto y 50 segundos para la captura de puntos y 3 minutos y 30 segundos para la captura de puntos e imágenes, obteniendo un tamaño aproximado de escaneo de 18 millones de puntos.

Una vez configurado el dispositivo, el grupo de estudiantes realizó la captura de datos del exterior del edificio de forma conjunta, realizando un total de 10 escaneos alrededor del mismo, situados de forma que hubiera suficiente solape entre ellos. Antes y durante el proceso de escaneado, es importante la planificación previa, tener en cuenta algunos criterios en función de si se realiza un escaneado interior o exterior (*Carvallo García et al., 2023*) (Fig. 3).

Fig. 3 Escaneo con láser escáner LeiBLK360.

Posteriormente, los estudiantes exportaron los diferentes escaneos y lo transfirieron a un dispositivo para su procesamiento, utilizando el programa Leica Cyclone Register 360. Las nubes de puntos creadas se importaron al programa, pudiendo revisar y corregir alineaciones, y unir los datos en una nube de puntos única. Previamente a exportar los resultados, el programa proporciona la calidad de los resultados, en los que influyen los criterios del flujo de trabajo seguido para la captura y gestión de datos (Cruz Ramírez et al., 2023). Una vez resueltas las alineaciones, se exportó la nube de puntos en formato .rcp compatible con Autodesk Revit (Fig. 4).

BY-NC-SA

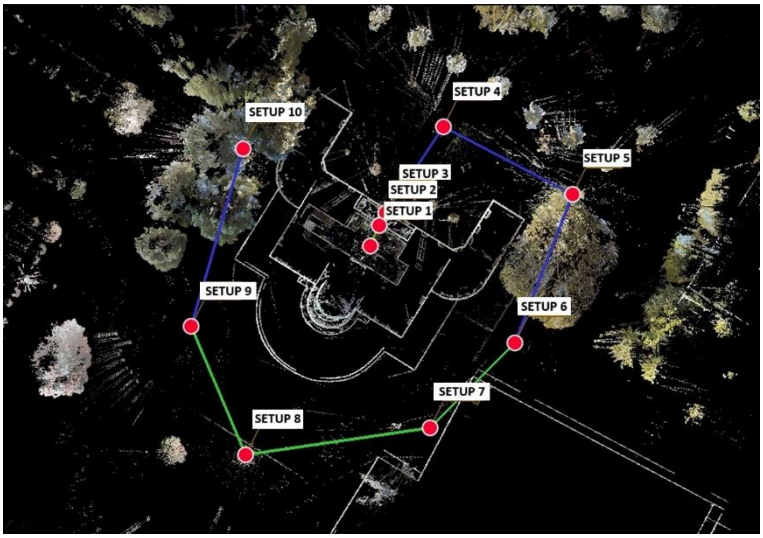


Fig. 4 Alineación de escaneos con Leica Cyclone Register 360.

4. Modelado BIM

Con los datos obtenidos, los estudiantes procedieron a la inserción y organización de la documentación gráfica en el programa de modelado BIM Autodesk Revit. A partir de los datos incorporados, se comenzó a modelar el edificio y se obtuvieron los resultados previstos.

4.1. Importación y vinculación de datos

Para poder organizar la información a importar, se crearon los niveles para cada una de las plantas del edificio. Su altura se ajustó posteriormente a partir de la documentación gráfica insertada. Con los niveles creados, se importaron los planos CAD en cada uno de los niveles, y se insertaron igualmente las imágenes de alzados y secciones. Por último, se vinculó la nube de puntos global, situándola horizontal y verticalmente coincidiendo con los niveles y con el resto de la documentación gráfica insertada (Fig. 5).

Fig. 5 Nube de puntos global.

Toda la documentación incorporada al proyecto les sirvió de guía durante el proceso de modelado, pudiendo trabajar desde diferentes vistas, tanto en 2D como en 3D para tener una mayor visibilidad de la documentación y un mayor control de todo el proceso.

BY-NC-SA

4.2. **Modelado del edificio**

Para la elaboración del proyecto los estudiantes tuvieron en cuenta sólo la disciplina arquitectónica. El edificio se modeló realizando un modelo genérico, utilizando elementos arquitectónicos de modelado básicos, es decir, muros, suelos, cubiertas, falsos techos, etc., modelados de forma simple, sin incluir capas. A este modelo básico, se le añadió información sobre los sistemas constructivos, instalaciones e incluso sobre necesidades de mantenimiento, creando parámetros e introduciendo información en el modelo a modo de ejemplo (Fig. 6).

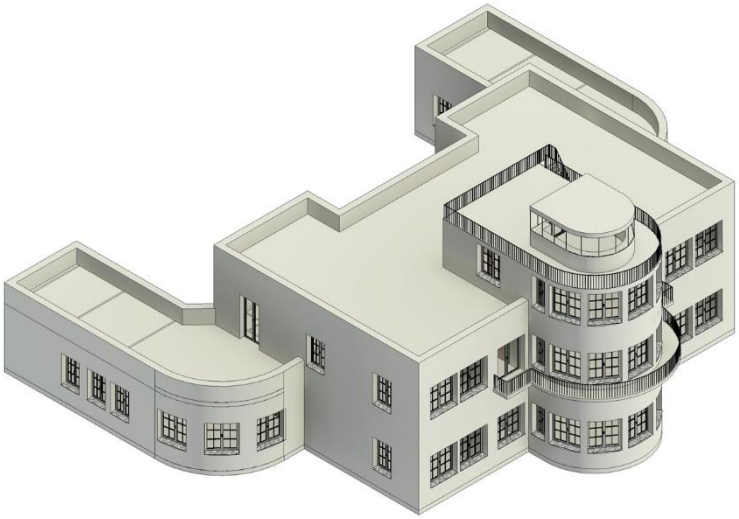


Fig. 6 Modelado del edificio Torre de Control.

En este proceso, fueron trabajando en el modelo por niveles, teniendo presente el rango de vista en planta para visualizar tanto la nube de puntos como el resto de los elementos gráficos insertados. Se fue realizando el modelo incluyendo los diferentes elementos constructivos, incorporando las carpinterías y otros componentes cargados como familias o componentes elaborados in situ.

Durante el modelado, pudieron comprobar la falta de coherencia entre los diferentes planos CAD, no ajustándose sus dimensiones a las obtenidas a partir de la nube de puntos. Para poder unificar los datos, en el modelado exterior, se tomaron como válidos los datos de la nube de puntos, y para los interiores, se utilizaron los datos proporcionados por los planos CAD.

4.3. **Detección de interferencias**

Durante el proceso de modelado, los estudiantes realizaron comprobaciones de interferencias, ejecutando análisis de interferencias del modelo arquitectónico desde el programa Revit. Las interferencias detectadas se fueron subsanando una vez realizadas las comprobaciones pertinentes desde el propio Revit.

Adicionalmente se utilizó el programa Autodesk Navisworks para realizar revisiones del modelo, y comprobar interferencias de forma más precisa, generando informes de interferencias del modelo arquitectónico, y exportando dichos informes en formato .html. Con el informe elaborado, se subsanaron las deficiencias detectadas desde Revit, y se volvió a abrir el proyecto desde Navisworks para volver a realizar la comprobación final y ver que todo lo que aparecía en el informe se había corregido (Fig. 7).

BY-NC-SA

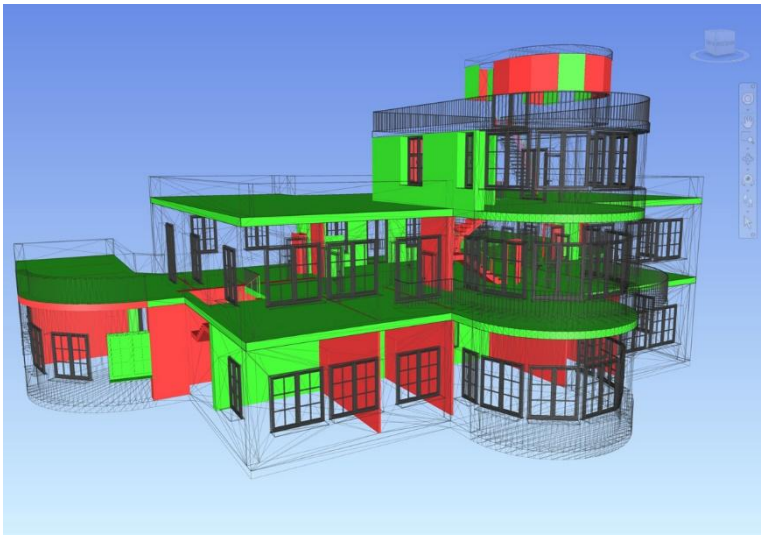


Fig. 7 Detección de interferencias en el modelo con Navisworks.

5. Resultados

Una vez finalizado el modelo del edificio, los estudiantes obtuvieron diferentes resultados, tanto gráficos como a nivel de datos, que permitieron extraer información de forma inmediata. Además, se utilizó la información del modelo para enlazarla con otros programas BIM, aprendiendo flujos de trabajo entre diferentes programas del entorno BIM.

5.1. Documentación gráfica

A partir del modelo del edificio, cada estudiante creó las vistas necesarias para poder generar a partir de ellas los planos. De esta forma se generaron planos en planta, alzados, secciones y vistas 3D. Se crearon cuadros de rotulación con información específica del proyecto. Finalmente, se ajustó el recorte de cada una de las vistas y la escala, para moverlas a los diferentes planos creados, obteniendo la información gráfica del edificio objeto de estudio.

Además de las vistas gráficas, se generaron diferentes tablas de planificación y leyendas, según las necesidades del proyecto para consultar información de este y mostrarlas en la documentación gráfica, incluyéndola también en diferentes planos generados (Fig. 8).

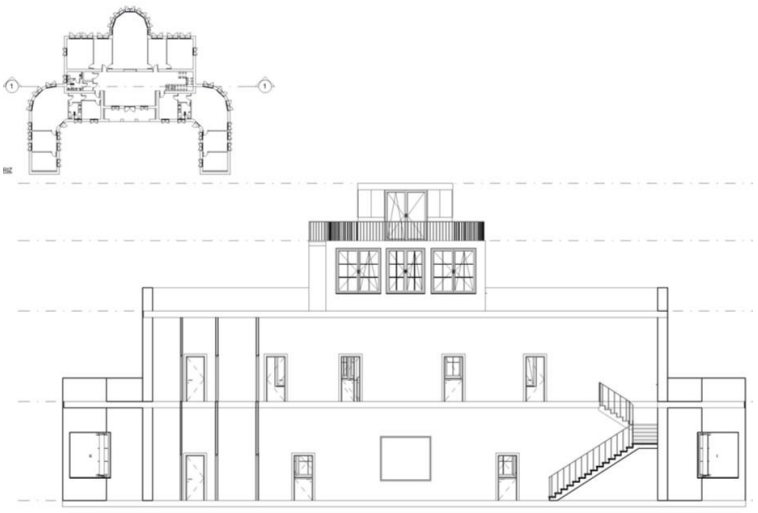


Fig. 8 Ejemplo de documentación gráfica obtenida del modelo BIM.

BY-NC-SA

5.2. **Conexión entre programas BIM**

Debido al interés mostrado por los estudiantes en diferentes dimensiones BIM, además del modelado BIM de la Torre de Control, se utilizaron algunos programas BIM adicionales que permiten realizar diferentes operaciones entre ellos. Así pues, para la dimensión 4D se utilizó Autodesk Navisworks, para la dimensión 5D se utilizó Arquímedes de Cype, dejando las dimensiones 6D y 7D sin desarrollar. Estos programas BIM permiten actualizar automáticamente la información que es editada en cualquier parte del modelo, lo que permite utilizar la metodología BIM en diferentes etapas del proceso como modelado, visualización, planificación de obra, presupuesto y control de obras, etc (Bernal Camacho et al., 2024).

Para modelado BIM, como se ha comentado, los estudiantes utilizaron Autodesk Revit. Paralelamente utilizaron visualizadores BIM, como Autodesk Viewer, permitiendo visualizar y analizar todos los elementos de diseño, facilitando la toma de decisiones durante las diferentes fases del proyecto. Además, les permitió interactuar con el modelo y revisarlo, incorporando algunas herramientas específicas para ello.

Los estudiantes utilizaron el programa Autodesk Navisworks para detectar interferencias en el modelo BIM y poder subsanarlas durante el modelado. Además, también lo utilizaron Navisworks para realizar un ejemplo ficticio de planificación de trabajos y la visualización del modelo durante dicha planificación a lo largo del tiempo. Esta integración de la planificación en BIM, permite un mayor control sobre la evolución del modelo y ejecución de tareas en el futuro, controlando el tiempo y, por tanto, el costo a lo largo del desarrollo del proyecto (Calendario Garrido et al., 2017).

Por último, los estudiantes conectaron con Revit fue el programa Arquímedes de Cype para obtener mediciones y presupuestos, realizando un ejemplo a partir del modelo BIM elaborado. El proceso de conexión se llevó a cabo mediante la integración de datos que permiten el intercambio de información entre ambos programas, facilitando la medición y el presupuesto de un proyecto de construcción. Para vincular ambos programas se utilizó en este caso un plugin de Cype que se instala en Revit. Los elementos del modelo BIM en Revit se exportaron y se sincronizaron con Arquímedes, lo que permitió que los datos del modelo se utilizaran para la creación automática de presupuestos y mediciones detalladas. Los estudiantes pudieron ver las ventajas que supone este flujo de trabajo, permitiendo que las mediciones sean precisas y actualizadas en tiempo real, reflejando cualquier cambio realizado en el modelo de Revit. De esta forma, el uso de esta conexión optimiza el flujo de trabajo, mejorando la precisión y reduciendo errores al transferir los datos entre ambos entornos.

6. **Conclusiones**

Los contenidos de la asignatura BIM en la Edificación se han aplicado a un proyecto concreto, el edificio Torre de Control de la Universidad de Alicante, haciendo que los estudiantes tengan una visión práctica de los mismos, permitiéndoles entender las ventajas que supone el uso de la metodología BIM en el proceso edificatorio.

Dada la extensión del proceso, en el proyecto se establecieron algunas premisas previas para ajustar los contenidos y el tiempo de dedicación. Para ello, tal y como se ha comentado, se realizó una encuesta inicial a los 14 estudiantes de la asignatura, a través de la plataforma Moodle UA, con la finalidad de determinar las Dimensiones BIM que tenían más interés por los estudiantes, y con los resultados obtenidos poder elaborar una propuesta metodológica a seguir, teniendo en cuenta los contenidos propuestos en la asignatura. De esta forma el estudio se centró en la dimensión BIM 3D, 4D y 5D, no desarrollando finalmente contenidos 6D y 7D. Así pues, en el proceso, se han utilizado algunos programas BIM, citados anteriormente, para el desarrollo y gestión del modelo. En el modelado se ha tenido en cuenta sólo la disciplina arquitectura, con un nivel de desarrollo básico, incluyendo en el proceso desde la toma de datos a la obtención de documentación gráfica e información del proyecto.

Para tener una retroalimentación con los estudiantes, se realizaron foros de debate en la plataforma Moodle UA, en la que participaron tanto los estudiantes como el profesorado. Se realizó un foro para cada una de las fases de las que consta el proceso: toma de datos, modelado BIM y resultados. A partir de la

 BY-NC-SA

participación de los estudiantes en los foros, se pudo realizar un seguimiento del aprendizaje y las dificultades encontradas en cada fase del proceso.

De la interacción de los estudiantes en el foro en relación con la toma de datos, se concluye que el empleo del TLS para la obtención de nubes de puntos en la digitalización BIM es muy ventajoso respecto a los sistemas tradicionales. Destacan entre los comentarios de los estudiantes la mayor rapidez en el proceso de adquisición de datos, y el incremento de precisión. Además, destacan el trabajo en grupo en la toma de datos, pudiendo compartir la experiencia en todo el proceso, resolviendo problemas de manera conjunta, mejorando de esta forma su aprendizaje.

De los comentarios realizados por los estudiantes en el foro relacionado con el modelado BIM, destacan entre las opiniones la claridad en la visualización 3D del proyecto, permitiendo comprender mejor la distribución de espacios, los problemas constructivos y los materiales. Subrayan también la facilidad en la toma de decisiones, reduciendo posibles errores en el futuro, y permitiendo una mejor planificación. Con el modelado BIM, pudieron detectar posibles errores de diseño o inconsistencias en la documentación gráfica consultada, que ha servido como base para la realización del modelo, pero al mismo tiempo permitió a los estudiantes aprender la importancia de la revisión del proyecto para evitar errores.

Respecto a los comentarios del foro relacionado con los resultados, los estudiantes destacan tener una visión más amplia del uso de esta metodología con la conexión con otros programas BIM, aprendiendo flujos de trabajo con las dimensiones BIM 4D y 5D, que en conclusión mejoran la precisión y reducen errores en la transferencia de datos.

En resumen, la realización del modelo BIM en la asignatura, sirvió para proporcionar a los estudiantes las herramientas necesarias para afrontar los desafíos del futuro profesional, mejorando su capacidad para trabajar de manera más colaborativa, precisa y sostenible.

Dado el interés mostrado en la encuesta realizada a los estudiantes por las dimensiones BIM 4D, 5D, 6D y 7D, en próximos cursos se propone colaborar entre algunas asignaturas para poder abordar contenidos BIM de forma colaborativa. Concretamente, la propuesta para próximos cursos se centra en poder colaborar entre asignaturas optativas de cuarto curso del Grado en Arquitectura Técnica para el desarrollo de un proyecto BIM conjunto, que incluya contenidos de dichas dimensiones BIM, siendo desde la asignatura BIM en la Edificación la coordinación de dicho proyecto.

Referencias

ALDEANUEVA FERNÁNDEZ, M., GARCÍA MARÍN, A., BARRIOS CORPA, J. y DE LA TORREFRAGOSO, C. (2017). "BIM: Pautas estratégicas para la regeneración del método docente en las Escuelas de Arquitectura". Fuentes, B., Oliver, I. (coord.). En: *EUBIM 2017. Congreso internacional BIM/6º encuentro de usuarios BIM*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. 19-28. <https://riunet.upv.es/handle/10251/81903> [Consulta: 14 de febrero de 2025].

ALFARO GONZÁLEZ, J., CAÑIZARES MONTÓN, J.M., MARTÍNEZ CARPINTERO, J. A., ENRIQUEZ PÉREZ, P. y VALVERDE CANTERO. (2016). "Estrategia de implantación BIM en Grado de Ingeniería de Edificación. Experiencias y Propuestas de la Escuela Politécnica de Cuenca" en *Spanish Journal of Building Information Modeling*, issue 16-01, p. 56-65. <https://www.buildingsmart.es/journal-sjbim/historial/> [Consulta: 14 de febrero de 2025].

BERNAL CAMACHO, J.M., ALFARO RODRÍGUEZ, A.P., OLIVARRÍA GONZÁLEZ, M.C. y BURGUEÑO SÁNCHEZ, E.O. (2024). "Metodología Building Information Modeling (BIM) en el desarrollo de proyectos de construcción y principales software" en *Revista Digital de Tecnologías Informáticas y Sistemas*, vol. 8, issue 1, p. 78-87. <https://doi.org/10.61530/redtis.vol8.n1.2024.207> [Consulta: 20 de febrero de 2025].

buildingSMART Spain (2025). *Informe de Situación BIM en España 2024*. Barcelona: buildingSMART Spain. <https://www.buildingsmart.es/app/download/13171540326/INABIM-BSSP-XX-XX-INF-MIC-001-InformeSituacionBIM2024-A1-0101.pdf> [Consulta: 10 de febrero de 2025].

CANDELARIO-GARRIDO, A., GARCÍA-SANZ-CALCEDO, J. y REYES RODRÍGUEZ, A.M. (2017). "A quantitative analysis on the feasibility of 4D Planning Graphic Systems versus Conventional Systems in building projects" en *Sustainable Cities and Society*, vol.35, p. 378-384. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.024> [Consulta: 27 de febrero de 2025].

CARVALLO-GARCÍA, S., GARRIDO-IGLESIAS, A., CAÑIZARES-SÁNCHEZ, A., ROMERO-FERNÁNDEZ, J. y PÉREZ-ORDÓÑEZ, J.L. (2023). "De la realidad a lo digital mediante LIDAR". En: *EUBIM2023. International BIM Conference EUBIM 2023. 12º Encuentro de usuarios BIM*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. 73-86. <https://doi.org/10.4995/eubim2023.2023.16863> [Consulta: 10 de febrero de 2025].

 BY-NC-SA

CRUZ-RAMÍREZ, L.C., URIBE-PIEDRAS, V. y ZÁRATE-MARTÍNEZ, J. F. (2023). "Modelos de nubes de puntos con Escáner Láser Terrestre (TLS) aplicado en el registro del patrimonio construido: Implicaciones del Flujo de trabajo en la calidad de los resultados" en *Revista Arquitectura+*, vol. 8, issue 15, p. 37-52. <https://doi.org/10.5377/arquitectura.v8i15.16230> [Consulta: 12 de febrero de 2025].

España. Orden PCM/818/2023, de 18 de julio, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 27 de junio de 2023, por el que se aprueba 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. BOE, 20 de julio de 2023, núm. 172, p. 105006-105035.

GARCÍA GRANJA, M.J., TORRE FRAGOSO, C., BLÁZQUEZ PARRA, E.B. y MARTÍN DORTA, N. (2020). "Estrategias de integración de la metodología BIM en el sector AEC desde la Universidad". García Escudero, D., Bardí Milà, B. (eds.). En: VIII Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura (JIDA'20). Barcelona: Iniciativa Digital Politècnica Oficina de Publicacions Acadèmiques Digitals de la UPC. 869-889. <10.5821/jida.2020.9437> [Consulta: 12 de febrero de 2025].

GARCÍA SANTOS, A., y LIÉBANA, O. (2017). *Mapa de la Formación BIM en la Universidad*. Sin lugar: es.BIM. <https://bim.tecniberia.es/wp-content/uploads/2016/11/GT2-Personas-SG2.2-Mapa-de-Formaci%C3%B3n_s.pdf> [Consulta: 14 de febrero de 2025].

GÓMEZ-VALDÉS, M., ACEVEDO-ACEVEDO, S., ALVARADO-ACUÑA, L. y ITURRA-MOLINA, R. (2023). "Impacto de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción" en *Revista Tecnología En Marcha*, vol. 36, issue 7, p. 66–77. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i7.6860> [Consulta: 12 de febrero de 2025].

LEICA GEOSYSTEMS (2018). Manual de uso Leica BLK260 versión 2.0. Suiza, Leica Geosystems. <https://shop.leica-geosystems.com/sites/default/files/2019-04/866563_leica_blk360_um_v2.0.0_es.pdf> [Consulta: 5 de febrero de 2025].

MARTÍ CIRIQUIÁN, P. y GUTIÉRREZ MOZO, M.E. (2020). "Urbanismo, arquitectura y paisaje" en *El campus de la Universidad de Alicante*, C. Martín Cantarino (ed.). Alacant: Universitat d´Alacant. 25-40. <http://hdl.handle.net/10045/117673> [Consulta: 3 de febrero de 2025].

PÉREZ-SÁNCHEZ, R., PÉREZ-SÁNCHEZ, J.C. y MORA-GARCÍA, R.T. (2017). "Propuesta para la implantación de contenidos BIM en el Grado en Arquitectura Técnica de la Universidad de Alicante". Roig-Vila, R. (ed.). En: *Investigación en docencia universitaria. Diseñando el futuro a partir de la innovación educativa*. Barcelona: Octaedro. 367-377. <http://hdl.handle.net/10045/71081> [Consulta: 7 de febrero de 2025].

ROCHA, G., MATEUS, L., FERNÁNDEZ, J. y FERREIRA, V. (2020). "A Scan-to-BIM Methodology Applied to Heritage Buildings" en *Heritage*, vol. 3, issue 1, p. 47-67. <https://doi.org/10.3390/heritage3010004> [Consulta: 12 de febrero de 2025].

 BY-NC-SA

GESTIÓN DE PROYECTOS CON METODOLOGÍA BIM. ANÁLISIS DE LA EXPERIENCIA DOCENTE EN ESTUDIOS DE MÁSTER

Martín-Gil Arroyo, Jaime; Valverde Cantero, David; Serna Fernández, Ángel Víctor; Cuadrupani Bosqued, Francisco

Consultor BIM en WiseBuild, España, jmartin-gil@wisebuild.es; Profesor Asociado en Escuela Politécnica de Cuenca, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación, Universidad de Castilla-La Mancha, Grupo de Investigación BIM-UrbEdSo, España, david.valverde@uclm.es; Coordinador BIM en CORE - Project Construction Management, España, angelv.serna@uclm.es; Arquitecto Técnico BIM en ARCOBIM, España, cuadrupani@gmail.com

Abstract

Training in BIM methodology must go beyond the use of software to focus on the processes that guarantee its practical application. For the last 5 years, from the direction of the BIM Master in Design and Project Management of the ETSICCP-UCLM, they trusted us to integrate the ISO 19650 standard as a framework for information management. This program promotes collaborative work and trains students to operate in centralized environments such as the Common Data Environment (CDE), which is key to structuring and guaranteeing the traceability of data. The content also includes the creation/management of the BEP (BIM Execution Plan) and IR (Information Requirements) at organizational, asset and project levels, establishing solid foundations for efficient coordination. It is stressed that project management requires a holistic approach, with planned processes and early identification of information needs. This practical/strategic approach ensures that participants not only handle digital tools, but also understand the essential processes to ensure quality/efficiency in BIM projects

***Keywords**: teaching, training, methodology, collaborative work, CDE, master, syllabus.*

Resumen

La formación en metodología BIM debe trascender el uso del software para centrarse en los procesos que garantizan su aplicación práctica. Desde hace 5 años, desde la dirección del máster BIM en Diseño y Dirección de Proyectos de la ETSICCP-UCLM, confiaron en nosotros para integrar la norma ISO 19650 como marco para la gestión de la información. Este programa promueve el trabajo colaborativo y capacita a los alumnos para operar en entornos centralizados como el Common Data Environment (CDE), clave para estructurar y garantizar la trazabilidad de los datos. El contenido incluye también la creación/gestión del BEP (BIM Execution Plan) y los IR (Information Requirements) en niveles de organización, activo y proyecto, estableciendo bases sólidas para una coordinación eficiente. Se subraya que la gestión de proyectos requiere un enfoque integral, con procesos planificados y la identificación temprana de necesidades de información. Este enfoque práctico/estratégico asegura que los participantes no solo manejen herramientas digitales, sino que también comprendan los procesos esenciales para garantizar la calidad/eficiencia en proyectos BIM.

***Palabras clave:** docencia, formación, metodología, trabajo colaborativo, CDE, máster, plan de estudios.*

BY-NC-SA

Introducción

Desgraciadamente la formación en metodología BIM se reduce muchas veces, y con independencia de su nivel, al mero adiestramiento en el uso de herramientas y se obvia la parte metodológica inherente al trabajo colaborativo. Por su parte el mercado laboral asimila a los alumnos formados en esa dinámica para completar equipos que perpetúan esquemas/dinámicas de trabajo clásicas.

Ofrecer una formación de máster, enfocada a las fases de diseño y dirección de proyectos de obra civil, que aúne tanto la introducción/especialización en herramientas específicas -contenidas en el curso de Especialista de 30 ECTS- como su implementación/puesta en práctica en entornos cercanos al mundo laboral -completando otros 30 ECTS (Tabla 1)- es el principal objetivo del Máster de Formación Permanente en BIM en Diseño y Dirección de Proyectos (UCLM, 2025) impartido en la ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos perteneciente a la Universidad de Castilla-La Mancha.

En ese contexto, y después de algunas experiencias enriquecedoras en estudios de grado (Valverde, 2016) y de aplicaciones prácticas del trabajo colaborativo (Cañizares, 2017), surge la posibilidad de colaborar como docentes en dicho máster. Dicha colaboración viene desarrollándose en las seis ediciones del máster y siempre desde la definición del *BIM Execution Plan* (BEP) y el uso del *Common Data Environment* (CDE).

El objeto de la presente comunicación cumple el doble objetivo de reflexionar y compartir esta experiencia (Romero, 2024).

1. Estado del arte

Desde hace más de 10 años que aparecieron en el mercado los primeros másteres en BIM Manager, el número de formaciones donde se imparte contenido relacionado con la gestión de proyectos con metodología BIM ha ido creciendo exponencialmente, tanto en centros privados como en universidades públicas (Oliver, 2023).

Al tratar esta comunicación sobre nuestra experiencia como profesores del máster en el que participamos y al no estar involucrados en más formaciones donde se impartan contenidos sobre el Plan de ejecución BIM (BEP) y el Entorno Común de Datos (CDE) tomaremos como punto de partida la formación que, en su día, recibimos nosotros cuando nos formamos como expertos en BIM y BIM Manager.

Los cuatro profesores que conformamos la asignatura de “Gestión de Proyecto con metodología BIM: CDE y el Plan de Ejecución BIM (CDE)” nos formamos en metodología BIM entre los cursos 2014 y 2018, en el mismo centro por lo que recibimos una formación prácticamente idéntica.

En lo que respecta a los bloques dedicados a la elaboración del BEP y al trabajo en un CDE, la formación online consistía en una serie de documentos pdf que había que leer y de manera ocasional algún video que ampliaba los contenidos de un tema concreto. En cuanto al entregable solicitado para superar la asignatura, era la elaboración de un BEP para un proyecto ficticio que posteriormente no teníamos que realizar.

En lo que respecta al espacio de trabajo, tanto las herramientas de comunicación como el gestor documental, venían impuestas por la organización, por lo que no recibíamos ninguna formación que nos ayudase, en un futuro, a establecer un espacio de trabajo para un proyecto concreto.

Con el desarrollo de nuestra asignatura pretendemos que nuestros alumnos reciban la formación que a nosotros nos hubiese gustado recibir en nuestra etapa como alumnos y que se encuentren preparados para afrontar cualquier reto que se encuentren en su carrera profesional.

2. La asignatura

Nuestra asignatura, “Gestión de Proyecto con metodología BIM: CDE y el Plan de Ejecución BIM (CDE)”, se enmarca en las asignaturas del curso de especialista (Tabla 1) con una duración de 3 semanas y una carga lectiva de 5 créditos ECTS.

La metodología docente de la asignatura se basa en una perspectiva que radica en que el conocimiento no se transmite al alumno de manera pasiva, si no que el alumno lo adquiera activamente a través de la

 BY-NC-SA

interacción tanto con su entorno como con la resolución de una serie de problemas planteados por el profesorado. En este contexto, como veremos en el apartado 1.2, la organización de los bloques de aprendizaje se vuelve un factor crucial para el éxito de la asignatura, además permite organizar las actividades de manera secuencial y coherente.

Tabla 1. *Plan de estudios del Máster de Formación Permanente en BIM en Diseño y Dirección de Proyectos. Fuente: UCLM (2025*)

MÁSTER DE FORMACIÓN PERMANENTE EN BIM EN DISEÑO Y DIRECCIÓN DE PROYECTOS

Código	Descripción	ECTS
	ESPECIALISTA EN MODELADO BIM ORIENTADO A OBRAS CIVILES	30
402814	TRABAJO PROYECTUAL: ANTEPROYECTO DE ORDENACIÓN DE LAS VÍAS DE COMUNICACIÓN Y DEL TERRITORIO	6
402815	DIRECCIÓN DE PROYECTOS	6
402816	IMPLEMENTACIÓN DE BIM EN EL DISEÑO Y DIRECCIÓN DE PROYECTOS	6
402817	PRÁCTICAS EXTERNAS EN EMPRESAS	6
402818	TRABAJO FIN DE MÁSTER	6
	Total de Créditos ECTS	60

2.1. **Objetivos de la asignatura**

La aplicación del aprendizaje basado en proyectos bajo un enfoque constructivista en la enseñanza de la metodología Building Information Modeling (BIM) permite a los estudiantes integrar tanto conocimientos teóricos como habilidades prácticas en un entorno de aprendizaje activo y colaborativo. Los objetivos principales de esta metodología son:

- **Fomentar la comprensión integral de BIM:** A través del desarrollo de proyectos, los estudiantes no solo adquieren conocimientos teóricos sobre la metodología BIM, sino que también experimentan su aplicación en escenarios reales.
- **Desarrollar habilidades prácticas:** La construcción del conocimiento mediante proyectos facilita la manipulación de herramientas y plataformas BIM, promoviendo la autonomía en el uso del software y la resolución de problemas técnicos.
- **Estimular el pensamiento crítico y la toma de decisiones:** La estructura del ABP permite a los estudiantes analizar diferentes alternativas, evaluar la viabilidad de soluciones y tomar decisiones fundamentadas en un contexto de trabajo colaborativo.
- **Potenciar el aprendizaje colaborativo:** BIM es una metodología que se basa en la interoperabilidad y el trabajo en equipo, por lo que el ABP favorece la cooperación y la comunicación entre los participantes, simulando un entorno profesional.
- **Facilitar la transferencia del conocimiento a la práctica profesional:** A través de la resolución de problemas reales y la simulación de proyectos, los estudiantes pueden desarrollar competencias que les permitan incorporarse con mayor facilidad al campo laboral.

2.2. **Organización de la asignatura**

La asignatura está organizada en tres grandes bloques que persiguen que el alumno logre entender como ha de proceder para poder elaborar un plan de ejecución BIM para un proyecto concreto. Comenzamos con la exposición, en una clase 0, de los enunciados del trabajo proyectual que realizan en la siguiente asignatura y que sirven como marco para poder elaborar el BEP del proyecto que se les solicita.

En el primer bloque de la asignatura se explica el entorno común de datos según lo establecido en la norma UNE EN ISO 19650 así como una herramienta especifica de CDE lo que proporciona a los alumnos los conocimientos necesarios para poder establecer su propio espacio de trabajo colaborativo tanto para el desarrollo del BEP como para el desarrollo del trabajo proyectual.

En el segundo bloque, siguiendo lo que marca la norma UNE EN ISO 19650, los alumnos ven los requisitos de información a nivel de organización, a nivel de activo, a nivel de proyecto y a nivel de intercambio de

 BY-NC-SA

información. Con los conocimientos adquiridos y tomando como referencia los enunciados del trabajo proyectual propuesto, los alumnos elaboran los requisitos de información del proyecto que les han solicitado. Con este bloque se persigue conseguir que el alumno entienda la necesidad de saber qué información nos están solicitando antes de dar inicio al desarrollo de los trabajos.

En el tercer bloque entremos en la parte que es el eje central de la asignatura, el plan de ejecución BIM, donde los alumnos mediante clases teóricas conocen los conceptos clave para desarrollarlo asi como el contenido que ha de llevar este documento en base a estándares tanto nacionales como internacionales. Estas clases teóricas se complementan con clases prácticas donde los alumnos aplican lo aprendido para elaborar el BEP del proyecto que se les ha solicitado.

Para finalizar la asignatura y justo antes de comenzar con el desarrollo del trabajo proyectual los alumnos exponen en BEP ante el profesorado para defender las reglas del juego que ellos han establecido en el documento.

2.3. **Los equipos**

Desde el inicio de nuestra participación en el máster en el curso 2020 hasta ahora el máster ha venido contando con una media de 10 alumnos por edición. El perfil de los alumnos en la mayoría de las ediciones ha sido el de graduados en ingeniería civil que en muchas ocasiones se encontraban cursando de manera simultánea a este máster BIM el máster en ingeniería de caminos.

La implementación de una metodología unificada a lo largo de la totalidad del máster se ha llevado a cabo en varias fases, adoptando un enfoque práctico a través de la implementación del CDE como plataforma centralizada de comunicación y repositorio de documentos y modelos compartidos.

Desde el inicio del programa, se utilizó un conjunto de herramientas administrativas de Microsoft (Teams, SharePoint, Visio, entre otras) como CDE.

Posteriormente, se implementó una infraestructura de seguridad de la información basada en la seguridad granular proporcionada por ProjectWise, lo que permitió una gestión precisa de los accesos y los niveles de interacción con los documentos y modelos.

La evolución del sistema de gestión documental se alineó con el progreso de la documentación, comenzando con un modelo en el que los alumnos eran responsables de la edición de los documentos y los profesores solo tenían acceso de consulta al bloque correspondiente. Posteriormente, tras la entrega formal, se estableció un sistema en el que los alumnos y los profesores de otros bloques solo podían consultar los documentos, mientras que los profesores del bloque en evaluación mantenían privilegios de edición.

Este enfoque permitió una referencia precisa de los modelos en función del estado del entregable y facilitó la preparación del siguiente bloque, tomando en consideración si los modelos requerían la participación activa del alumnado para experimentar la interoperabilidad entre el software utilizado en cada uno de los bloques del máster.

En la asignatura de gestión de proyectos y en la de implementación BIM se propone a los alumnos que conformen un único equipo para trabajar de manera colaborativa en la realización de un proyecto integrado. Una vez reciben el enunciado de proyecto propuesto el grupo de alumnos se divide en subgrupos en función de la especialidad en la que están más cómodos trabajando. De esta forma los alumnos seleccionan la especialidad donde van a trabajar durante el desarrollo del trabajo proyectual.

Con esta este planteamiento de equipo único que posteriormente se subdivide en grupos más pequeños en función de la especialidad permite que el equipo trabaje unido y que los miembros de las distintas especialidades puedan pedir a otras especialidades la información que necesitan para poder trabajar en el proyecto.

Las especialidades entre las que los alumnos pueden elegir a la hora de trabajar en el proyecto son:

- Estructuras

 BY-NC-SA

- Trazado
- Redes
- Urbanismo
- Planificación de obra
- Mediciones y presupuestos

Con esta división en equipos buscamos alcanzar uno de los aspectos fundamentales del aprendizaje del trabajo colaborativo que es la posibilidad de experimentar diferentes grados de implicación dentro de un equipo. Esta variabilidad permite a los estudiantes obtener una visión más profunda de los aspectos relevantes tanto para su labor individual como para el éxito del proyecto en su totalidad.

Cuando los estudiantes asumen diversos roles dentro del equipo (BUILDINGSMART SPAIN, 2023), tienen la oportunidad de comprender cómo sus contribuciones afectan el desarrollo global del trabajo. Al alternar entre responsabilidades específicas y una visión más amplia del proyecto, los participantes adquieren habilidades de comunicación, gestión de tareas y resolución de conflictos. Esta dinámica fortalece la capacidad de adaptación y fomenta la cooperación, elementos clave en el contexto profesional.

Además, experimentar diferentes grados de implicación permite desarrollar empatía y una mayor comprensión de los desafíos que enfrentan los demás miembros del equipo. Esto no solo mejora la eficiencia del trabajo conjunto, sino que también prepara a los estudiantes para colaborar en entornos profesionales diversos y complejos.

2.4. **Herramientas docentes**

En el curso 2020, con el inicio de nuestra participación en el máster, entendíamos que era primordial el disponer de herramientas que permitiesen el trabajo colaborativo de los alumnos durante el desarrollo de los trabajos demandados durante el máster.

Por este motivo y realizando una evaluación de las herramientas disponibles en el mercado que tuvieran la opción de usarse para la docencia tomamos la decisión de apostar en el Curso 2020 por BIMsync. BIMsync era una herramienta que permitía crear un entorno común de datos para un proyecto, pero que además contaba con un visor de modelos IFC y permitía el marcar incidencias sobre los modelos elaborados por los alumnos. La visualización de modelos en formato IFC de manera independiente además de la opción de poder ver el modelo federado del proyecto para marcar las incidencias que se pudiesen dar a la hora de coordinar modelos fueron puntos clave para decantarse por esta opción.

Como la herramienta no permitía el trabajo colaborativo de los alumnos frente a un mismo archivo se optó por complementar esta herramienta con SharePoint donde los alumnos si podían colaborar en un mismo archivo. Con estas dos herramientas seleccionadas todo hacía pensar que el trabajo el progreso se realizaría en SharePoint y los archivos compartidos y publicados se ubicarían en BIMsync. Finalmente, BIMsync se quedó como una herramienta para federar modelos y comunicar incidencias y SharePoint como el gestor documental del proyecto.

Esta selección de herramientas se mantuvo en los cursos 2021 y 2022 con resultados muy similares a los obtenidos en el curso 2020, los alumnos optaron por dejar BIMsync para el modelo federado y las incidencias y SharePoint como gestor documental. Las estadísticas de uso se pueden ver en los gráficos que se muestran a continuación.

 BY-NC-SA

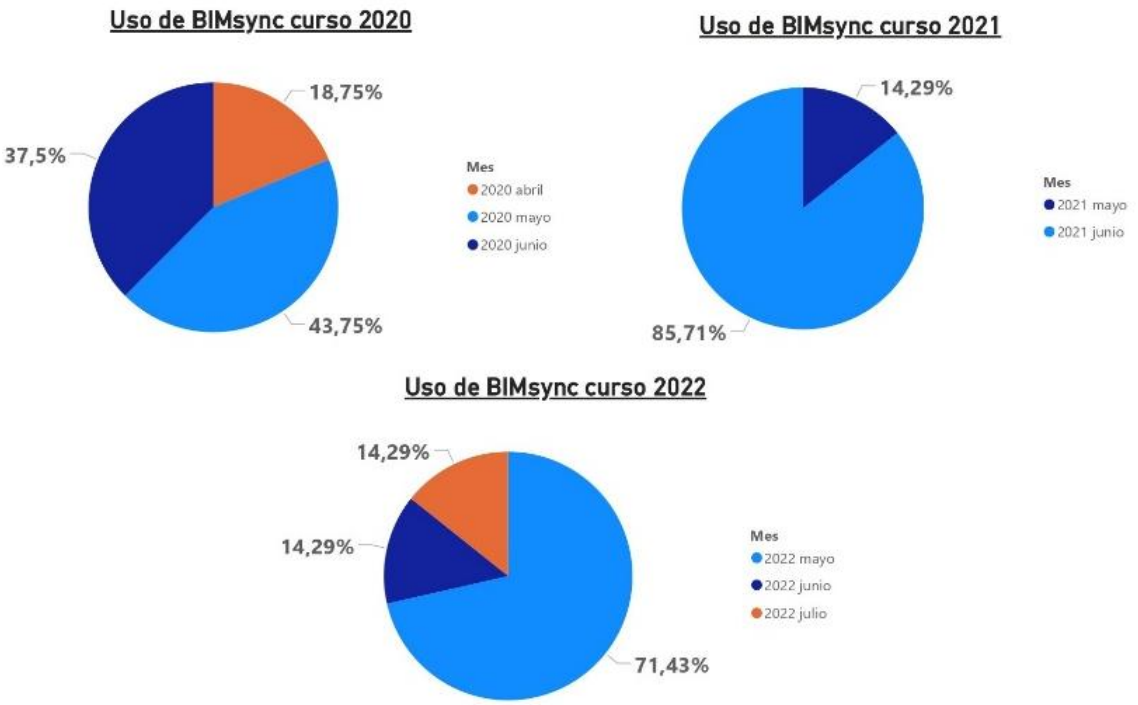


Fig. 1 Estadísticas de uso de BIMsync cursos 2020, 2021, 2022. Fuente: elaboración propia (2025)

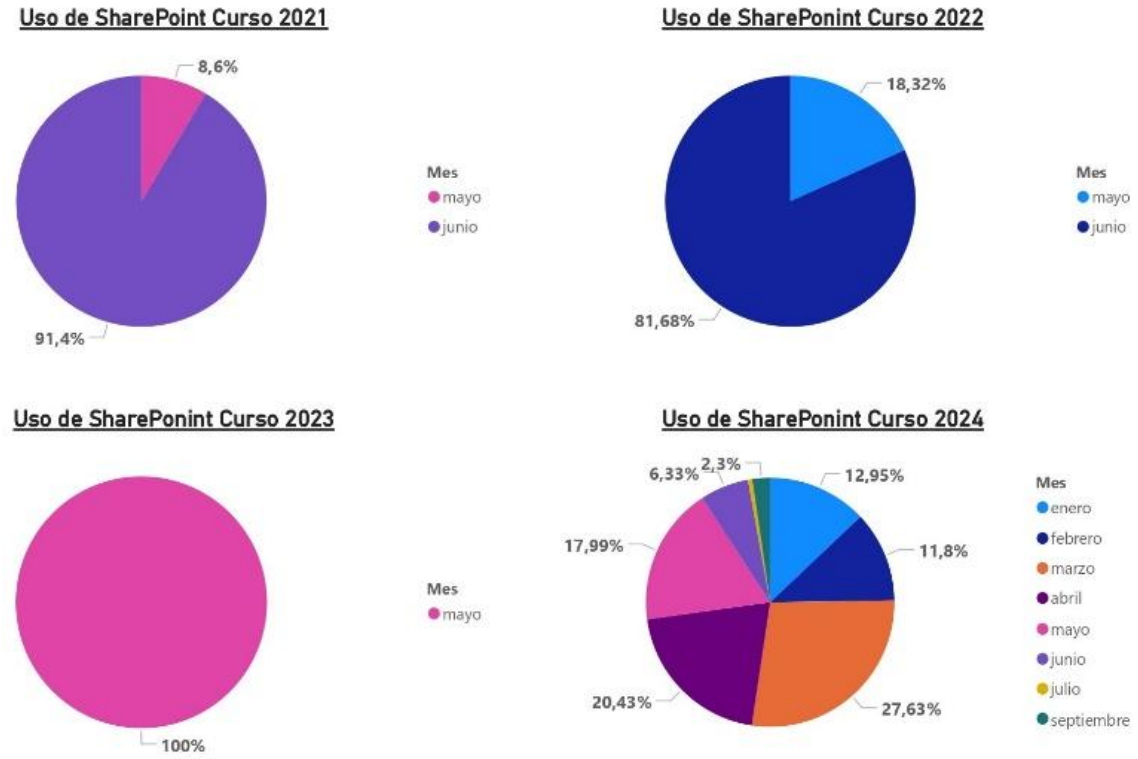


Fig 2 Estadísticas de uso de SharePoint cursos 2021, 2022, 2023, 2024 Fuente: elaboración propia (2025)

Con la implementación de la norma UNE EN ISO 19650 en varios de los CDE disponibles en el mercado, en el curso 2023 se opta por presentar al alumnado dos herramientas nuevas, Dalux y ProjectWise, y se propone al alumnado elegir la herramienta que mejor encaje en el proyecto que se les ha solicitado. Para el trabajo proyectual del curso 2023 los alumnos prefirieron optar por utilizar una herramienta conocida como es SharePoint como gestor documental.

BY-NC-SA

Ante el poco uso de los CDE en la etapa de desarrollo del BEP y del trabajo proyectual en el curso 2024 se opta por implementar la herramienta ProjectWise desde el inicio del máster con el objetivo de que los alumnos se acostumbren al uso de la herramienta para así poder implementarla de manera correcta en el desarrollo tanto del BEP como del trabajo proyectual.

Esta implementación se llevó a cabo estableciendo una estructura de carpetas basada en la organización en bloques y subbloques establecidos en el programa del máster, se replicaron como carpetas abiertas de apertura y cierre en fecha fija apremiando la colaboración entre alumnos y profesores mediante los procedimientos y comunicaciones establecidos en el CDE.

Los alumnos obedecían a la planificación de las entregas propuestas por el profesorado vinculando las fases a los estados y estableciendo su edición a la fase actualizada; estas fases establecían unos accesos concretos separando la edición del alumnado en la fase de WIP, en la que el profesorado tan sólo podía consultar y el estado de aprobado, en el cual se tornaba la edición al profesorado y los alumnos tan sólo podrían consultar. El cambio de fase se realizaba por el alumnado, con los permisos retirados para el resto de los participantes, y las fechas de entrega/aprobación se establecían en el programa de estudios.

La vinculación entre documentos, fechas de estrega, accesibilidad a los documentos y estados documentales proporciona una practicidad inmediata para interiorizar los conceptos de fase, entregables, estados y código de estado.

Los resultados reflejados en las gráficas muestran el resultado de este trabajo con una elaboración continuada de entregables, con continuos cambios de estado y una aplicación práctica de los conceptos a aprender, en este caso de forma absolutamente práctica.

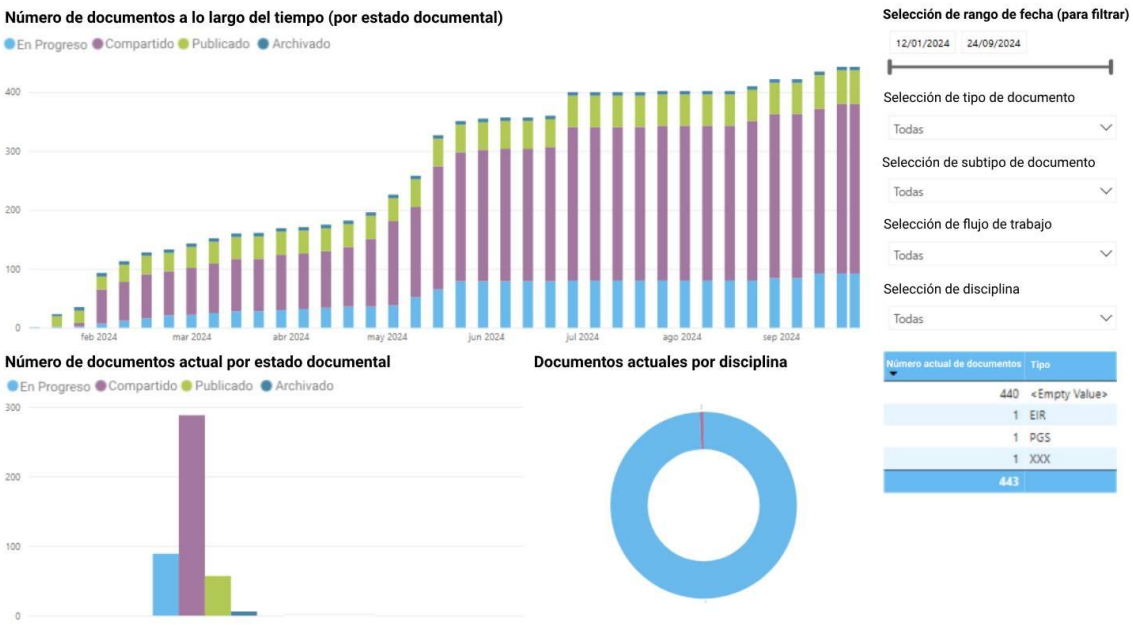


Fig. 3 Curso 2024 Evolución del Nº de documentos y estados. Fuente: elaboración propia (2025)

BY-NC-SA

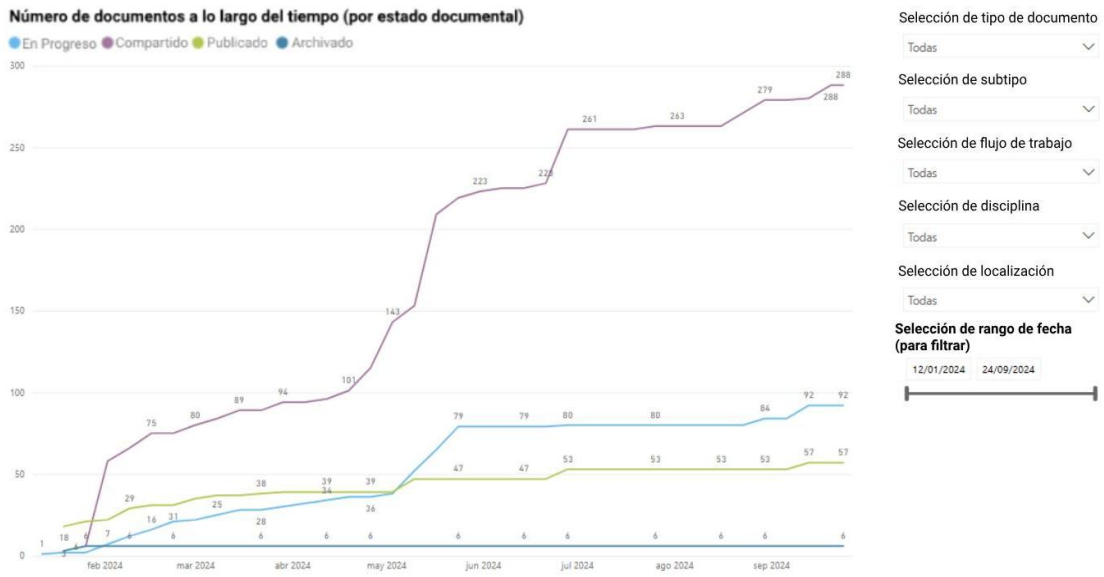


Fig. 4 Curso 2024 Evolución de estado de los documentos. Fuente: elaboración propia (2025)

2.5. **Entregas solicitadas a los alumnos**

Las entregas de la asignatura se organizan en tres entregas parciales y una entrega final en las que se solicita a los alumnos la siguiente información.

La primera entrega parcial, correspondiente al bloque 1, permite al grupo de alumnos definir el lugar de trabajo donde van a colaborar durante el desarrollo de los trabajos elaborados en la asignatura de gestión de proyectos y en el trabajo proyectual. En esta entrega se solicita al grupo de alumnos la siguiente información:

- Organización del grupo de alumnos y roles asignados a cada uno de los miembros
- Herramientas seleccionadas para la gestión del equipo:
    - Comunicación
    - Tareas
    - Archivos
- Organización de la nomenclatura (estructura de carpetas)
- Norma de nomenclatura a aplicar a los contenedores de información del proyecto.

Todas las decisiones tomadas han de estar justificadas y cumplir con lo dispuesto en la norma UNE EN ISO 19650 (AENOR, 2019a y 20219b).

La segunda entrega parcial permite al grupo de alumnos analizar el proyecto solicitado por los profesores para así establecer los requisitos de información que el adjudicador solicita al adjudicatario principal del proyecto. De esta forma los alumnos se colocan en la posición de la propiedad para así poder ver y entender que información necesita recibir esta. Esta entrega debe contener como mínimo la siguiente información:

- Objetivo general del proyecto
- Nivel de información necesaria
- Software a utilizar
- Versiones
- Formatos de entrega
- Documentación previa
- Objetivos BIM
- Usos BIM

BY-NC-SA

En la tercera entrega parcial, correspondiente al bloque 3, se pone al grupo de alumnos ante la situación de poner sobre el papel todas las actividades que tienen que realizar para poder elaborar un proyecto como el que se les solicita. Con esto los alumnos pueden realizar los mapas de procesos que les permitirán ver la relación entre las actividades que van a realizar, así como los puntos donde necesitan información proveniente de otras disciplinas. Esta entrega parcial, como mínimo, ha de contener un mapa de procesos por cada uno de los usos BIM seleccionados para el proyecto.

En la entrega final los alumnos presentaran el BEP del proyecto solicitado. En este documento definirán todo lo necesario para dar respuesta a las siguientes preguntas ¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Quién?, ¿Cuándo?, ¿para qué?, ¿a qué nivel? Con esto los alumnos establecerán las reglas del juego a seguir durante la elaboración del trabajo proyectual (TP).

2.6. **Criterios de evaluación**

La entrega final consiste en un plan de ejecución BIM para el proyecto propuesto donde los alumnos establecerán las reglas que van a seguir durante la elaboración del trabajo proyectual. Este documento es el resultado del trabajo colaborativo del grupo de alumnos con el que obtendrán una calificación única que será la misma para todos los miembros del grupo. Esta calificación se obtiene en base a los siguientes criterios:

- Entrega del documento a los profesores: los alumnos, para demostrar que entienden los que marca la norma UNE EN ISO 19650 (AENOR, 2019a y 20219b), deberán establecer el flujo de aprobación dentro del CDE para que el documente llegue a los profesores.
- Mapas de procesos (40% de la calificación).
    - Macroproceso o mapa de alto nivel: los alumnos deberán incluir en el BEP un mapa general donde establezcan un desglose de los usos BIM seleccionados para el proyecto, las disciplinas que van a intervenir y en que fases se van a realizar los trabajos para cumplir con los distintos usos BIM seleccionados.
    - Mapas de procesos por usos BIM: los alumnos deberán incluir en el BEP, como mínimo, un mapa por cada uno de los usos BIM seleccionados para el proyecto, estos mapas deberán contener las actividades que se han de realizar en cada uso BIM así como la información necesaria de otros usos BIM para poder trabajar.
- Entorno de colaboración (20 % de la calificación)
    - Organización del grupo y roles asignados: los alumnos deberán incluir en el BEP el o los roles que va a desempeñar cada miembro del grupo durante la elaboración del proyecto.
    - Norma de nomenclatura: los alumnos deberán incluir en el BEP la norma de nomenclatura a aplicar a los contenedores de información elaborados para el proyecto.
    - Estructura de carpetas: los alumnos deberán incluir en el BEP la estructura de carpetas que van a implementar en el CDE para organizar los contenedores de información del proyecto.
- Objetivos y usos BIM (10 % de la calificación)
    - Selección de objetivos
    - Selección de usos para cumplir con los objetivos
    - relación de los objetivos con los usos
- Organización del modelo (15 % de la calificación)
    - Hasta donde vamos a modelar: Los alumnos han de establecer el nivel de información necesaria para cada una de las fases que abarca el proyecto planteado.
    - Estrategia de federación de modelos: establecer el número de modelos con los que va a contar el proyecto y cuál ha sido el criterio que seguir para dividir los modelos.
- Control de calidad (10% de la calificación)
    - Coordinación de modelos. Detección de interferencias
    - Coordinación de disciplinas.
    - Riesgos que puedo encontrar al trabajar en mi proyecto.
- Uso de estándares (5% de la calificación)

 BY-NC-SA

    - Definir que estándares van a aplicar en el proyecto planteado y cómo van a aplicarlos.
- Bonus (10% de la calificación): con el objetivo de fomentar la participación activa de los alumnos en clase, si el documento obtiene una calificación de aprobado y los alumnos se han mostrado participativos durante el desarrollo de las clases se les incrementa la calificación de su trabajo en un punto.

3. **Resultados**

Tras cinco cursos completos, y uno más actualmente en desarrollo, podemos afirmar que la docencia de la asignatura ha ido evolucionando para alcanzar los objetivos perseguidos desde que comenzamos con nuestra labor como profesores.

A nivel practico, evaluando los cambios realizados a lo largo de las distintas ediciones, y como podemos ver en las gráficas de estadísticas de uso del CDE, el primer resultado positivo que hemos obtenido es que tanto alumnos como profesores de otras áreas utilicen, de manera más fluida, un entorno común de datos (CDE) a lo largo de todo el curso. Este uso continuado de la herramienta a lo largo del curso, y no ceñido a la duración de la asignatura de gestión de proyectos y el TP, ayuda a que los alumnos se atrevan a proponer mejores esquemas de organización para el CDE y a que pongan en práctica todo lo aprendido durante el desarrollo del trabajo proyectual.

El segundo resultado es que los alumnos entienden, al ponerse durante la elaboración de los trabajos tanto en la posición del adjudicador como del adjudicatario, que antes de comenzar a trabajar han de tener clara la información que necesitan producir para no desperdiciar trabajo a la hora de realizar un proyecto.

En tercer resultado positivo es que el aprendizaje de los alumnos se basa en la resolución de pequeños problemas prácticos guiados que dan como resultado un documento útil para realizar un proyecto complejo de manera colaborativa.

El cuarto resultado positivo es conseguir en el alumno un espíritu crítico al enfrentar sus conocimientos previos y verse obligado a fijar en base a ellos y como miembro de un equipo, las reglas de juego a seguir para el desarrollo de un proyecto colaborativo.

4. **Conclusiones**

El BEP, y su redacción por parte de los alumnos, se ha convertido en una herramienta en sí mismo para su instrucción en la metodología de trabajo colaborativo. Los alumnos concluyen la signatura con un mayor espíritu autocrítico que les ayuda a entender la necesidad de trabajar de manera consciente/ordenada en base a criterios consensuados y alineados con un fin común.

La simultaneidad de varios profesores/enfoques enriquece el diálogo con los alumnos potenciando una reflexión común sobre las distintas soluciones que se pueden plantear ante un problema, aunque el alumno agradecería una verdad única/incuestionable. En ese mismo sentido hay margen de mejora en la definición de unos criterios de corrección homogéneos con independencia del profesor corrector.

La infraestructura empleada como CDE, aunque existan opciones más o menos amigables, no ha sido tan determinante para el desarrollo del trabajo por parte de los alumnos.

Aunque se han hecho avances importantes en los últimos dos años queda pendiente una mayor implicación del resto de profesores/asignaturas en la metodología colaborativa con una participación más activa en el CDE.

Referencias

UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA (2025). *Máster de Formación Permanente en BIM en Diseño y Dirección de Proyectos*. <https://www.uclm.es/estudios/propios/master-bim-diseno-direccion-proyectos> [Consulta: 3 de marzo de 2025]

 BY-NC-SA

VALVERDE CANTERO, D. et al. (2016). “Implementación BIM en la Escuela Politécnica de Cuenca, experiencia piloto en Proyectos Técnicos 15-16”. Fuentes Giner, B. y Oliver Faubel, I. (coord.). En *EUBIM 2016. International BIM Conference EUBIM 2016*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. 34-45.

CAÑIZARES MONTÓN, J.M. et al. (2017). “Experiencia docente de integración de metodología BIM para el concurso BIM Valladolid 2016”. Fuentes Giner, B. y Oliver Faubel, I. (coord.). En *EUBIM 2017. International BIM Conference EUBIM 2017*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. 86-95.

ROMERO-FERNÁNDEZ, J., GARRIDO-IGLESIAS, A. y PÉREZ-ORDÓÑEZ, J.L. (2024). “Trabajo colaborativo en el máster BIM de la UDC”. Fuentes Giner, B. y Oliver Faubel, I. (coord.). En *EUBIM 2024. International BIM Conference EUBIM 2024*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. 65-75.

OLIVER FAUBEL, I. et al. (2023). “Experiencia de un posgrado en BIM management en la universidad pública”. Santiago Zaragoza, J. M. et al. (coord.). En *EDIFÍCATE 2023. II National and I International Congress of Advanced Schools Buildings Engineering and Technical Architecture*. Granada: Editorial Universidad de Granada. 96-106.

AENOR (2019a). *Organización y digitalización de la información en las obras de edificación e ingeniería civil, incluido BIM. Parte 1: Conceptos y principios*. UNE-EN ISO 19650-1:2019. Madrid: AENOR.

AENOR (2019b). *Organización y digitalización de la información en las obras de edificación e ingeniería civil, incluido BIM. Parte 2: Fases de desarrollo del proyecto*. UNE-EN ISO 19650-2:2019. Madrid: AENOR.

BUILDINGSMART SPAIN (2023). *Roles en organizaciones y proyectos que utilizan BIM*. < https://www.buildingsmart.es/recursos/roles-en-organizaciones-y-proyectos/> [Consulta: 3 de marzo de 2025]

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen chatgpt4 en la plataforma https://openai.com/es-ES/, utilizada como medio de unificación estilística: todo el contenido y argumentos han sido resultado de una estrategia académica puesta en práctica durante los 5 años que la redacción del artículo compila y argumenta.

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación.

 BY-NC-SA

FORMACIÓN OPENBIM PARA FUNCIONARIOS TÉCNICOS NO BIM DE LA ADMINISTRACIÓN ESPAÑOLA

Martínez Gómez, David Carlos; Alarcón López, Iván José
david@ibim.es**;** ivan@ibim.es

ABSTRACT

The "OpenBIM for Non-BIM Technical Officials" training courses culminate with specific training on drafting specifications with precise BIM requirements aligned with the expected efficiency results. During this segment of the course, you are given detailed instructions on how to write specifications that clearly reflect the BIM objectives of the project, work and/or maintenance, focusing on quantifiable results of efficiency and improvement in resource management.

Participants learn to effectively identify and express BIM requirements in bidding documents, ensuring alignment with specific public spending efficiency goals. The importance of clarity and precision in drafting will be highlighted to avoid misunderstandings and encourage successful implementation of BIM methodologies in the tender life cycle.

This specific training provides technical officials with the OpenBIM tools necessary to positively influence the efficiency of public spending through the successful implementation of BIM projects, from planning to execution.

Keywords: *OpenBIM, IFC, EIR BIM, Tender BIM, Training BIM.*

RESUMEN

Los cursos de formación "OpenBIM para Funcionarios Técnicos no BIM" realizados por más de 100 alumnos en tres organizaciones diferentes han culminado con una capacitación específica sobre la redacción de pliegos con requisitos BIM precisos y alineados con los resultados de eficiencia esperados. Durante este segmento del curso, se instruye detalladamente sobre cómo redactar pliegos que reflejen claramente los objetivos BIM del proyecto, obra y/o mantenimiento, enfocándose en resultados cuantificables de eficiencia y mejora en la gestión de recursos.

Los alumnos aprenden a identificar y expresar de manera efectiva los requisitos BIM en los pliegos de licitación, asegurando la alineación con las metas específicas de eficiencia del gasto público. Se destacará la importancia de la claridad y la precisión en la redacción para evitar malentendidos y fomentar una implementación exitosa de metodologías BIM en el ciclo de vida de la licitación.

En base a las evaluaciones y las encuestas a los participantes, se puede afirmar que esta capacitación específica proporciona a los funcionarios técnicos las herramientas OpenBIM necesarias para influir positivamente en la eficiencia del gasto público a través de la implementación exitosa de proyectos BIM, desde la planificación hasta la ejecución.

Palabras clave: OpenBIM, IFC, Requisitos BIM, Licitaciones BIM, Formación BIM.

BY-NC-SA 2025 EDITORIAL UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Introducción

Las administraciones públicas han adoptado BIM para mejorar la eficiencia y transparencia en proyectos de construcción, alineándose con la Directiva Europea 2014/24/UE. En España, el Plan BIM 2024-2030 establece que todas las licitaciones públicas de edificación utilicen BIM a partir de 2030 (Building Smart, 2024). Su implementación conlleva el reto de capacitar a técnicos sin experiencia previa en BIM, lo que ha llevado a la creación de programas formativos, como los cursos del IVAP para empleados de la Generalitat Valenciana, enfocados en la contratación pública y la digitalización del sector (GVA, IVAP, 2023).

El Plan BIM en la Contratación Pública, aprobado por el Consejo de Ministros en 2023 y publicado en el BOE, define un calendario gradual de implantación hasta 2030 según niveles de madurez BIM (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2024). El Observatorio de la Comisión Interministerial BIM ha impulsado guías y recursos formativos que complementan iniciativas como esta.

Plan BIM Contratación Pública y la necesidad de formación que implica

El Plan BIM en la Contratación Pública fue aprobado por el Consejo de Ministros el 27 de junio de 2023 y publicado en el BOE núm. 172 el 20 de julio de 2023 (Orden PCM/818/2023, de 18 de julio). Establece la incorporación progresiva de BIM en contratos públicos de la Administración General del Estado (AGE) y el sector público estatal (Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible, 2024). La implantación se llevará a cabo entre 2024 y 2030, en función del valor del contrato y los niveles BIM definidos: preBIM, inicial, medio, avanzado e integrado.

	Fecha de solicitud obligatoria			
Umbrales del valor estimado	**1 abril 2024**	**1 octubre 2025**	**1 octubre 2027**	**1 abril 2030**
Igual o superior a 5.382.000 €.	inicial	medio	avanzado	integrado
Inferior a 5.382.000 € e igual o superior a 2.000.000 €.	recomendado inicial	inicial	medio	avanzado

Fig. 1 El 1 de Octubre de 2025 se implementan los niveles medio e inicial en los contratos públicos de la AGE. BOE Orden PCM/818/2023, de 18 de julio

El Observatorio de la Comisión Interministerial BIM (CI-BIM), del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, impulsa la implantación de BIM en la contratación pública mediante informes trimestrales, guías y recursos formativos. Entre estos, destacan la guía *Fundamentos BIM en la contratación pública* y vídeos didácticos dirigidos a funcionarios, facilitando su comprensión y complementando programas formativos en OpenBIM.

Fig. 2 El Nivel BIM Medio fija como requisitos mínimos la formación en BIM de todo el equipo de trabajo, incluyendo la elaboración de requisitos de información y supervisión de entregables BIM para el responsable BIM del contrato. BOE Orden PCM/818/2023

La exigencia de BIM en licitaciones públicas incrementa la demanda de técnicos capacitados. La formación les permite interpretar modelos BIM e integrar estos requisitos en pliegos de contratación, en línea con la estrategia nacional de digitalización.

BY-NC-SA 2025 EDITORIAL UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Open BIM en formación para funcionarios

El enfoque OpenBIM facilita la interoperabilidad mediante estándares abiertos como IFC, permitiendo la colaboración sin depender de un software específico (Building Smart, 2024). En administraciones públicas, garantiza independencia de proveedores y mejora la transparencia en licitaciones (Building Smart, 2024). Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana (FGV) ha implementado con éxito OpenBIM en sus contratos, promoviendo estándares abiertos junto a buildingSMART (FGV, 2021).

Para capacitar a funcionarios, se diseñó un programa formativo que proporciona conocimientos y herramientas sobre modelos BIM abiertos, utilizando recursos del IVAP y FGV. La formación incluye teoría y práctica con visores IFC y herramientas de análisis, asegurando la aplicación de los conocimientos en el trabajo diario.

1. Objetivo del artículo

Este trabajo describe el diseño e implementación de un programa de capacitación en OpenBIM dirigido a funcionarios técnicos de distintas administraciones españolas, detallando su metodología, materiales de apoyo, resultados obtenidos cuantitativos y cualitativos y lecciones aprendidas contando con más de 100 alumnos encuestados.

2. Metodología de la formación

2.1 Enfoque didáctico

La acción formativa se planteó con una metodología teórico-práctica, orientada a casos reales y al uso de estándares abiertos. Para ello, desde la primera sesión se utilizan modelos BIM reales que forman parte de distintas licitaciones públicas (Adif, FGV, GVA, ertc).

Se optó por un formato semipresencial (blended learning) con sesiones presenciales combinadas con trabajo en línea, para facilitar la participación activa de los alumnos. Por ejemplo, en una de las ediciones (organizada por la Escuela de Formación de Administración Pública regional) se impartieron 22 horas presenciales en aula y 8 horas en línea mediante plataforma virtual. Otras ediciones se desarrollaron completamente en modalidad online síncrona, aprovechando herramientas de videoconferencia y campus virtual. Cada curso estuvo dirigido a un grupo reducido (aprox. 25-30 participantes, personal técnico de grupos A1/A2 de la Administración) (IVAP), con el fin de fomentar la interacción alumno-tutor y la resolución personalizada de dudas técnicas.

2.2 Modalidad de formación

La formación se impartió en tres modalidades adaptadas a los participantes: presencial, con acceso a software BIM e interacción directa con instructores; online, mediante videoconferencias, tutoriales y prácticas autónomas; y mixta, combinando sesiones presenciales y trabajo en línea. Se priorizó un enfoque práctico con visores IFC y herramientas de análisis BIM para garantizar la aplicación de los conocimientos en el entorno laboral.

3. Plan formativo

3.1 Estructura y contenidos

Los contenidos se organizaron en **módulos secuenciales**, abordando progresivamente desde los fundamentos hasta aplicaciones prácticas de BIM en la Administración. En concreto, la estructura típica de los cursos nivel I y II del IVAP fue tomada como referencia (GVA, IVAP, 2023). adaptándola a un programa intensivo. Los módulos principales incluyeron:

1. **Introducción al BIM y OpenBIM:** conceptos básicos, alcance de la metodología y beneficios para la Administración. Se presentó *qué es BIM* y *por qué implementarlo* en proyectos públicos,

BY-NC-SA 2025 EDITORIAL UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

enfatizando el estándar abierto IFC como eje central. Se mostraron ejemplos de modelos IFC y se utilizaron visores BIM gratuitos (como BIMvision, Solibri Anywhere o Open IFC Viewer) para familiarizar a los alumnos con la navegación por modelos 3D y la consulta de sus propiedades.

2. **Estándares y requisitos BIM en contratación:** se estudió cómo *prescribir BIM en los pliegos técnicos* de licitaciones públicas. Para ello, se empleó el concepto de **Pliego de Prescripciones Técnicas BIM (PPTB)**, que define las exigencias BIM en un contrato. Como material de apoyo se utilizó documentación existente, destacando el **Manual BIM de FGV** (2020) o el PPTB de la Generalitat Valenciana (2022), que guía al personal técnico en la redacción de pliegos con requisitos BIM y en la supervisión de proyectos y obras con dicha metodología. Los participantes analizaron ejemplos reales de cláusulas BIM en pliegos (EIR, BEP requeridos, entregables IFC, niveles de información, etc.) y comprendieron cómo alinear esos requerimientos con los objetivos de eficiencia perseguidos en cada proyecto. Este módulo permitió conectar la teoría con la práctica contractual, mostrando cómo la Administración puede **exigir BIM de forma clara y eficaz**.
3. **Herramientas OpenBIM y gestión de la información:** en este bloque práctico se profundizó en el uso de modelos IFC para tareas de supervisión y control de calidad. Se abordó la *gestión de modelos federados*, mostrando cómo combinar modelos de distintas especialidades y cómo verificar interferencias o conflictos (clash detection) de forma básica (IVAP). Igualmente, se enseñó a *extraer información* de un modelo: por ejemplo, obtener listados de superficies, estructuras o instalaciones desde un visor, o comprobar atributos y propiedades clave de los objetos (p.ej. verificar que todos los espacios estén nombrados correctamente, o que los materiales cumplan especificaciones). Los alumnos aprendieron a utilizar **tablas de planificación y filtros** dentro del visor para consultar la base de datos del modelo (cumpliendo así con el objetivo específico de extracción y tratamiento de la información definido en la guía didáctica). También se presentaron nociones de **entorno común de datos (CDE)** y flujos colaborativos: cómo se comparten modelos, se gestionan versiones y se documentan incidencias en plataformas BIM, todo ello siguiendo principios openBIM de interoperabilidad.
4. **Uso de modelos IFC para la supervisión y control de calidad de proyectos:** El uso de modelos IFC permite a los técnicos analizar la geometría, atributos y relaciones espaciales de los elementos constructivos. Durante la formación, se capacita a los funcionarios en la identificación de inconsistencias en la información del proyecto, de posibles interferencias y en la evaluación del cumplimiento de requisitos BIM en las entregas de los contratistas. Se utilizan herramientas como BIM Vision, BIMcollabZoom y Periscoope para realizar inspecciones visuales, verificaciones normativas y controles de calidad en las distintas fases del proyecto.
5. **Medición de modelos OpenBIM y extracción de datos cuantitativos:** Desde la implantación del Nivel Medio del Plan BIM en 2025, los contratos deberán incluir mediciones basadas en modelos BIM. Uno de los aspectos clave de la gestión de modelos OpenBIM es la posibilidad de extraer información cuantitativa directamente de los modelos. Se enseña a los participantes a generar listados de superficies, volúmenes y cantidades de materiales a partir de modelos IFC, permitiendo una certificación más eficiente de la obra. Se trabajan metodologías para conectar estos datos con bases de datos de presupuestos (formato BC3) y procesos de análisis de presupuestos con Excel, asegurando precisión en las certificaciones de obra.
6. **Comprobación de normativa a partir de modelos OpenBIM:** Para garantizar el cumplimiento de las normativas de edificación, los participantes aprenden a comprobar que los modelos OpenBIM cumplen con los requisitos establecidos en los pliegos de prescripciones técnicas y normativas de aplicación en el ámbito de la edificación. Se realizan ejercicios de validación de códigos de construcción, accesibilidad y eficiencia energética, empleando reglas automatizadas en Periscoope-Excel y BIMcollab Zoom.

BY-NC-SA

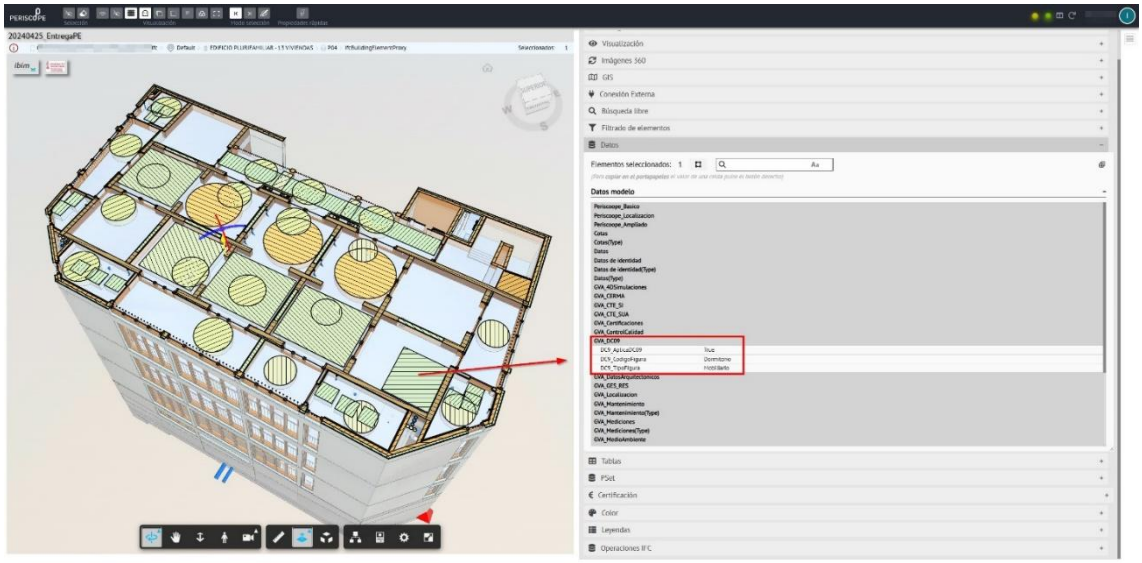


Fig. 3 Ejemplo de comprobación de normativa en OpenBIM usando Periscoope donde se observa las figuras mínimas inscribibles.

7. **Colaboración en entornos CDE (Common Data Environment):** El uso de entornos comunes de datos (CDE) facilita la colaboración entre agentes públicos y privados en los proyectos BIM. Durante el curso, los participantes aprenden a manejar plataformas CDE como Teams, Nextcloud y Periscoope, estableciendo flujos de trabajo para la gestión documental, seguimiento de revisiones y trazabilidad de versiones. Se enfatiza la importancia de la interoperabilidad y la integración de estándares abiertos en estos procesos.
8. **Caso práctico integrador:** hacia el final del curso, se propuso una práctica global que abarcaba todos los contenidos tratados: la simulación del *proceso completo de recepción y revisión de un modelo BIM* entregado por un contratista. A cada participante se le proporcionó un modelo IFC de un proyecto tipo (por ejemplo, un pequeño edificio público) junto con un hipotético PPTB. Los alumnos, asumiendo el rol de técnicos supervisores, debían revisar el modelo comprobando su conformidad con los requerimientos del PPTB: estructura de capas y clasificaciones, información incluida en cada elemento, detección de posibles incoherencias o colisiones, extracción de un cuadro de superficies y mediciones, etc. Finalmente, elaboraron un **informe de revisión** detallando hallazgos y proponiendo mejoras. Esta actividad permitió verificar la *capacidad de los alumnos para aplicar en un caso real los conocimientos adquiridos*.

3.2 Materiales y recursos

Para guiar el desarrollo del curso se elaboró una **Guía Didáctica** propia de la acción formativa, documentando objetivos, contenidos, cronograma y criterios de evaluación. Este documento sirvió de referencia tanto para formadores como para alumnos, indicando las lecturas, ejercicios y prácticas a realizar en cada módulo. Adicionalmente, se integraron recursos de distintas fuentes oficiales para enriquecer la formación: se proporcionó acceso a normativa y guías (por ejemplo, estándares de buildingSMART, especificaciones IFC y documentación del proyecto es.BIM), así como a casos de estudio nacionales. En particular, se tomó como referencia la experiencia de la Generalitat Valenciana: además de los mencionados cursos BIM del IVAP (GVA, IVAP, 2023). los participantes conocieron los proyectos piloto y manuales publicados por FGV y la administración valenciana, aprovechando así conocimiento público existente en la materia. También se citaron iniciativas de otros organismos (ministerios, diputaciones) para ofrecer una visión amplia del estado del arte en BIM público.

BY-NC-SA

3.3 Manual de casos prácticos de la GVA

En la implementación BIM en la GVA se generaron unos casos prácticos para guiar tanto a los funcionarios como a las empresas y profesionales que trabajasen de modo directo o indirecto con la GVA. Este manual fue utilizado de apoyo para la realización de los primeros proyectos piloto por parte de los funcionarios.

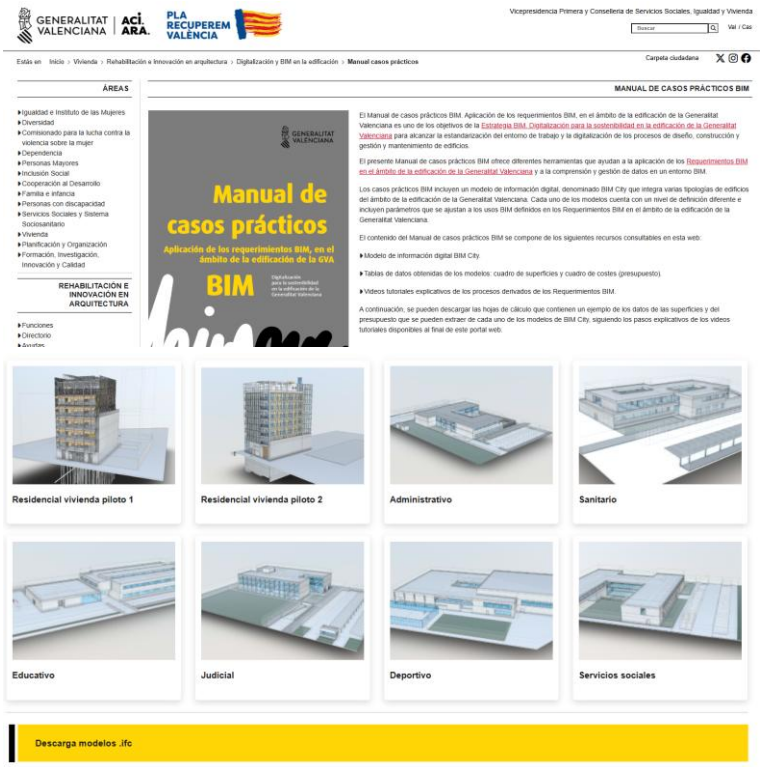


Fig. 4 Manual de Casos Prácticos de la GVA con ejemplo de todos los modelos en IFC tipo para el aprendizaje y uso de personal interno y colaboradores de la GVA.

3.4 Evaluación de los participantes:

La evaluación se planteó de forma **continua y formativa**, más que meramente sumativa. A lo largo del curso, tras cada módulo teórico-práctico, se incluyeron cuestionarios tipo test y pequeños ejercicios prácticos para asentar conocimientos. Estos cuestionarios en plataforma permitieron al tutor y a los alumnos monitorear el progreso y detectar áreas que requerían refuerzo. Para superar la acción formativa fue obligatoria la realización satisfactoria de *todas* las tareas propuestas (cuestionarios completados y ejercicios entregados) así como la entrega del trabajo final tutorizado (el caso práctico integrador mencionado) evidenciando la adquisición de competencias. Adicionalmente, en las ediciones semipresenciales se exigió una asistencia mínima del 80% a las sesiones presenciales, garantizando así la participación. Los criterios de calificación combinaron la nota de los test, la calidad del ejercicio final y la implicación mostrada en las actividades. Todos los alumnos recibieron retroalimentación detallada de sus ejercicios, reforzando el carácter formativo de la evaluación. Al término del curso, quienes cumplieron los requisitos obtuvieron una certificación acreditativa por parte del organismo convocante (p. ej., IVAP o la Escuela de Formación e Innovación de la Administración Pública), reconociendo las *competencias BIM básicas en entorno OpenBIM* adquiridas. Estos fueron más del 90%.

4. Resultados de la formación

Se tienen resultados de 3 cursos impartidos para diferentes organizaciones, IVAP, GVA Y el curso BIM Xpert.

El total de alumnos encuestados ha sido de 70+16+28 alumnos.

BY-NC-SA

4.1 **Preguntas de las encuestas**

Se han realizado encuestas a los participantes.

Algunas de las preguntas son objetivas y medibles y otras abordan aspectos cualitativos, es por ello que de este modo se articulan los resultados.

4.1.1 Preguntas cuantitativas

- En general ¿cuál es su grado de satisfacción sobre la sesión impartida?
- ¿Cuál es su grado de satisfacción sobre el material facilitado?
- ¿Cuál es su grado de satisfacción sobre la materia impartida?
- ¿Cuál es su grado de satisfacción sobre el formador?
- ¿Te sentirías preparado para revisar modelos BIM en licitaciones públicas?
- ¿Vas a aplicar los conocimientos aprendidos en tu trabajo diario?

4.1.2 Preguntas cualitativas

- ¿Qué opina sobre la duración de la sesión?
- ¿Qué opina sobre el ritmo de la sesión?
- ¿Le ha parecido equilibrada la parte teórica y la parte práctica?
- Observaciones (indique los aspectos que mejoraría)

4.2 **Resultados cuantitativos de las encuestas**

- En general ¿cuál es su grado de satisfacción sobre la sesión impartida? 4.15/5
- ¿Cuál es su grado de satisfacción sobre el material facilitado? 4.19/5
- ¿Cuál es su grado de satisfacción sobre la materia impartida? 4.2/5
- ¿Cuál es su grado de satisfacción sobre el formador?4.4/5
- El 92% de los participantes afirmaron sentirse preparados para revisar modelos BIM en licitaciones públicas.
- El 78% expresó su intención de aplicar los conocimientos adquiridos en su trabajo diario.

4.3 **Resultados cualitativos**

4.3.1 Beneficios para los alumnos

La implantación de esta formación OpenBIM ha tenido un impacto muy positivo en las capacidades y el desempeño de los funcionarios técnicos participantes. En términos generales, **se logró cubrir la brecha de conocimiento BIM** que existía en este colectivo, dotándoles de nociones y herramientas prácticas para desenvolverse con modelos digitales. Tras la formación, los técnicos muestran una **mayor autonomía y confianza** a la hora de usar modelos BIM en sus tareas cotidianas de gestión de proyectos. Todos los participantes fueron capaces de abrir y navegar modelos IFC de forma fluida, localizar elementos de interés, inspeccionar sus propiedades y extraer información relevante (por ejemplo, listados de estancias y superficies, cuadros de materiales, etc.). Actividades que antes dependían exclusivamente de planos en papel o informes de terceros ahora pueden ser realizadas directamente por los propios funcionarios **de manera más eficiente**: por ejemplo, verificar superficies contra el proyecto de licitación o comprobar la presencia de determinados equipamientos en un edificio se volvió un proceso semiautomático, reduciendo tiempos de revisión.

Un resultado destacado fue la **mejora en la detección y comunicación de incidencias**. Gracias al entrenamiento en el uso de visores y herramientas de revisión, los asistentes aprendieron a identificar incoherencias en los modelos (elementos faltantes, colisiones simples, desajustes entre disciplinas, etc.) durante la fase de proyecto. Esto redunda en que, en la supervisión de proyectos reales, los técnicos puedan anticipar y señalar problemas de diseño antes de la obra, minimizando sobrecostes y retrasos. Del

BY-NC-SA 2025 EDITORIAL UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

mismo modo, adquirieron criterio para evaluar la *calidad de la información* entregada en un modelo BIM: ahora pueden comprobar si el modelo cumple con los estándares solicitados (por ejemplo, la estructura de capas según el PPTB, el nivel de desarrollo de cada elemento, la completitud de los datos de mantenimiento, etc.). Esta capacidad de *control de calidad digital* supone un salto cualitativo respecto a los métodos tradicionales de revisión documental.

En cuanto a la **gestión en entornos colaborativos**, la formación sentó las bases para que los funcionarios se integren mejor en equipos BIM multidisciplinares. Si bien la mayoría de los participantes no van a modelar directamente, sí entendieron la lógica de trabajo colaborativo: conocieron qué es un entorno común de datos (CDE) y cómo se organiza la información de proyecto en él, comprendieron la importancia de la trazabilidad y versionado de los modelos, y practicaron la comunicación de observaciones usando capturas del modelo (*issues* BIM). Esto se traduce en que ahora pueden interactuar más eficazmente con agentes externos (contratistas, proyectistas) en proyectos BIM, hablando un lenguaje común. Varios alumnos destacaron en las encuestas de satisfacción que, tras el curso, **se sienten preparados para participar activamente en reuniones de coordinación BIM**, entender los términos que se manejan (PPTB, EIR, BEP, etc.) y exigir el cumplimiento de los requisitos planteados desde la Administración.

Un indicador del éxito de la formación es la **demanda de ampliación y continuidad** que generó. En la edición piloto realizada, el porcentaje de finalización fue elevado (más del 90% de los inscritos completaron todas las actividades y obtuvieron su certificación). Además, la valoración global del curso por parte de los asistentes fue muy positiva, subrayando la aplicabilidad inmediata de lo aprendido en su trabajo diario. Ante esta gran acogida, las instituciones implicadas han planificado nuevas ediciones y niveles avanzados para profundizar en BIM específico de distintas áreas (por ejemplo, un curso avanzado centrado en gestión de patrimonio existente con BIM, otro en infraestructuras lineales, etc.), de forma similar a cómo la Generalitat Valenciana anunció la continuidad de su programa formativo BIM vista la buena recepción inicial (GVA, IVAP, 2023). Por otro lado, algunas administraciones locales que no formaron parte de la experiencia piloto han manifestado interés en adherirse y formar a sus propios técnicos, lo cual expande el alcance de la iniciativa a más ámbitos del sector público.

En términos de **impacto organizativo**, aunque es pronto para cuantificar ahorros concretos, ya se observan señales de mejora en la eficiencia de procesos gracias a la incorporación de personal formado en BIM. Por ejemplo, en un organismo donde se ejecutó la formación, el tiempo empleado en revisar y validar entregables de proyectos (memorias, planos, mediciones) se ha reducido al complementarse dicha revisión con la consulta directa del modelo IFC. También se ha notificado que los pliegos de nuevas licitaciones redactados por personal capacitado incluyen requerimientos BIM más claros y alcanzables, alineados con buenas prácticas aprendidas, lo que redunda en ofertas mejor ajustadas y proyectos con menos desviaciones. En suma, los funcionarios formados actúan como **agentes de cambio** internos que impulsan la adopción efectiva de BIM en sus departamentos, generando mayor cultura digital y sirviendo de referencia para sus compañeros.

En resumen, tras la formación, se evidenciaron mejoras significativas en la capacidad de los participantes para:

- Navegar y extraer información relevante de modelos IFC.
- Identificar y reportar inconsistencias en los modelos BIM.
- Realizar mediciones y certificaciones a partir de modelos OpenBIM.
- Comprobar el cumplimiento de normativa a través de datos BIM estructurados.
- Integrarse en flujos de trabajo colaborativos con proyectistas y contratistas.
- Redactar requisitos BIM claros en pliegos de licitaciones públicas.

4.3.2 Beneficios para la administración pública

Los resultados de esta experiencia formativa evidencian múltiples beneficios de la capacitación en OpenBIM para la Administración pública.

BY-NC-SA 2025 EDITORIAL UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

- En primer lugar, se contribuye directamente a **mejorar la eficiencia del gasto público** al preparar a los técnicos para aprovechar las ventajas de BIM: detección temprana de errores, mejor control de costes y plazos, y optimización de recursos (RF AECO, 2023). La formación dota a los empleados públicos de competencias para exigir y utilizar modelos digitales, lo que a largo plazo se traduce en procesos de obra más *racionales y transparentes*. Un proyecto BIM bien gestionado tiende a disminuir improvisaciones en obra y expedientes de modificación, con el consecuente ahorro para las arcas públicas. Además, la práctica con estándares abiertos garantiza que estos beneficios no queden ligados a un software o proveedor concreto, sino que puedan mantenerse en el tiempo y entre distintos proyectos. La adopción de **OpenBIM fomenta una cultura de datos abiertos y colaboración interdepartamental**, muy alineada con los principios de gobierno abierto y eficiencia que persigue la Administración moderna (Building Smart, 2023).
- Otro beneficio importante es la **profesionalización de la función técnica** en las entidades públicas. Tradicionalmente, muchos técnicos de la Administración centraban su trabajo en la revisión de documentos bidimensionales y la inspección física de obras, actividades necesarias pero que pueden enriquecerse enormemente con BIM. Tras la formación, estos profesionales cuentan con nuevas *herramientas de análisis* que les permiten profundizar en la información de los proyectos (visualizar en 3D las soluciones, consultar bases de datos de elementos, simular escenarios, etc.). Esto eleva la calidad de la supervisión técnica que la Administración puede ejercer, haciendo posible un **control más exhaustivo y objetivo**. También mejora la comunicación con contratistas y proyectistas: al hablar todos sobre un modelo unificado, se reducen malentendidos y se agiliza la toma de decisiones. En definitiva, se fortalecen las capacidades institucionales para gestionar proyectos complejos, lo cual es especialmente valioso en un momento en que la inversión pública en infraestructuras y edificación debe maximizar su rendimiento.

4.3.3 Desafíos o aspectos a mejorar

Pese a los claros beneficios, la implementación de la formación BIM en la Administración conlleva **desafíos y lecciones aprendidas** desprendidos tanto por los alumnos encuestados como por los consultores BIM y otros agentes.

- Uno de los principales desafíos es la **resistencia al cambio** y la diversidad de perfiles del alumnado. En los cursos se observó que algunos participantes, con larga trayectoria basada en métodos tradicionales, mostraban inicialmente cierta reticencia o inseguridad ante las nuevas herramientas digitales. Abordar esta situación requirió de paciencia y de una metodología muy práctica: fue fundamental **demostrar el valor** de lo aprendido con ejemplos concretos ligados a su trabajo diario. Al ver, por ejemplo, cómo un modelo 3D les ayudaba a detectar un problema que en planos 2D les hubiera pasado desapercibido, la actitud cambiaba hacia la aceptación. Asimismo, la heterogeneidad en habilidades informáticas implicó que el ritmo debía ajustarse para no dejar atrás a nadie; fue útil fomentar la colaboración entre alumnos, de modo que los más avanzados apoyaran a los novatos en ciertos ejercicios, creando un buen ambiente de aprendizaje colaborativo.
- Otro reto identificado es la **integración efectiva de la formación en la práctica laboral**. La capacitación por sí sola no garantiza que luego el entorno de trabajo permita aplicar lo aprendido. Es necesario que las organizaciones acompañen la formación con medidas de apoyo: por ejemplo, dotar a los técnicos de **herramientas adecuadas** (visores BIM actualizados, hardware capaz de mover modelos grandes, accesos a entornos CDE corporativos), establecer protocolos internos para el manejo de modelos (¿cómo archivar un IFC recibido? ¿quién valida su contenido?) y, sobre todo, impulsar desde la dirección la utilización real de BIM en los proyectos. En algunas entidades, tras formar al personal se advirtió que aún no existía un *flujo de trabajo definido* para incorporar los modelos en los expedientes; esto revela la importancia de que la formación vaya acompañada de una **planificación estratégica** de implantación BIM en la organización. Idealmente, la capacitación de los técnicos debe ser una pieza dentro de una estrategia más amplia que incluya la actualización

BY-NC-SA 2025 EDITORIAL UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

de procedimientos administrativos, la elaboración de plantillas de PPTB estandarizadas y la designación de responsables BIM en cada unidad.

- La **sostenibilidad de la formación en el tiempo** es otro punto de discusión. Dado que la tecnología BIM evoluciona rápidamente (nuevas versiones de estándares IFC, herramientas emergentes, etc.), será necesario actualizar periódicamente los contenidos formativos. Una lección aprendida es que conviene crear una **comunidad de práctica BIM** dentro de la Administración: una red de técnicos formados que compartan entre sí novedades, consultas y buenas prácticas. Esto puede articularse mediante foros internos, grupos de trabajo interdepartamentales o incluso apoyándose en redes profesionales externas (por ejemplo, la comunidad de usuarios de buildingSMART Spain). Así, el aprendizaje continúa más allá del curso formal y se retroalimenta con la experiencia real en proyectos.
- Algunos participantes manifestaron interés en profundizar en ciertos temas (p.ej. gestión de modelos de instalaciones, simulaciones 4D/5D, etc.), por lo que se identificó la necesidad de ofrecer **niveles avanzados de formación** o cursos especializados según perfiles (BIM para directores de obra, BIM para gestores de activos, etc.). La experiencia modular del IVAP, con cursos BIM I y II, es un buen ejemplo de cómo escalonar el aprendizaje (GVA, IVAP, 2023)
- Finalmente, cabe destacar el **papel de los estándares abiertos** como hilo conductor de la formación. La insistencia en OpenBIM no estuvo exenta de desafíos técnicos –por ejemplo, en ocasiones se evidenció que ciertos datos al exportarse a IFC podían perder fidelidad, o que distintos softwares interpretan de forma dispar algunos parámetros–. Sin embargo, esto sirvió también como aprendizaje: los funcionarios comprendieron las **limitaciones y fortalezas del formato IFC**, aprendiendo a verificar la información tras cada intercambio. La interoperabilidad total es una meta en desarrollo, pero el curso enfatizó que incluso con limitaciones, es preferible apostar por formatos abiertos que garantizan accesibilidad a largo plazo, a depender de formatos propietarios cerrados. La colaboración con organismos como buildingSMART y la referencia a guías nacionales (es.BIM) permitieron respaldar esta visión. Una lección importante fue que el **alineamiento con iniciativas nacionales** (p. ej. el Plan BIM, la Comisión interministerial BIM) aporta legitimidad y soporte institucional a la formación; los asistentes valoraron saber que lo que aprendían formaba parte de una política pública de alcance mayor y no era un esfuerzo aislado. Esto motiva a los empleados a convertirse en embajadores de la metodología dentro de sus propias organizaciones.

5. Conclusiones

5.1 Recomendaciones futuras

Como recomendaciones para futuras iniciativas, en primer lugar, **se anima a extender este tipo de formación** a un número mayor de empleados públicos y administraciones. La experiencia piloto debería replicarse y escalarse, adaptando los contenidos a distintos niveles de gobierno (estatales, autonómicos, locales) y al perfil específico de los técnicos (obra civil, edificación, patrimonio, etc.). Igualmente, se recomienda desarrollar itinerarios formativos completos: desde un nivel inicial (como el aquí descrito) hasta niveles intermedios y avanzados, posiblemente con certificaciones reconocidas (por ejemplo, integrando la certificación individual *openBIM* de buildingSMART u otros estándares de competencia). Por otro lado, es crucial **involucrar a los directivos y responsables de las organizaciones** en el proceso de implantación BIM. La formación de mandos intermedios en conceptos BIM facilitará la creación de protocolos internos que complementen la capacitación técnica del personal. Asimismo, habría que considerar la **actualización periódica de contenidos** para incorporar las lecciones aprendidas en cada edición y las novedades tecnológicas: por ejemplo, nuevas versiones de IFC, herramientas más avanzadas de revisión, o cambios normativos relevantes (como futuras exigencias legales BIM a nivel nacional).

Se aconseja también mantener la colaboración y el intercambio de conocimiento entre organismos. La coordinación entre instituciones (ministerios, comunidades autónomas, empresas públicas) permitirá compartir materiales didácticos, casos de éxito y recursos, evitando duplicidades y enriqueciendo la oferta formativa. Iniciativas como comités interadministrativos de BIM o plataformas compartidas de aprendizaje

BY-NC-SA

podrían apoyar esta sinergia. España cuenta ya con ejemplos de documentos unificados (guías es.BIM, observatorios de licitación BIM, manuales como el de FGV, etc.) que pueden servir de base común para la formación de todos los técnicos públicos interesados.

5.2 **Conclusión**

La formación en OpenBIM para funcionarios ha sido clave en la digitalización de la obra pública, dotándolos de competencias para gestionar modelos BIM abiertos y mejorar la eficiencia en proyectos. Los participantes, inicialmente sin experiencia en BIM, han adquirido habilidades para interactuar con modelos digitales, extraer información y supervisar requisitos con mayor precisión, alineándose con los objetivos del Plan BIM 2024-2030 (RF AECO, 2023).

El enfoque OpenBIM ha garantizado la neutralidad tecnológica al basarse en estándares abiertos como IFC, evitando dependencias de proveedores y asegurando la reutilización de datos a lo largo del ciclo de vida de los activos (Building Smart, 2023). Los funcionarios ahora comprenden la importancia de exigir entregables abiertos en licitaciones, promoviendo una cultura colaborativa en la Administración y el sector privado.

Invertir en la capacitación BIM del sector público no solo mejora la gestión de infraestructuras y edificios, sino que impulsa la eficiencia e innovación en la contratación y supervisión de proyectos. Ampliar estas iniciativas será clave para alcanzar las metas del Plan BIM 2030 y fortalecer una Administración más digital y eficiente.

Referencias

CI-BIM (2024). *Fundamentos BIM en la contratación pública*. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Disponible en Web:(https://publicaciones.transportes.gob.es/fundamentos-bim-para-la-contratacion-publica-2) [Consulta: 07/03/2025].

Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible (2023). Plan BIM en la Contratación Pública. Disponible en Web: (https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/cbim/v_26_bis_web_plan_bim_contratacion_publica.pdf). [Consulta: 01/03/2025].

Observatorio de Licitaciones BIM (2024). Informe 27 - Tercer Trimestre 2024. Disponible en Web:(https://cibim.transportes.gob.es/recursos_cbim/observatorio_licitaciones_bim_27_sep_24.pdf). [Consulta: 10/03/2025].

Revista Tramos (2024). Ministerio de Transportes y Movilidad Sostenible. Monográfico sobre BIM en la AGE.

BuildingSMART Spain (2024). Estándares OpenBIM y normativas aplicables. Disponible en Web (https://www.buildingsmart.es/bim/openbim/) [Consulta: 01/02/2025].

buildingSMART Spain (2023). *¿Qué es BIM?* – Sección "Implantación de BIM". Disponible en Web: (¿Qué es BIM? - buildingSMART Spain) (¿Qué es BIM? - buildingSMART Spain) [Consulta: 01/03/2025].

RF AECO (2023). *Plan BIM España: Un nuevo requisito para cumplir con la ley*. Disponible en Web: (Plan BIM España: Un nuevo requisito para cumplir con la ley - RF AECO Competence Center) [Consulta: 01/03/2025].

GVA - Generalitat Valenciana (2023). *Inicia el curso de formación BIM del IVAP para los empleados públicos de la GVA*. Noticia publicada el 20/09/2023 en habitatge.gva.es. (INICIA EL CURSO DE FORMACIÓN BIM DEL IVAP PARA LOS EMPLEADOS PÚBLICOS DE LA GVA - Arquitectura - Generalitat Valenciana) (INICIA EL CURSO DE FORMACIÓN BIM DEL IVAP PARA LOS EMPLEADOS PÚBLICOS DE LA GVA - Arquitectura - Generalitat Valenciana). [Consulta: 15/03/2025].

IVAP GVA (2023). *Cursos BIM Nivel I y II – Plan de Formación IVAP*. Información de la oferta formativa en ivap.gva.es. (Cursos IVAP - Arquitectura - Generalitat Valenciana). [Consulta: 15/03/2025].

FGV (2021). *Implementación BIM en Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana*. Artículo web FGV – Área de Proyectos e Innovación. (Implementación BIM en Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana - FGV) (Implementación BIM en Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana - FGV). [Consulta: 17/03/2025].

FGV (2020). *Manual BIM Vol.1 – Estrategia digital BIM en FGV*. Valencia: Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana. Extractos: (https://www.fgv.es/manual_bim/).[Consulta: 7/03/2025].

Guía Didáctica (2023). *Visualización y Consulta de Modelos BIM desde IFC* (Ed.1, código 2023/PCU/5529). Escuela de Formación, CARM.

BY-NC-SA 2025 EDITORIAL UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen, concretamente ***ChatGPT-4*** *(OpenAI, versión GPT-4-turbo) a través de la plataforma* ***https://chat.openai.com****, con el objetivo específico de* ***apoyar en la redacción, revisión lingüística y estructuración de contenidos, así como en la generación de ejemplos explicativos y la mejora del estilo académico del texto****.*

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación.

BY-NC-SA 2025 EDITORIAL UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

HERRAMIENTA PARA CÁLCULO DEL POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL DE UN PROYECTO DE EJECUCIÓN

Lostao-Chueca, Diego; Hescartín-Martínez, Héctor; Ciriano-Lambán, Laura; Agustín-Hernández, Luis; Sancho-Mir, Miguel

Cofundador del Estudio Cierzo Arquitectura, doctorando en el Departamento de Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, dlostao@unizar.es. Cofundador del Estudio Cierzo Arquitectura, hescartin@estudiocierzo.com. Experta en sostenibilidad, l.ciriano.lamban@gmail.com. Área de Expresión Gráfica Arquitectónica del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, lagustin@unizar.es. Área de Expresión Gráfica Arquitectónica del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Zaragoza, misanmi@unizar.es.

Abstract

The AEC sector (Architecture, Engineering, and Construction) has shown a growing interest in recent years in quantifying the environmental impact of their buildings; initially due to distinctions such as sustainability certifications in building, and more recently due to the new European directive on energy efficiency in buildings (EPBD) and its implications in the Basic Sustainability Document expected to be included in the Technical Building Code in 2027. To perform this measurement, it has been agreed that the most relevant indicator currently is the Global Warming Potential (GWP), commonly known as the carbon footprint, measured in CO2 equivalent emissions (kgCO2eq). The objective of this communication is to raise awareness about the impact that decision-making has on the environment from the design phase of a project. To this end, a simple tool is presented, based on the comparative method with a generic building of similar characteristics, thus extracting information about the savings or excess emissions that each measure entails. The result has been the design of a BIM workflow that allows for the semi-automatic updating of both the model data and the database, in order to efficiently quantify the environmental impact. A factor is also introduced that relates the generated CO2 emissions with another less specialized unit of measure, thus promoting sustainable decision-making for anyone.

Keywords*: CO2, carbon footprint, automation, processes, environmental impact, AEC, tool, design 4.0, biodiversity, biodiversity.*

Resumen

El sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) ha mostrado en los últimos años un creciente interés en cuantificar el impacto ambiental de sus edificaciones. Para realizar esta medición se ha consensuado que el indicador más relevante actualmente es el del Potencial de Calentamiento Global (GWP), conocido como huella de carbono, y medido en emisiones de CO2 equivalente (kgCO2eq). El objetivo es el de concienciar acerca del impacto que supone un proyecto, desde la fase de diseño, al medio ambiente; para ello se presenta una herramienta sencilla que se basa en el método comparativo con un edificio genérico de características similares, pudiendo así extraer información del ahorro o del exceso de emisiones que supone cada medida. El resultado ha sido el diseño de un flujo BIM que permite la actualización, de un modo semiautomático, tanto de los datos del modelo como los de la base de datos, para poder realizar la cuantificación del impacto ambiental de manera eficiente. Se introduce también un factor que relaciona las emisiones de CO2 generadas con otra unidad de medida menos especializada; favoreciendo, de este modo, la toma de decisiones sostenibles para cualquier persona.

Palabras clave: *CO2, huella de carbono, automatización, procesos, impacto ambiental, AEC, herramienta, diseño 4.0, biodiversidad.*

 BY-NC-SA

Introducción

La metodología BIM (Building Information Modeling) ha supuesto una gran mejora de calidad en los proyectos de construcción del sector AECO (Architecture, Engineering and Construction) *(Pérez et al., 2024)*. Parte esencial del BIM, es la definición de los Usos que se le puede dar a los modelos; siendo, algunos de ellos, el motivo de su implementación como la extracción de mediciones o la gestión de los plazos de ejecución *(MITMA, 2023)*; pero, una vez integrado en el flujo de generación de valor, esta metodología, que permite controlar todos los aspectos de un proyecto en todo su ciclo de vida, ha permitido incorporar otros Usos más ambiciosos como el cálculo del impacto medio ambiental de un proyecto de ejecución.

1. Conceptos de sostenibilidad aplicados a la construcción

Según el World Green Building Council, los edificios son responsables del 39% de las emisiones globales de carbono relacionadas con la energía (WGBC, 2019): el 28% proviene de las emisiones operativas (de la energía necesaria para calentarlos, enfriarlos y alimentarlos), y el 11% restante proviene de las emisiones embebidas en los materiales y la construcción, hecho por el que en los últimos años, los esfuerzos se han centrado en reducir las emisiones operativas, siendo ahora el turno de minimizar las emisiones producidas en dichos materiales.

Sin embargo, lo que no se mide no se puede mejorar; es por ello que se necesitan sistemas estandarizados de cálculo del impacto ambiental. El Análisis de Ciclo de Vida (ACV, o LCA por sus siglas en inglés) es una metodología general que analiza y evalúa de forma cuantitativa los impactos ambientales potenciales de cualquier tipo de producto, proceso o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida, o partes de él. Los documentos de referencia para la elaboración de un ACV son las normas internacionales ISO 14040 (ISO, 2006) e ISO 14044 (ISO, 2006).

En los casos en los que se realiza este ejercicio con un producto, es fundamental poner a disposición pública los resultados obtenidos, con el objetivo de que el mercado contenga una oferta cada vez más sostenible. Las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP, o EPD por sus siglas en inglés) son documentos estandarizados que reflejan el ACV de un producto, y por tanto contienen información cuantitativa y objetiva de los indicadores de impacto ambiental. Las DAP son etiquetas ambientales tipo III que están reguladas por la ISO 14025 (ISO, 2006), y deben ser verificadas por una tercera parte independiente. El ACV para las DAP se realiza siguiendo unas Reglas de Categoría de Producto (RCP) que aseguran unos criterios coherentes para familias de productos con la misma función.

Cabe señalar que un indicador de impacto se define como la medida utilizada para cuantificar y evaluar los efectos ambientales potenciales a lo largo del ciclo de vida de un producto, proceso o servicio. En el marco de la Unión Europea, el Product Environmental Footprint (PEF) (European Comission, 2021) ha definido 16 indicadores de impacto ambientales que deben ser declarados en un ACV. El más conocido es el Global Warming Potential (GWP), que mide las emisiones de gases de efecto invernadero; pero algunas entidades con las mejores prácticas en cuanto a sostenibilidad ya están teniendo en consideración otros indicadores también relevantes.

En el ámbito específico de la construcción, las DAP están reguladas por la norma UNE EN 15804+A2 (UNE, 2012). Además, la norma UNE EN 15978 (UNE, 2012) establece, de forma genérica, las fases del ciclo de vida de un producto de construcción o un edificio. Estas fases se pueden agrupar por etapas:

- Fabricación: A1 (extracción de la materia prima), A2 (transporte a fábrica), A3 (producción del material).
- Instalación: A4 (transporte a obra), A5 (instalación en obra).
- Uso: B1 (uso), B2 (mantenimiento), B3 (reparación), B4 (sustitución), B5 (rehabilitación), B6 (consumo de energía operacional), B7 (consumo de agua operacional).
- Fin de vida: C1 (deconstrucción), C2 (transporte a tratamiento/eliminación), C3 (tratamiento), C4 (eliminación).
- Beneficios más allá del sistema: D (potencial de reciclaje, recuperación, reutilización, etc.).

 BY-NC-SA

Las DAP de materiales de construcción se rigen por todos estos aspectos anteriores, y se utilizan para calcular el ACV del edificio completo; sin embargo, no todas las DAP de construcción declaran todas las fases del ciclo de vida. En función de la calidad de los datos de las DAP, se puede realizar un ACV con un alcance más o menos amplio:

- De la cuna a la puerta (A1-A3)
- De la cuna a la tumba (A1-C4)
- De la cuna a la cuna (A1-D)

Se espera que el nuevo Documento Básico de Sostenibilidad a incluir en el Código Técnico de la Edificación (CTE) a finales de 2026 (GBCE, 2024) unifique los criterios relativos al ACV del edificio en base a estas DAP del mercado, y que sirva para generar una base de datos nacional. Por eso es fundamental que los fabricantes declaren con mayor frecuencia el impacto de sus productos en DAP propias y completas.

En el intervalo de tiempo hasta la implementación de dicha estandarización de criterios por parte del CTE, han ido surgiendo y surgirán herramientas de ACV de edificación y urbanización, especialmente impulsadas por los requisitos contenidos en sellos de sostenibilidad como BREEAM, LEED, o VERDE; sin embargo, la integración de estas herramientas en entornos BIM ha sido con frecuencia, hasta la fecha, deficiente o nula. Actualmente, un gran número de DAP están disponibles en formatos digitales, pero la agregación de datos de dichas DAP al modelo digital requiere de una intervención por parte de personal especializado. Por lo tanto, hasta que se automatice esta incorporación de datos, es muy probable que un ACV en BIM suponga un sobrecoste excesivo (Aragón et al., 2024)

2. **Implementación**

En el proceso de mejora continua de un despacho profesional enfocado a la redacción y ejecución de proyectos de construcción se veía difícil la integración de las herramientas para el cálculo del ACV actuales debido a que, para conseguir calcular el impacto, se requiere una importante inversión de tiempo así como la modificación del estándar interno de la empresa.

A la hora de realizar una implementación, es esencial conocer los protocolos de trabajo que la empresa tiene así como los recursos humanos y materiales de los que dispone. Para el caso que nos aplica, se realizó en una pequeña empresa de arquitectura ubicada en Zaragoza con una variedad de clientes muy amplia aunque con una premisa clara de no atender a clientes privados particulares que no suelen ser cliente final. Por ello, se considera que, cualquier proceso integrado dentro del flujo de generación de valor de la empresa, tiene que poder ser muy versátil además de ofrecer datos interesantes y llamativos que pueda favorecer a la comercialización de un producto final como puede ser una promoción de viviendas o el diseño de un producto modular para un proceso industrializado.

Por otro lado, aunque no menos importante, en el mercado no se suele valorar el impacto ambiental generado en igual medida que a otros conceptos como puede ser el coste; quedando, habitualmente, relegado a un segundo plano y no tomando decisiones en proyecto u obra, posiblemente por desconocimiento, que pudieran minimizar la huella que nuestra construcción deja en el entorno.

La solución a este problema no pasa por obviar el coste o la durabilidad de un material, sino por concienciar y hacer partícipe a la propiedad de cómo la utilización de unos materiales u otros puede influir además, en el ACV de un edificio; utilizando para ello un factor con el que la sociedad se encuentre familiarizada y que aterrice conceptos tan complejos como puede ser el cálculo de la huella de carbono.

Por todo lo anteriormente expuesto, el objetivo perseguido es el de poder conseguir reducir el impacto que nuestros proyectos causan en el medio ambiente sin afectar a la productividad del despacho. Como premisa se considera esencial que se puedan comprobar los cambios en tiempo real para poder valorar cómo afecta cada decisión tomada, siendo necesario tener siempre una base de datos actualizada y un sistema de referencia en el que poder basarnos.

 BY-NC-SA

Para cumplir este objetivo, se ha decidido generar una herramienta propia, de uso sencillo, e integrable en procesos en BIM para el cálculo del impacto medioambiental embebido en los materiales de construcción de un proyecto de edificación. Se ha optado por:

- Registrar una base de datos de DAP de productos de la construcción con un enfoque de la cuna a la cuna, aunque luego se evalúe el alcance específico de cada proyecto en función de la calidad de los datos.
- Evaluar tres indicadores relevantes: Potencial de Calentamiento Global (GWP, por sus siglas en inglés), Consumo de agua dulce (FW, por sus siglas en inglés), y Generación de residuos no peligrosos (NHWD, por sus siglas en inglés), permitiendo que en análisis futuros sea fácil añadir otros indicadores considerados relevantes.
- Dejar abierta la posibilidad de integrar a futuro en la herramienta los impactos debidos a consumos operacionales (energía y agua) del edificio.

3. **Metodología**

En cuanto al flujo de trabajo, el primer paso consiste en desarrollar una biblioteca de materiales. Teniendo en cuenta la estructura de datos que se puede extraer de un modelo generado siguiendo la metodología BIM, se ha planteado la posibilidad de fabricar una base de materiales propia fundamentada en los productos más empleados en la construcción en la zona de trabajo del equipo desarrollador.

Se ha preferido no basar la herramienta de cálculo en una base de datos existente por tres razones:

- Las bases de datos de impactos medioambientales son pocas y se suelen integrar en software bajo licencia; un ejemplo sería el BEDEC, desarrollado por el ITeC (ITeC, 2025).
- Siguiendo la metodología del Producto Mínimo Viable (MVP) (UNIR, 2024), en esta etapa de desarrollo se consideró más adecuado adaptar la base de datos de impacto al flujo de trabajo existente en BIM y no al revés.
- Cualquier estructura de categorización planificada en el momento presente deberá ser modificada de cualquier manera para cumplir con la estandarización nacional que impondrá el CTE de aquí a menos de dos años (GBCE, 2024).

Esta base de datos se trata, de una hoja de cálculo en la que se introduce la información contenida en diferentes DAP de fabricantes de productos de la construcción. Cualquier base de datos tiene que estar siempre lo más actualizada posible, por lo que es esencial mantener una rutina de guardado de archivos que se establece según el siguiente protocolo: se debe archivar cualquier documento relacionado con la base de datos o la herramienta objeto de este artículo, cada vez que es editado e incorporando fecha de edición, evitando así que se pierdan rutas establecidas con el archivo principal y pudiendo volver a comprobar en caso de necesidad un cálculo realizado con una base de datos desactualizada.

Un ejemplo de lo indicado previamente es:

- XX_BibliotecaMateriales. Siendo XX las iniciales de la empresa creadora de la biblioteca.

Una vez el archivo se edita, en lugar de añadir un campo versión al archivo principal, se deberá duplicar y editar el nombre del documento archivado:

- YYMMDD_XX_BibliotecaMateriales. Siendo YYMMDD; año, mes y día respectivamente.

Previamente a la introducción de los datos, se ha hecho una búsqueda exhaustiva de DAP y los documentos que se han almacenado de manera apropiada. El mayor reto en este aspecto es que, actualmente, las DAP se publican con diferentes operadores (DAPcons, EPD international, IBU, etc.); por tanto, la información se encuentra disgregada y además en formato texto (PDF). A raíz de esta inoperabilidad, muchos operadores han digitalizado sus DAP publicadas a través del EcoPortal de EcoPlatform, de tal forma que los datos son más fácilmente accesibles en formato numérico (CSV).

 BY-NC-SA

Paralelamente a esta recopilación, previo al volcado de datos, se ha diseñado la estructura que tiene la CZ_BibliotecaMateriales. Se han definido tipos y subtipos de material, de tal forma que cada vez que se introducen los datos de una DAP, ésta se debe categorizar; a partir de esto, la CZ_BibliotecaMateriales le asigna un código alfanumérico único y lo más importante, genera un nombre para el material que tendrá asignado dentro del software BIM.

3.1. **Estructura de la biblioteca de materiales**

La biblioteca de materiales se ha estructurado en una lista de 16 agrupaciones según sus características más comunes (ver Tabla 1), intentando integrar todas las variabilidades que nos podemos encontrar en obras de pequeño y gran formato para la ejecución de envolvente y compartimentación interior.

Tabla 1. Lista de materiales. Fuente: Creación propia (2025)

Tipo de material	Código
Aislamientos	AIS
Cerámicas	CER
Compuestos	COM
Hormigón Prefabricado	HPR
Hormigón In Situ	HIS
Láminas	LAM
Maderas	MAD
Metales	MET
Morteros	MOR
Piedras	PIE
Pinturas	PIN
Plásticos	PLA
Varios	VAR
Vegetación	VEG
Vidrios	VID
Yesos	YES

Además del tipo y subtipo de material, que genera esta codificación, se imputan los siguientes datos de la DAP en la CZ Biblioteca de Materiales: fabricante, modelo, características del material, unidad funcional de la DAP, vida útil del material, vigencia de la DAP, alcance geográfico de la DAP, norma bajo la que se enmarca la DAP, y los impactos asociados a los indicadores GWP, FW y NHWD. Como no todos los impactos declarados en las DAP están reflejados en las mismas unidades, se ha optado por hacer una transformación de los impactos para que éstos queden reflejados por m^3 de material.

A partir de los datos de los fabricantes, la CZ_BibliotecaMateriales genera materiales genéricos que son un promedio del impacto del mercado en función del tipo y subtipo de material asignado. Estos materiales genéricos sirven para dos funciones: realizar cálculos en etapas tempranas de proyecto en las que aún no se han definido los materiales, y comparar con el promedio de mercado los materiales que sí se han definido en etapas posteriores.

Además de la base de datos de genéricos, la CZ_BibliotecaMateriales genera automáticamente dos tablas finales: la Tabla de Materiales para el software BIM, y la Tabla de Impactos de Materiales.

La Tabla de Materiales para el software BIM está estructurada para aprovechar parámetros de material que sean existentes en el programa, como pueden ser: Nombre (que recordemos, se genera automáticamente a partir del tipo, subtipo y otras características), Color, Fabricante, Modelo... Esta tabla será utilizada en el segundo paso del flujo de trabajo, a continuación del volcado de datos en la CZ_BibliotecaMateriales.

La Tabla de Impactos de los Materiales contiene los impactos agrupados por etapas (fabricación, obra, fin de vida, etc.) de cada uno de los registros de la CZ_BibliotecaMateriales, esta tabla es utilizada en el tercer paso

 BY-NC-SA

del flujo de trabajo, donde se cruzará con el cómputo de materiales extraído del modelo BIM de un proyecto específico, agrupando los materiales según su condición de genéricos o no genéricos, por tipo, subtipo y codificación del material, por ejemplo:

- XX_CODNNN_Subtipo. Siendo:
  - XX; las iniciales de la empresa creadora de la biblioteca.
  - COD; código del tipo de material.
  - NNN; la numeración correlativa definida según la base de datos.
  - Subtipo; la característica secundaria del material

Un ejemplo de ello sería:

- CZ_AIS120_FibMad

Del material previo se deduciría que se trata de un aislamiento de fibra de madera de características genéricas englobado dentro de la base de materiales del estudio correspondiente.

3.2. **Flujo BIM**

En un primer momento se define como campo de aplicación de la herramienta la envolvente del edificio y los elementos compartimentadores (Fig. 1), se incluirán los materiales aplicados a muros, forjados, cubiertas, ventanas y puertas como caso de los primeros estudios de la herramienta.

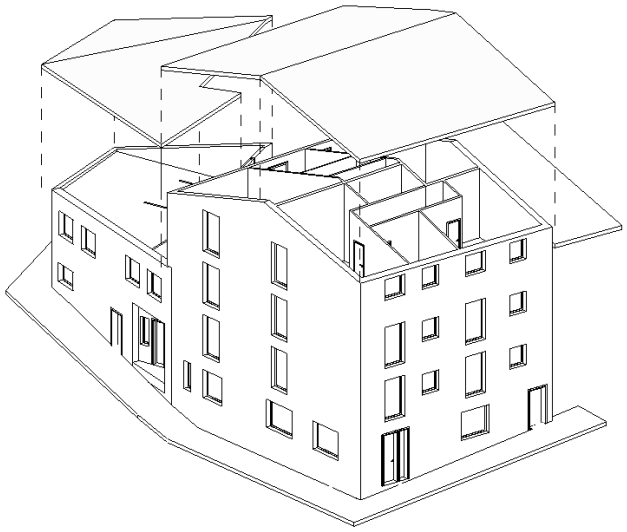


Fig. 1 Volumen esquemático de un caso de estudio de la envolvente y elementos compartimentadores. Fuente: Creación propia (2025)

En cuanto al trabajo realizado en el modelo, parte esencial de la aplicación de la herramienta es que no se necesite modificar la metodología de trabajo ya que se considera adecuada basándonos en una relación calidad-efectividad. Por ello se establece un procedimiento de modelado similar al empleado para extracción de mediciones, funcional hasta la fecha.

Para garantizar que los materiales de trabajo están siempre actualizados se plantea un procedimiento según el cual, el archivo nombrado como CZ_BibliotecaMateriales se encuentra cargado en la plantilla de la empresa siguiendo la misma rutina de archivado de versiones que la propia biblioteca.

La carga de los materiales en la plantilla se necesita realizar de un modo óptimo evitando duplicidades, es decir, se ha desarrollado un proceso mediante un código de programación visual con un script de Phyton complementario que facilita la comprobación de los materiales existentes en la plantilla y carga nuevamente la Biblioteca al completo.

 BY-NC-SA

El código empleado se utiliza principalmente para poder localizar si existe en la plantilla un material con un nombre igual al de la Biblioteca y si no lo encuentra lo crea con las propiedades definidas en la Tabla de Materiales. En caso de existir ya el material sobreescribirá los valores garantizando que estamos trabajando siempre con los últimos datos disponibles. (Fig. 2)

```
try:
    for material_name in material_names:
        # Comprobar si el material ya existe
        existing_materials = FilteredElementCollector(doc).OfClass
        (Material).ToElements()
        if any(m.Name == material_name for m in existing_materials):
            # Si el material ya existe, agregarlo a la lista de
            resultados
            created_materials.append(next(m for m in
            existing_materials if m.Name == material_name))
        else:
            # Crear un nuevo material
            new_material = Material.Create(doc, material_name)
            created_materials.append(new_material)
```

Fig. 2 Extracto del script de Phyton empleado. Fuente: Creación propia (2025)

Para minimizar el peso del archivo de trabajo se introducen tan solo los parámetros anteriormente citados, ya que del modelo únicamente se necesita extraer el código del material o su nombre y la medición asociada a él. Con la superficie, el volumen o la unidad de medida equivalente según el material, se puede extraer un archivo CSV del modelo que se puede vincular de forma directa con la Herramienta de Cálculo de Impacto.

Se establece también un protocolo similar para el archivado de los documentos generados con la Herramienta. Cada versión se guardará con el código:

- YYMMDD_FF_NombreProyecto. Siendo FF la fase de trabajo (AP, PB, PE…)

Aplicando esta codificación se pretende conseguir tener valores de referencia desde fases tempranas de diseño pudiendo así ayudar en la toma de decisiones estratégicas en cualquier punto del proceso del proyecto.

3.3. **Cálculo del impacto**

El tercer paso del flujo de trabajo se desarrolla en la CZ_CalculoImpacto. Se trata de una hoja de cálculo específica para cada proyecto en la que, una vez exportado el cómputo de materiales del proyecto específico, los datos de material codificado, localización o uso del material, y volumen de material, se cruzan con la Tabla de Impactos de Materiales.

Esta relación de datos se realiza de forma automática mediante una estructura de consultas que llaman tanto al cómputo de materiales extraído del modelo, como a la CZ_BibliotecaMateriales. Los impactos del ACV del edificio quedan diferenciados por código de material, tipo de material, subtipo de material, categoría constructiva en la que se incorpora, etapa del ciclo de vida en la que se produce, e indicador que se está midiendo. De esta forma, se cuenta con un conjunto de datos estructurado, limpio y completo, listo para ser utilizado en otras herramientas que faciliten su análisis.

4. **Visualización de resultados**

Para la transmisión de la información generada, se puede utilizar cualquier herramienta de visualización de datos, ya que se trata de analizar los datos y reflejarlos de forma gráfica facilitando la comprensión por parte del usuario. En este caso, se ha optado por el software PowerBi debido al conocimiento previo y a las posibilidades que ofrece en cuanto versatilidad e interoperabilidad. (Fig. 3)

BY-NC-SA

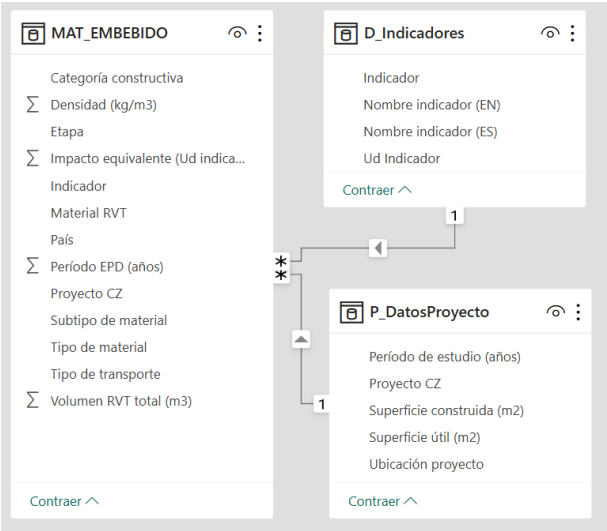


Fig. 3 Relaciones de Power BI mostrando los indicadores. Fuente: Creación propia (2025)

De esta forma, se puede analizar dentro del ACV de un proyecto de edificación o de urbanización cómo se distribuyen los impactos medioambientales, y con qué son comparables en cada caso. En cuanto al origen de las EPD o DAP, se toman de fuentes generales como el ECOportal (ECOplatform, 2025) o directamente de las páginas web de los fabricantes. Se da preferencia primero a las EPD de producto o familia, y después a las EPD sectoriales o de productos similares en el mercado.

Por ejemplo, podemos detectar que en un proyecto el material que más relevancia tenga en concepto de impacto sea el hormigón, o que la categoría constructiva con mayor relevancia sea la estructura, y a qué se debe. (Fig. 4 y 5)

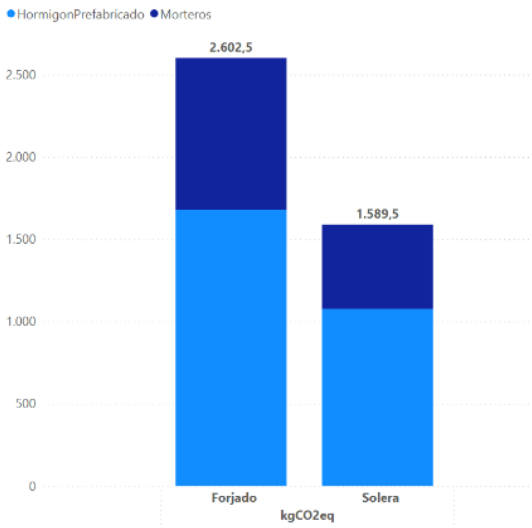


Fig. 4 Ejemplo de impacto acumulado por categoría constructiva y tipo de material. Fuente: Creación propia (2025)

BY-NC-SA

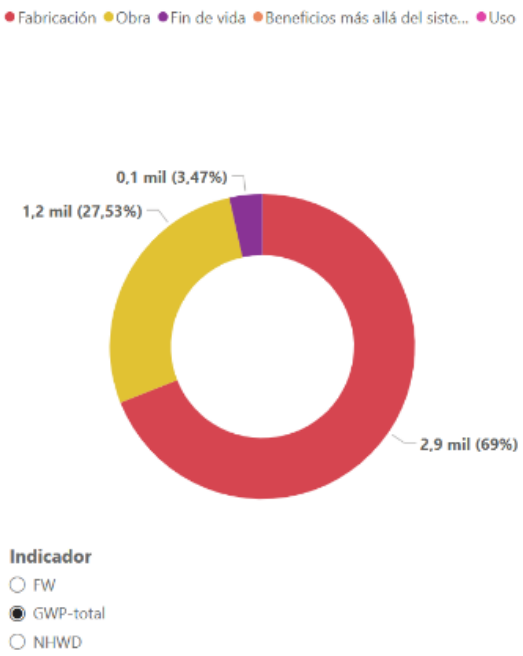


Fig. 5 Ejemplo de reparto por etapa del ciclo de vida. Fuente: Creación propia (2025)

Para un entendimiento de la magnitud de los resultados obtenidos se podría haber mostrado únicamente con la unidad de medida asociada al indicador, pero finalmente se ha optado por relacionarlo con un dato menos especializado, basado en un artículo de investigación publicado en la revista Science, en el cual se indica que por cada tonelada (Tn) de CO_2 equivalente antropogénico se derriten aproximadamente 3 m² de hielo en los cascos polares (Notz et al., 2016).

Como resultado se ha implantado una metodología que permite extraer la información de un modelo de construcción en términos tanto económico como ambiental para poder tomar decisiones de proyecto más consecuentes, en cualquiera de sus fases de diseño. Se medirán indicadores tanto mediante valores absolutos (por ejemplo, kgCOeq totales), como relativos (por ejemplo, kgCO2eq por superficie construida).

5. Conclusiones

Se ha desarrollado una herramienta de cálculo que nos permite conocer el ACV según diferentes indicadores y realizar comprobaciones rápidas comparándolo con un edificio de referencia de mismas características, pero construido virtualmente con materiales genéricos, creados en función de la media del mercado, pudiendo así saber si la decisión de optar por un proveedor u otro afecta positiva o negativamente en los datos de impacto que nuestro proyecto tiene en la sostenibilidad global.

Se espera que la utilización de esta herramienta ayude a contribuir en la concienciación social en cuestiones de sostenibilidad, no solo en términos económicos sino también ambientales, haciendo partícipes a los clientes de su proyecto de ejecución.

Como futura línea de investigación se plantea la posibilidad de vincular la CZ_BibliotecaMateriales con la Biblioteca de alguna casa comercial para disponer de una base de materiales genéricos más amplia, también se cuenta con poder introducir nuevos factores de conversión adaptables al perfil del usuario final, así como realizar una actualización de la herramienta cuando finalmente quede definida la prescripción en el CTE para adaptarla a la Normativa pendiente de aplicación.

BY-NC-SA

Referencias

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA, MITMA (2023). *PLAN BIM en la contratación pública.* Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO (2006). *ISO 14040:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework.* Publicaciones ISO Standards.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO (2006). *ISO 14044:2006 Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines.* Publicaciones ISO Standards.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO (2006). *ISO 14045:2006 Environmental labels and declarations — Type III environmental declarations — Principles and procedures.* Publicaciones ISO Standards.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN, UNE (2012). *UNE-EN 15804:2012+A2:2020 Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.* Publicaciones UNE-EN.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN, UNE (2012). *UNE-EN 15978:2012 Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.* Publicaciones UNE-EN.

PÉREZ SUÁREZ, P. F., ET AL. (2024). “Impacto de la Tecnología BIM en la Eficiencia y Sostenibilidad de Proyectos Arquitectónicos” en *EIDOS, Revista científica en arquitectura y urbanismo.* Edición nº24, publicado el 01 de julio de 2024, p. 145-159.

ARAGÓN, A. y ALBERTI, M. G. (2024). “Limitations of machine-interpretability of digital EPDs used for a BIM-based sustainability assessment of construction assets” en *Journal of Building Engineering.* Volume 96 publicado el 16 de agosto de 2024.

NOTZ, D. y STROEVE, J. (2016). “Observed Arctic sea-ice loss directly follows anthropogenic CO2 emission” en *Science*. Vol. 354, Issue 6313, pg. 747-750.

WORLD GREEN BUILDING COUNCIL, WGBC (2019). *Bringing Embodied Carbon Upfront.* <https://worldgbc.org/article/bringing-embodied-carbon-upfront/> [Consulta: 03 de marzo de 2025].

EUROPEAN COMISSION (2021). *COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2021/2279 of 15 December 2021 on the use of the Environmental Footprint methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32021H2279> [Consulta: 03 de marzo de 2025].

GREEN BUILDING COUNCIL ESPAÑA, GBCE (2024). *El Gobierno de España se compromete a incluir un documento dedicado a la sostenibilidad en la revisión del Código Técnico de la Edificación de 2026.* <https://gbce.es/el-gobierno-de-espana-se-compromete-a-incluir-un-documento-dedicado-a-la-sostenibilidad-en-la-revision-del-codigo-tecnico-de-la-edificacion-de-2026/> [Consulta: 03 de marzo de 2025].

FUNDACIÓN INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CATALUÑA, ITeC (2025). *Base de datos BEDEC.* <https://itec.es/servicios/bedec/?gad_source=1> [Consulta: 03 de marzo de 2025]

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA, UNIR (2024). *Producto mínimo viable (MVP): ¿qué es?.* <https://www.unir.net/revista/empresa/mvp-producto-minimo-viable/> [Consulta: 03 de marzo de 2025]

ECOPLATFORM (2025). *Ecoplatform.* <www.eco-platform.org/epd-data.html> [Consulta: 03 de marzo de 2025]

 BY-NC-SA

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA REHABILITACIÓN DEL PATRIMONIO CULTURAL

Arlanzón-Angulo, María Belén; Burón-Gutiérrez, Pablo; Contreras-Polo, Ana; Rodríguez-Márquez, Gonzalo; Vilaplana-Carbonell, Manuel.
Arquitecto técnico, m.Belen.Arlanzon.a@gmail.com; Arquitecto, pablo.buron@coal.es; Arquitecto, anacoposare@hotmail.com; Arquitecto técnico, aitorm90@gmail.com; Arquitecto técnico, mavicar285@gmail.com .

Abstract

There are currently a large number of buildings listed as assets of Cultural Interest (BIC) that must be preserved for the enjoyment of future generations. Taking as a reference the mudejar Tower of San Nicolás (Coca. Segovia), and using different digital tools included in the BIM methodology, we have created a photogrammetric point cloud (NdP) as a starting point to carry out the different data analyses in a digital environment. With scripts based on Python, the automated recognition of materials and the detection of pathologies in the building envelope have been carried out, and with the help of Artificial Intelligence AI we have obtained hyper-realistic images for use in different heritage promotional actions. The placement of sensors in the building, the processing and management of the data collected, as well as the interoperability between the BIM model and the asset will allow us to monitor the conditions of the building. Conclusion: The implementation of the BIM methodology together with the application of AI offers multiple aids for the predictive and preventive maintenance of our cultural heritage.

Keywords*: HBIM, point cloud, voxelization, photogrammetry, Python, openBIM, data processing, sensory, nerf, business intelligence.*

Resumen

En la actualidad existen un gran número de edificios incoados Bienes de Interés Cultural (BIC) que han de preservarse para su disfrute por generaciones futuras. Tomando como referencia la Torre Mudéjar de San Nicolás (Coca, Segovia), y empleando diferentes herramientas digitales englobadas dentro de la metodología BIM, hemos creado una nube de puntos fotogramétrica (NdP) como punto de partida para realizar los diferentes análisis de datos en un entorno digital. Con scripts basados en Python se ha llevado a cabo el reconocimiento automatizado de los materiales y la detección de las patologías de la envolvente del edificio, y con la ayuda de la Inteligencia Artificial IA hemos obtenido imágenes hiperrealistas para su empleo en diferentes acciones promocionales del patrimonio. La colocación de sensores en el edificio, el tratamiento y la gestión de los datos recogidos, así como la interoperabilidad entre el modelo BIM y el activo nos permitirá realizar un seguimiento de las condiciones del edificio. Conclusión: La implementación de la metodología BIM junto con la aplicación de la IA ofrece múltiples ayudas de cara al mantenimiento predictivo-preventivo de nuestro patrimonio cultural.

Palabras clave: *HBIM, nube de puntos, voxelización, fotogrametría, Python, openBIM, agricultura de datos, sensórica, nerf, business intelligence.*

 BY-NC-SA

Introducción

España cuenta con un vasto patrimonio arquitectónico, con miles de inmuebles catalogados como Bien de Interés Cultural. Su conservación, documentación y gestión representan un desafío fundamental para las administraciones y profesionales del sector. La preservación de estos bienes no solo es clave para la identidad cultural del país, sino que también desempeña un papel crucial en el desarrollo sostenible y la dinamización turística y económica de muchas regiones.

En los últimos años, el desarrollo del HBIM ha supuesto un avance significativo en la documentación, análisis y conservación del patrimonio arquitectónico. Esta metodología, derivada del Building Information Modeling (BIM), permite generar modelos digitales precisos de edificaciones históricas, integrando información geométrica, material y estructural que facilita su gestión y conservación.

A nivel internacional, el HBIM ha sido aplicado en diversos proyectos patrimoniales, demostrando su potencial para optimizar procesos de restauración y mantenimiento. En países como Italia, Reino Unido e Irlanda, se han desarrollado estudios pioneros en modelado paramétrico de elementos históricos, uso de escaneo láser y fotogrametría para la generación de modelos detallados, así como la implementación de sistemas de monitorización del estado de conservación.

En el contexto español, la adopción de HBIM aún se encuentra en una fase de consolidación. Si bien existen proyectos destacados en la digitalización de bienes culturales, su aplicación sigue enfrentando desafíos técnicos y metodológicos, como la interoperabilidad entre diferentes plataformas, la estandarización de bibliotecas paramétricas para elementos históricos y la integración con bases de datos de conservación.

Con el objetivo de contribuir a la evolución del HBIM en España, el presente estudio, se centra en la Torre de San Nicolás, ubicada en la localidad segoviana de Coca. Este proyecto piloto busca aplicar una metodología integral basada en HBIM, con la finalidad de diseñar estrategias de conservación preventiva que optimicen la gestión del patrimonio edificado, proporcionando un marco replicable para futuras intervenciones.

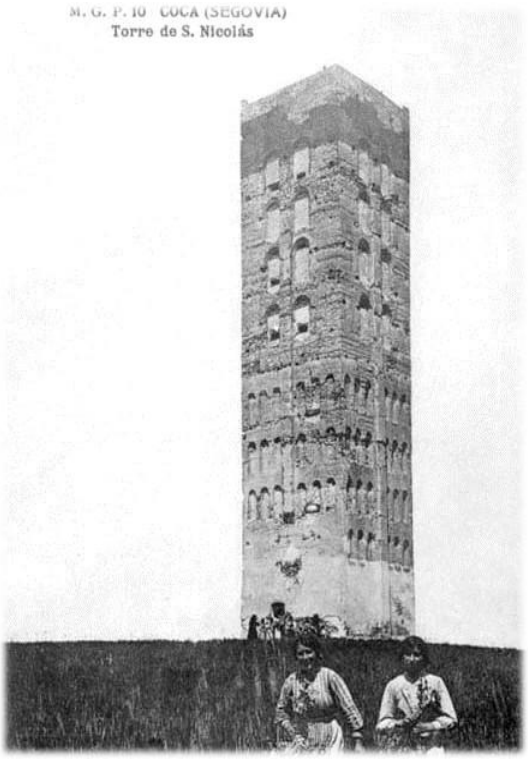


Fig.1 Torre de San Nicolás de Coca (Segovia). Fuente: Gómez-Pineda, Macario (1.932)

BY-NC-SA

A través de esta comunicación, se pretende demostrar la viabilidad y beneficios de HBIM como herramienta clave en la preservación del patrimonio arquitectónico en España, fomentando su adopción en el ámbito académico, institucional y profesional.

1. **Objetivos**

El presente estudio tiene como propósito la aplicación de la metodología HBIM en el proceso de documentación, análisis y conservación de la Torre de San Nicolás. Para ello, se busca en primer lugar la obtención de una nube de puntos precisa mediante el empleo de técnicas avanzadas de fotogrametría, permitiendo la generación de un modelo digital altamente detallado que refleje la geometría y morfología del edificio con un alto grado de fidelidad.

A partir de esta nube de puntos, se pretende desarrollar un modelo BIM que no solo sirva como representación digital de la torre, sino que integre información estructural y patológica, facilitando el análisis del estado de conservación del inmueble. Este modelo permitirá la identificación de deformaciones, irregularidades y posibles patologías a través de comparaciones geométricas y estudios de comportamiento estructural.

Otro de los objetivos fundamentales es explorar las posibilidades que ofrece el modelo HBIM en términos de visualización y difusión del patrimonio arquitectónico. A través de herramientas de renderizado y simulación, se busca generar representaciones visuales avanzadas que permitan la divulgación de los valores históricos y constructivos de la torre, favoreciendo su comprensión y apreciación tanto por especialistas como por el público en general.

Asimismo, el estudio pretende desarrollar un sistema de monitorización en tiempo real que posibilite la actualización y gestión automatizada del modelo digital. La implementación de sensores estructurales y ambientales permitirá la captura continua de datos, los cuales se integrarán en el modelo BIM para facilitar el seguimiento del estado del inmueble y la toma de decisiones en materia de conservación y mantenimiento.

Finalmente, se busca optimizar el acceso a la información generada a través del modelo digital, garantizando que su consulta y análisis no se limiten exclusivamente a usuarios con conocimientos en BIM. Para ello, se plantea el desarrollo de herramientas de análisis y visualización que permitan a investigadores, gestores del patrimonio y otros profesionales acceder de manera intuitiva a la información relevante, promoviendo así un uso más eficiente de los datos generados y facilitando su aplicación en estrategias de conservación.

2. **Metodología**

La metodología adoptada en este estudio se estructura en cuatro fases principales, cada una de las cuales aborda un aspecto clave en la aplicación de HBIM para la conservación del patrimonio arquitectónico.

2.1. **Tratamiento de imágenes, obtención de nube de puntos y extracción de datos e información**

El objetivo principal de esta fase es obtener una nube de puntos detallada de la Torre de San Nicolás y su entorno a partir de imágenes aéreas y terrestres capturadas con dron. Para ello, se aplican procesos avanzados de tratamiento de imágenes, modelado y análisis automatizado con herramientas especializadas que permiten extraer información clave para la conservación y documentación del bien patrimonial.

2.1.1. Desarrollo

Para garantizar la coherencia en la calidad de las imágenes capturadas, se lleva a cabo un tratamiento previo en Adobe Lightroom, ajustando parámetros como la exposición, el contraste y el balance de blancos. Posteriormente, en Agisoft Metashape, se generan dos nubes de puntos diferenciadas: una nube

 BY-NC-SA

georreferenciada del entorno obtenida a partir de imágenes aéreas de alta calidad y una nube de puntos de la torre, sin georreferenciar, obtenida a partir de imágenes terrestres en máxima resolución. Estas dos nubes son fusionadas en CloudCompare, donde la nube de la torre, previamente sin escala ni referencia espacial, se ajusta tomando como base puntos de referencia de la nube del entorno. De esta manera, se consigue un modelo tridimensional preciso y alineado que servirá para la fase de modelado en Autodesk Revit.

Más allá de la simple generación de la nube de puntos, el análisis detallado de la misma adquiere una importancia fundamental en esta fase, gracias a la aplicación de scripts de Python dentro de CloudCompare. En este proceso destaca el uso de Masonry Segmentation, un script desarrollado por la Universidad de Edimburgo específicamente enfocado en la detección y segmentación de mampuestos en fábricas de mampostería. En el caso práctico de la Torre de San Nicolás se ha utilizado para identificar de manera precisa la pérdida de revestimiento continuo en la superficie del edificio, proporcionando una segmentación detallada de las áreas afectadas. Para complementar este análisis, se emplea el script Poisson Surface Reconstruction, que permite la creación de una malla a partir de la nube de puntos previamente segmentada por Masonry Segmentation. Esta malla facilita la cuantificación del área afectada por la patología, proporcionando un dato preciso sobre la extensión del daño y permitiendo futuras comparaciones con modelos sucesivos para evaluar el avance del deterioro o la efectividad de intervenciones de conservación.

Fig. 2 Identificación de patologías con el uso de la script Masonry Segmentation

Además, se implementa el script Canupo, basado en técnicas de machine learning, para la clasificación automática de elementos presentes en la torre y su entorno. Este análisis es crucial para diferenciar los distintos elementos estructurales del edificio, lo que contribuye a una mejor planificación de las estrategias de intervención. Finalmente, la vóxelización mediante Octree optimiza la gestión de la información contenida en la nube de puntos, permitiendo un almacenamiento y procesamiento más eficiente sin comprometer la precisión del modelo.

2.1.2. Resultado

El desarrollo de esta fase ha permitido obtener una nube de puntos de alta precisión que no solo proporciona un modelo tridimensional exacto de la Torre de San Nicolás, sino que también ha facilitado la detección y cuantificación de la patología de pérdida de revestimiento mediante técnicas avanzadas de segmentación y reconstrucción de superficies. La aplicación de Masonry Segmentation ha permitido identificar de manera automática la pérdida de revestimiento, mientras que Poisson Surface Reconstruction ha hecho posible cuantificar con precisión el área afectada. La combinación de estas herramientas con el uso de Canupo para la clasificación de materiales y la optimización mediante vóxelización, aporta un valor

 BY-NC-SA

añadido en el estudio del estado de conservación del monumento y sienta las bases para una gestión más eficiente del patrimonio arquitectónico a través del uso de metodologías HBIM.

2.2. **Modelado BIM y análisis de la Torre**

El propósito de ésta fase es, por un lado, analizar la geometría del edificio a partir de la nube de puntos, contrastándola con la representación de un modelo idealizado, y por otro, desarrollar un modelo digital en entorno BIM, que servirá como base para las siguientes fases del estudio. Este modelo no solo permitirá documentar con precisión el estado actual de la torre, sino que también facilitará la gestión y conservación del bien patrimonial mediante herramientas avanzadas de análisis y simulación.

2.2.1 Desarrollo

Para llevar a cabo el modelado y análisis de la Torre de San Nicolás, se emplea Autodesk Revit como herramienta principal. El primer paso en este proceso es la georreferenciación de la nube de puntos, utilizando como referencia los datos catastrales. Se establece un Nivel 00, que corresponde a la cota 0,00 del proyecto, y un Nivel Relativo en la cota +787 m, permitiendo así una correcta alineación espacial dentro del archivo RVT.

Con la nube de puntos georreferenciada, se procede al análisis geométrico y control dimensional del edificio. Para ello, se genera un prisma simplificado que representa la forma idealizada de la torre, el cual se colorea en azul, mientras que la nube de puntos se representa en rojo. Mediante la realización de secciones horizontales y verticales, así como el análisis volumétrico en 3D, es posible evaluar las desviaciones geométricas del edificio en comparación con su morfología idealizada. Este proceso permite identificar deformaciones estructurales y probables variaciones en la geometría de la torre, proporcionando información clave para su conservación y restauración.

Fig. 3 Análisis geométrico con volumen idealizado de la torre en Revit

En paralelo, se desarrolla el modelo BIM de la torre dentro de Autodesk Revit, tomando como referencia la nube de puntos insertada. Para ello, se generan secciones horizontales en los niveles más representativos del edificio, a partir de las cuales se crean modelos genéricos mediante técnicas de fusión de contornos. Esta metodología permite construir una serie de prismas que reflejan con precisión las irregularidades estructurales de la torre en toda su altura. Una vez definidos estos volúmenes, se procede a la creación de los muros por cara, los cuales constituyen la envolvente del edificio. Posteriormente, se incorporan los elementos de huecos y vanos mediante el desarrollo de una familia adaptativa de vacío, permitiendo representar con exactitud las aberturas en la fachada, incluyendo ventanas y la puerta principal de la torre.

BY-NC-SA

Para garantizar la integración de los datos de la Fase I en el modelo BIM, se incorporan los resultados obtenidos mediante la detección automatizada de patologías con el script basado en Python Masonry Segmentation, así como la cuantificación de superficies afectadas realizada con Poisson Surface Reconstruction dentro de CloudCompare. Para ello, se sigue un procedimiento específico de conversión de formatos, transformando las nubes de puntos de E57 a RCP mediante Autodesk ReCap. Gracias a la georreferenciación previa, estas nubes de puntos pueden ser insertadas directamente en el modelo BIM, alineándose correctamente con los paramentos de la torre. De este modo, se consigue una integración precisa entre la información geométrica obtenida en la Fase I y el modelo tridimensional desarrollado en esta fase, permitiendo un análisis exhaustivo del estado de conservación del edificio dentro del entorno BIM.

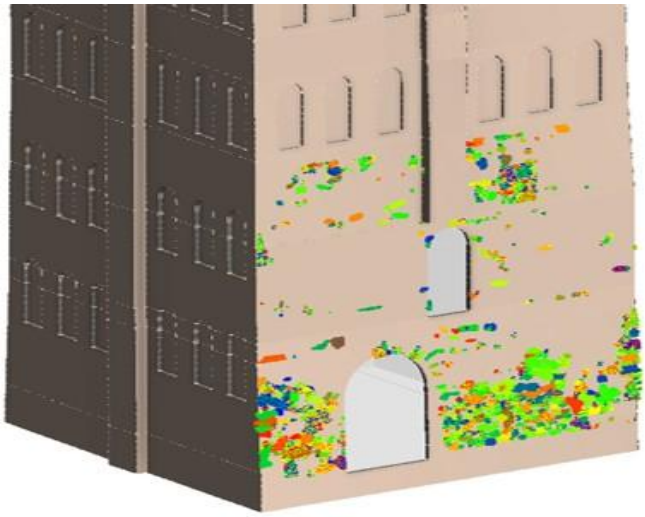


Fig. 4 Modelado de la torre en Revit e integracción de la detección automatizada de patologías

2.2.2. Resultado

El desarrollo del modelo BIM de la Torre de San Nicolás a partir de la nube de puntos ha permitido generar una representación tridimensional precisa del edificio, integrando datos geométricos y estructurales esenciales para su conservación. La combinación del análisis volumétrico, la modelización detallada y la incorporación de los resultados de la detección automatizada de patologías constituye una herramienta fundamental para la gestión y preservación del patrimonio arquitectónico, proporcionando una base sólida para las siguientes fases del estudio.

2.3. **Utilidades y aprovechamiento del modelo BIM**

Afrontando la faceta de explotar el potencial del modelo BIM desarrollado en la Segunda fase para generar representaciones visuales de la Torre de San Nicolás y su entorno, que puedan utilizarse con fines promocionales, comerciales o turísticos. A través de técnicas avanzadas de renderizado y visualización, se busca acercar el valor del patrimonio cultural a la sociedad y facilitar su difusión mediante herramientas digitales.

2.3.1 Desarrollo

A partir del modelo BIM de la torre, se analizan distintas estrategias para optimizar su uso en representación visual. Una de las principales líneas de trabajo en esta fase ha sido la generación de imágenes hiperrealistas y simulaciones interactivas mediante software de renderizado especializado. Para ello, se ha utilizado Twinmotion, un motor gráfico estrechamente vinculado con Autodesk Revit que permite la obtención de renders en tiempo real, facilitando una integración fluida entre el modelo BIM y la visualización final.

 BY-NC-SA

El proceso de renderizado comienza con la recreación del entorno inmediato de la torre, utilizando el parcelario catastral como base para modelar los edificios circundantes en formato DXF. Esta información se incorpora a Autodesk Revit, donde se levanta la volumetría de las construcciones adyacentes respetando su disposición y alturas reales, garantizando una representación fiel del emplazamiento. Posteriormente, el modelo de la torre se vincula a Twinmotion, donde se aplican materiales realistas, texturas detalladas y elementos urbanos como mobiliario, iluminación y vehículos, así como elementos naturales (vegetación, fauna y figuras humanas), con el fin de crear una simulación completa y fotorrealista del conjunto arquitectónico.

Una de las principales ventajas de Twinmotion es su conectividad en tiempo real con Revit, lo que permite que cualquier modificación en el modelo BIM se refleje de inmediato en la visualización. Además, la manipulación de parámetros ambientales como la hora del día y la época del año permite realizar simulaciones de soleamiento, facilitando el estudio del impacto de la luz solar sobre la torre a lo largo del año y su posible influencia en la conservación del edificio.

Fig. 5 Imagen de la Torre y su entorno generada en Twinmotion para studio de soleamiento y difusión

Este tipo de herramientas no solo contribuyen a la documentación y análisis del patrimonio, sino que también mejoran su difusión y accesibilidad, acercando el monumento al público general. Los renders obtenidos pueden emplearse en campañas de sensibilización, proyectos de rehabilitación o estrategias de promoción turística, permitiendo visualizar con gran realismo el estado actual del edificio y su integración en el entorno.

Además del renderizado tradicional, se han explorado técnicas avanzadas de inteligencia artificial para la creación de representaciones visuales automatizadas. Mediante el uso de campos de redes neuronales y Gaussian Splatting, se pueden generar vídeos y presentaciones a partir de un conjunto de imágenes iniciales. En este trabajo, se ha utilizado Luma AI para generar una simulación interactiva de la torre, mostrando su estructura con un nivel de detalle que permite una mejor comprensión y apreciación del edificio.

Por último, el modelo también permite la generación de paseos virtuales inmersivos, proporcionando al usuario la posibilidad de explorar el edificio desde diferentes ángulos y perspectivas, lo que refuerza la conexión emocional con el patrimonio y su valor cultural. Estas representaciones digitales facilitan el acceso a la torre sin necesidad de desplazamiento físico, ampliando su alcance y fomentando una mayor concienciación sobre la importancia de su conservación.

BY-NC-SA

2.3.2. Resultado

El modelo BIM de la Torre de San Nicolás ha demostrado su valor no solo en la documentación y análisis arquitectónico, sino también en la difusión y promoción del patrimonio cultural. Gracias a herramientas como Twinmotion, se han generado imágenes y simulaciones que facilitan su visualización y potencian su uso en estrategias de sensibilización y turismo. Además, la integración de inteligencia artificial ha permitido crear representaciones interactivas, ampliando las posibilidades de exploración digital. Este enfoque refuerza la importancia de la tecnología BIM en la preservación y divulgación del patrimonio, acercándolo al público y fomentando su conservación.

Fig. 6 Representación visual mediante Inteligencia Artificial con el uso de campos de redes neuronales NeRF

2.4. **Monitorización del activo y gestion de datos**

En esta fase, el enfoque principal es la recopilación, integración y gestión de datos para alimentar el modelo BIM con información en tiempo real. Se busca desarrollar un sistema eficiente que permita la automatización del flujo de datos desde sensores instalados en la torre hasta el modelo digital, asegurando precisión y reduciendo la intervención manual. Asimismo, se pretende facilitar el acceso a estos datos a usuarios NO BIM mediante herramientas de análisis y visualización avanzada, como Power BI, mejorando la capacidad de gestión y toma de decisiones.

2.4.1 Desarrollo

La primera etapa del proceso consiste en la adquisición de datos en tiempo real a través de sensores estratégicamente ubicados en la torre, encargados de registrar variables clave para la conservación del inmueble. Para este caso práctico, los datos recolectados se refieren a temperatura, humedad y radiación solar. Estos datos se transmiten mediante un datalogger a una base de datos alojada en Google Sheets, garantizando un almacenamiento estructurado y accesible. Para su integración automática en el modelo BIM, se ha implementado un flujo de trabajo basado en Google Apps Script, permitiendo la sincronización eficiente de la información con Autodesk Revit a través de los plugins DiTootsOne y SheetLink.

Una vez incorporados al modelo, los datos pueden ser analizados dentro de Revit a través de la creación de vistas temporales y la aplicación de filtros dinámicos, lo que posibilita la visualización de tendencias y variaciones en las condiciones estructurales del edificio. Este modelo predictivo y preventivo no solo permite diagnosticar el estado actual del activo, sino que también habilita la planificación estratégica de intervenciones futuras basadas en información objetiva.

BY-NC-SA

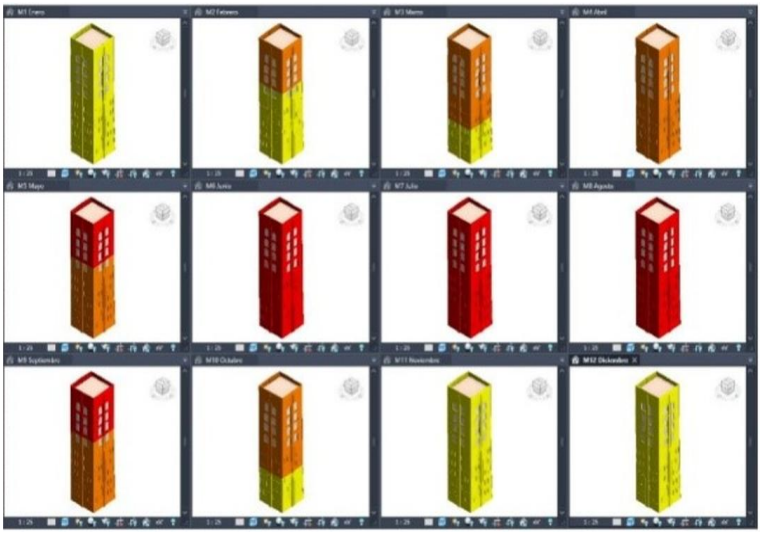


Fig. 7 Análisis de datos y filtros dinámicos por colorimetría aplicados sobre el modelo preventivo y predictivo de la Torre.

Dado que la gestión del patrimonio histórico involucra a múltiples agentes con distintos niveles de formación técnica, se ha desarrollado una interfaz accesible mediante Power BI, facilitando la consulta y el análisis de datos a perfiles NO BIM. Para ello, el modelo 3D ha sido exportado utilizando 3DBI for Revit, permitiendo su integración en Power BI junto con las bases de datos estructuradas en Excel. Este entorno interactivo proporciona una visualización intuitiva y analítica del estado del inmueble, presentando gráficos dinámicos y modelos tridimensionales navegables que permiten evaluar la evolución de las condiciones estructurales sin necesidad de conocimientos en modelado BIM.

A través de esta metodología, se logra no solo democratizar el acceso a la información, sino también optimizar la gestión del activo histórico mediante herramientas avanzadas de análisis y monitorización. La combinación de BIM, automatización de datos y visualización interactiva representa un modelo replicable en otros bienes atrimoniales, estableciendo un estándar innovador para la conservación y mantenimiento de edificaciones históricas.

2.4.2. Resultado

La monitorización del Gemelo Digital de la Torre de San Nicolás representa un avance significativo en la gestión y conservación del patrimonio arquitectónico. La integración automatizada de datos en el modelo BIM, mediante herramientas como Google Sheets, DiTootsOne y SheetLink, permite una actualización continua y precisa del estado del inmueble, minimizando errores y optimizando la toma de decisiones basada en información en tiempo real.

Este modelo predictivo y preventivo facilita la planificación de intervenciones y estrategias de mantenimiento, consolidando el BIM como un recurso clave en la gestión del patrimonio. Además, la implementación de PowerBI y 3DBI for Revit amplía el acceso a los datos a profesionales NO BIM, democratizando la información y permitiendo un análisis visual e interactivo del estado del edificio.

BY-NC-SA

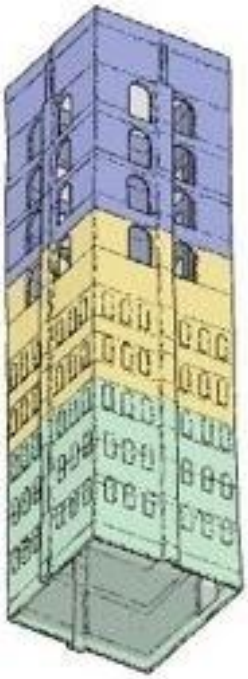


Fig. 8 Representación de la torre en el tablero PowerBI del modelo preventivo y predictivo de la Torre para su uso por roles NO BIM

Con este enfoque, la metodología aplicada en la Torre de San Nicolás sienta las bases para futuras aplicaciones en la conservación y gestión patrimonial, promoviendo una mayor eficiencia en la monitorización de activos históricos y asegurando su preservación a largo plazo mediante la tecnología BIM y el análisis de datos.

3. Conclusiones

La aplicación de la metodología HBIM en la Torre de San Nicolás de Coca ha permitido desarrollar un gemelo digital que trasciende la mera representación arquitectónica para convertirse en una herramienta integral de gestión del patrimonio cultural. A través de la recopilación y procesamiento de datos en tiempo real, este modelo digital ofrece una plataforma accesible y actualizada que facilita la monitorización, conservación y toma de decisiones estratégicas.

Uno de los principales logros de este estudio ha sido la implementación de un sistema predictivo y preventivo basado en el análisis detallado de la geometría, patologías y materiales del inmueble. Mediante la integración de técnicas como Masonry Segmentation, Poisson Surface Reconstruction y Canupo, se han podido identificar, cuantificar y clasificar patologías estructurales, optimizando así la detección de riesgos y la planificación de intervenciones.

La capacidad de simular la evolución la torre en un enfoque temporal y analítico, atendiendo a la planificación de las actividades de reconstrucción, mantenimiento y conservación y permitiendo evaluar distintas fases del edificio. Este enfoque no solo enriquece la comprensión del bien patrimonial, sino que también proporciona una base sólida para la toma de decisiones en proyectos de restauración.

Además, la implementación de herramientas como Power BI y 3DBI for Revit ha democratizado el acceso a la información del modelo, permitiendo que tanto perfiles BIM como NO BIM puedan gestionar y analizar datos de manera visual e interactiva. Este tipo de visualización facilita la comunicación del estado del inmueble a gestores, investigadores y entidades responsables de su conservación.

 BY-NC-SA

Por otro lado, la incorporación de realidad virtual y aumentada amplía las posibilidades de divulgación y sensibilización del público, generando experiencias inmersivas que permiten una mejor comprensión del valor del patrimonio cultural.

Finalmente, este modelo digital sienta las bases para la creación de un catálogo digital de bienes patrimoniales, estableciendo un estándar replicable en futuras intervenciones sobre bienes muebles e inmuebles de valor histórico. La metodología aplicada en este estudio no solo refuerza la capacidad de gestión del patrimonio, sino que también abre nuevas oportunidades para su estudio, conservación y difusión, consolidando un enfoque más sostenible y accesible para el futuro del patrimonio cultural.

Referencias

Brodu, N. y Lague, D. *Portal de descarga de la script Canupo*. <https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php/CANUPO_(plugin)> [Consulta: 10 de mayo de 2024]

Kazhdan, M y Hoppe, H. Portal de descarga de la script Poisson Surface Reconstruction. < https://github.com/mkazhdan/PoissonRecon> [Consulta: 10 de mayo de 2024]

Escudero, P. A. (2023) “Scan-to-HBIM: automated transformation of point clouds into 3D BIM models for the digitization and preservation of historic buildings”. VITRUVIO – International Journal of Architectural Technology and Sustainability, 8(2), p. 52-63. Doi: 10.4995/vitruvio-ijats.2023.20413.

Graham, K.; Chow, L; Fai, S. (2019) “From BIM to VR: defining a level of detail to guide virtual reality narratives” en Journal of Information Technology in Construction (ITcom). Special issue: Virtual, Augmented and Mixed: New Realities in Construction. December 2019, Vol. 24, p. 553-568. DOI: 10.36680/j.itcon.2019.031

Murphy, M., Govern, E. M. y Pavia, S. (2013) “Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture”, ISPRS Joumal o fPhotogrammetry and Remote Sensing. ISSN 0924-27 16.

Antonopoulou, S., y Bryan, P. (2017). Historic England BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model. Swindon. Historic England.

Banfi, Fabrizio (2020). “BIM, 3D drawing and virtual reality for archaeologicalsites and ancient ruins” en Virtual Archaeology Review. Universitat Politècnica de València. 2020. Vol. 11, issue 23, p. 16-33. DOI: 10.4995/var.2020.12416.

Castellano-Roman, M.; Pinto-Puerto, F. S. (2019). “Dimensions and Levels of Knowledge in Heritage Building Information Modelling. HBIM: the model of the Charter house of Jerez (Cádiz, Spain)”. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage. 2019. DOI: 10.1016/j.daach.2019.e00110.

Equipo de investigadores creadores de LUMA AI. *Portal oficial de la herramienta Luma AI.* <https://lumalabs.ai/dream-machine> [Consulta: 7 de julio de 2024]

Equipo de investigadores de la School of Engineering de la Universidad de Edimburgo. Bosché, F. y Valero Rodríguez, E. *Portal oficial de la script Masonry Segmentation*. <https://datashare.ed.ac.uk/handle/10283/3717> [Consulta: 10 mayo de 2024]

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen chatgpt4 en la plataforma https://chatgpt.com/ para ayuda en la redacción a comunicación desde trabajo de TFM.

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación

 BY-NC-SA

AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS PARA LA VALIDACIÓN DE PERMISOS DE CONSTRUCCIÓN. CASO DE ESTUDIO DEL ÍNDICE DE EDIFICABILIDAD

Pérez-García, Ana; Muniz, Bruno; Granja, José; Azenha, Miguel; Martín-Dorta, Norena.
Departamento de Técnicas y Proyectos en Ingeniería y Arquitectura, Universidad de La Laguna (ULL), Avenida Ángel Guimerá Jorge, s/n, 38204, La Laguna, (Tenerife), Spain; aperezga@ull.edu.es, nmartin@ull.edu.es; Department of Civil Engineering, ISISE, ARISE, University of Minho, Guimarães, Portugal; id11378@alunos.uminho.pt, granja@civil.uminho.pt, miguel.azenha@civil.uminho.pt

Abstract

Building permits allow local authorities to enforce existing legal provisions in order to ensure the safety, sustainability and compliance of buildings [1]. Traditionally, their granting has been carried out through a manual process. However, their digitalisation in recent years has facilitated their simplification, making the procedure more efficient, agile, transparent and with less margin for error.

This work addresses the automated validation of the conformity of BIM models with the applicable urban planning regulations. With this objective, and taking the buildability index as a reference, an open source tool is developed in Python that allows the analysis of the geometry of a model in the IFC exchange standard and calculates the gross floor area per level or floor. These values are summed to obtain the total built-up area which, together with the plot area, allows determining compliance with this urban planning parameter. The geometry is read using the libraries IfcOpenShell, which facilitates working with IFC models, and Trimesh, for manipulating and analysing triangular meshes.

***Keywords**: BIM, Digital Building Permits, DBP, openBIM, Open Source, IFC.*

Resumen

Los permisos de construcción permiten a las administraciones locales aplicar las disposiciones legales vigentes, con el propósito de asegurar la seguridad, la sostenibilidad y el cumplimiento normativo de los edificios. Tradicionalmente, su concesión se ha llevado a cabo mediante un proceso manual. Sin embargo, su digitalización en los últimos años ha facilitado su simplificación, haciendo el procedimiento más eficiente, ágil, transparente y con menor margen de error.

Este trabajo aborda la validación automatizada de la conformidad de los modelos BIM con las normativas urbanísticas aplicables. Con este objetivo, y tomando como referencia el índice de edificabilidad, se desarrolla una herramienta de código abierto en Python que permite el análisis de la geometría de un modelo en el estándar de intercambio IFC y calcula la superficie bruta por nivel o planta. Estos valores se suman para obtener la superficie construida total que, junto con la superficie de parcela, permite determinar el cumplimiento con este parámetro urbanístico. La geometría se lee utilizando las bibliotecas IfcOpenShell, que facilita el trabajo con modelos IFC, y Trimesh, para manipular y analizar mallas triangulares.

***Palabras clave:** BIM, Digital Building Permits, DBP, openBIM, Open Source, IFC.*

 BY-NC-SA

Introducción

El sector de la construcción es el segundo mayor ecosistema industrial en términos económicos de los catorce que conforman la Unión Europea (UE). Sin embargo, es uno de los menos digitalizados. Diversos informes señalan como principales causas la falta de flujos de trabajo colaborativo, la escasa inversión en tecnología I+D, la deficiente gestión de la información, la ausencia de mano de obra cualificada, y la insuficiente sensibilización y comprensión de las tecnologías digitales (EU BIM Task Group, 2017; European Construction Sector Observatory, 2021). Esto contrasta con los objetivos de la Estrategia Industrial Europea (European Commission, 2021), que busca acelerar la transición verde y digital para lograr que la industria de la UE sea más competitiva a escala mundial. Las tecnologías digitales optimizan la productividad y reducen la demora en los proyectos, mejorando la calidad de lo construido, su seguridad y las condiciones de trabajo (Papadaki et al., 2023). Si bien es cierto que la digitalización debe involucrar tanto a agentes públicos como privados, el papel que desempeña el sector público en esta transformación es fundamental, estableciendo reglas y liderando el proceso como responsable político, influyendo en el mercado como comprador y administrador de infraestructuras, y digitalizando sus propios procesos como administrador de servicios públicos relacionados con la construcción (European Construction Sector Observatory, 2021). En este contexto se enmarcan los Permisos de Construcción Digital *(Digital Building Permits, DBP),* cuyo objetivo es mejorar la eficiencia en los procesos administrativos y en la ejecución de los proyectos de construcción (Toscano Domínguez, 2024).

Una licencia de obras es la autorización, habitualmente por parte de una entidad local, para la ejecución de un proyecto de construcción (Noardo et al., 2022). Se basa en la aplicación de las medidas establecidas por la ley en relación con el emplazamiento, el diseño, la ejecución y el funcionamiento de la construcción. Su objetivo es garantizar la seguridad, la sostenibilidad y la conformidad de los edificios con la normativa local (Fauth et al., 2024). La concesión de permisos de construcción ha sido, tradicionalmente, un proceso manual que requiere un intercambio extenso de documentación en formato físico, además de la coordinación entre las múltiples partes interesadas (Toscano Domínguez, 2024). Este proceso genera demoras de 6 a 8 meses en aprobaciones, incrementando los costes en un 12-18% según análisis del European Construction Sector Observatory. Gracias a los recientes avances en software y hardware, se ha mejorado la eficiencia en los flujos de trabajo y la gestión de datos. De esta forma, la obtención de permisos de construcción se considera uno de los casos de uso con mayor potencial para la automatización (Noardo et al., 2022). Su digitalización facilita su simplificación, haciendo el procedimiento más eficiente, ágil, transparente y con menor margen de error (Toscano Domínguez, 2024).

Aunque el proceso de concesión de licencias de obras es clave en la configuración del paisaje urbano, los estudios detallados al respecto siguen siendo limitados. Este trabajo tiene como finalidad el diseño de una herramienta para el análisis de la geometría de los modelos BIM en el ámbito de la construcción que permita validar su conformidad con las normas urbanísticas aplicables. En esta fase preliminar de la investigación, se eligió el índice de edificabilidad como caso de estudio. Se creó un *script* en Python para procesar la geometría de un modelo BIM en el esquema de intercambio *Industry Foundation Classes* (IFC) y calcular la superficie bruta por nivel o planta. Los valores obtenidos se suman para obtener la superficie construida total que, junto con la superficie de la parcela, permite determinar el índice de edificabilidad. El procesamiento de la geometría se llevó a cabo mediante el paquete *CheckModel* para Python (Muniz, 2024), mientras que su lectura se realizó con las bibliotecas *IfcOpenShell* (IfcOpenShell Contributors, 2024), orientada a facilitar el trabajo con modelos IFC, y *Trimesh* (Dawson-Haggerty, 2022), para la manipulación y análisis de mallas triangulares.

1. Materiales y Métodos

La metodología empleada se estructura, a grandes rasgos, en tres fases (Fig. 1). La primera consistió en el diseño e implementación de la herramienta, la segunda en la selección del caso de estudio, y la tercera, en las pruebas experimentales desarrolladas.

 BY-NC-SA

Fig. 1 Fases de la metodología empleada. Fuente: elaboración propia

1.1. Fase 1: Diseño e Implementación

La herramienta desarrollada consta de tres módulos principales:

1. **Entrada de Datos:** obtiene superficies catastrales mediante la APIs (INSPIRE) y permite importar modelos BIM en formato IFC.
2. **Procesamiento Geométrico:** utiliza el paquete para Python *CheckModel* para convertir geometrías IFC en mallas triangulares, y *IfcOpenShell* y *Trimesh* para la gestión de los modelos y la realización de cálculos geométricos avanzados, como áreas proyectadas y volúmenes.
3. **Validación Normativa:** compara los resultados calculados con valores normativos establecidos y genera un informe de salida por pantalla en el que se muestra el código de la referencia catastral indicado, la superficie de parcela, la superficie bruta construida, el valor del índice de edificabilidad correspondiente a la normativa urbanística aplicable, y el valor de cálculo del índice.

Índice de edificabilidad

Inicialmente se realizó un estudio general de la normativa urbanística española, con el fin de identificar cláusulas tipo susceptibles de ser sistematizadas semánticamente para su posterior comprobación de forma automatizada. Se seleccionaron cláusulas simples, con un máximo de tres condiciones, relacionadas con las condiciones de habitabilidad de los edificios, incluyendo la altura de las habitaciones, la superficie útil o la anchura de los pasillos. Durante este proceso, también se llevó a cabo un análisis de aspectos como el índice de edificabilidad de las parcelas. Este parámetro urbanístico, definido como la relación entre la superficie construida en un emplazamiento y la superficie total del mismo, se engloba dentro de las condiciones de edificabilidad de una parcela, siendo su cumplimiento un requisito esencial para obtener la licencia de obras. Por esta razón, se tomó como caso de estudio.

Datos catastrales de parcela

Se exploró la posibilidad de obtener las superficies de parcela a partir de una fuente de información confiable. Se seleccionó para ello la base de datos de la Dirección General del Catastro (DGC), el órgano directivo encargado de la planificación, dirección, coordinación, control y ejecución del registro administrativo de los bienes inmuebles rústicos, urbanos y de características especiales de España. La información requerida se encuentra accesible desde la API de los Servicios INSPIRE de Cartografía Catastral (Dirección General del Catastro, 2023). Para su extracción, se empleó un *script* en Python que permite descargar un archivo con datos catastrales, descomprimirlo y cargarlo en memoria. La versión inicial del *script* fue desarrollada en el marco de un convenio entre la Consejería de Obras Públicas, Transportes y Vivienda del Gobierno de Canarias y la Universidad de La Laguna, para la creación de una Herramienta Metodológica de Evaluación del Potencial Fotovoltaico de las Cubiertas de los Edificios para la Generación de Energía. Su función era la descarga de archivos GML *(Geography Markup Language)* para la creación automatizada de volúmenes tridimensionales de edificios. Para el caso del índice de edificabilidad estudiado en este trabajo, se modificaron aspectos del código, de manera que fuese capaz de leer el contenido y realizar búsquedas para mostrar la superficie de una parcela en función de su referencia catastral (ver Fig. 2).

 BY-NC-SA

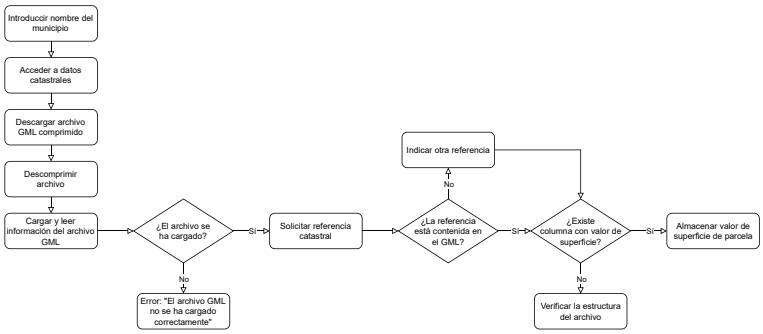


Fig. 2 Diagrama de flujo para la extracción de las superficies de parcela. Fuente: elaboración propia

El acceso a la información catastral requiere, en primer lugar, la identificación del municipio donde se encuentra ubicada la parcela. Para ello, la ejecución del *script* solicita al usuario la selección de un municipio a través de una lista desplegable de opciones. A partir de esta selección, el código recupera los datos catastrales, descarga el archivo GML correspondiente y lo procesa. Tras ello, se solicita al usuario que introduzca la referencia catastral o código de la parcela. Con esta información, el código localiza la parcela dentro del fichero GML, extrae el valor de su superficie y lo almacena para su uso en el cálculo posterior.

Cálculo de superficie construida y validación del cumplimiento del índice

Se diseñó el código para el cálculo de la superficie bruta construida de un edificio a partir de un modelo BIM en la versión IFC4 del estándar. La geometría se procesó con el paquete *CheckModel* para Python, desarrollado por Muniz (2024), generando una malla triangular por cada entidad del modelo. Este proporciona un conjunto de funciones capaces de extraer información clave de los modelos, como el ángulo de las normales, la profundidad de los elementos, el área proyectada y las distancias entre componentes. Tanto *CheckModel* como el código desarrollado en este trabajo utilizan funcionalidades de las bibliotecas *IfcOpenShell* y *Trimesh*. *IfcOpenShell* permite acceder a los elementos del modelo y a sus representaciones geométricas, así como añadir la georreferenciación de las mallas, y consultar entidades según criterios específicos. Por su parte, *Trimesh* permite la creación y manipulación de mallas tridimensionales a partir de los vértices y caras extraídas de las geometrías de los modelos IFC. Para ello, el paquete *CheckModel* hace uso fundamentalmente de las funciones *trimesh.Trimesh()* para generar las mallas, *mesh.apply_transform()* para aplicar transformaciones como rotación, escalado y traslación, y *get_vertices()* y *get_faces()* para gestionar la geometría a través de la manipulación de los vértices y las caras, facilitando su procesamiento y visualización.

Una vez procesada la geometría del modelo IFC, se procedió al cálculo de las superficies requeridas. La distinción entre los diferentes elementos se logró identificando las clases *IfcSpace, IfcWall* y *IfcWallStandardCase.* La obtención de las superficies por planta requirió de la creación de planos de sección horizontales. Para determinar las áreas correspondientes a habitaciones o espacios, los planos se situaron a la altura del centroide de cada nivel. A partir de la función *to_planar()* de *Trimesh* y la propiedad *.area,* la ejecución del *script* proyecta las huellas horizontales de las mallas sobre los planos y calcula la superficie correspondiente a cada proyección. Con el fin de evitar la colisión entre espacios y la suma duplicada de información por superposiciones entre estos (véase la Fig. 3), el código verifica si alguna malla contiene el centroide de otra y viceversa. Para ello, detecta los espacios que forman pares de colisión y excluye del cálculo de superficies el de mayor tamaño (Fig. 4).

 BY-NC-SA

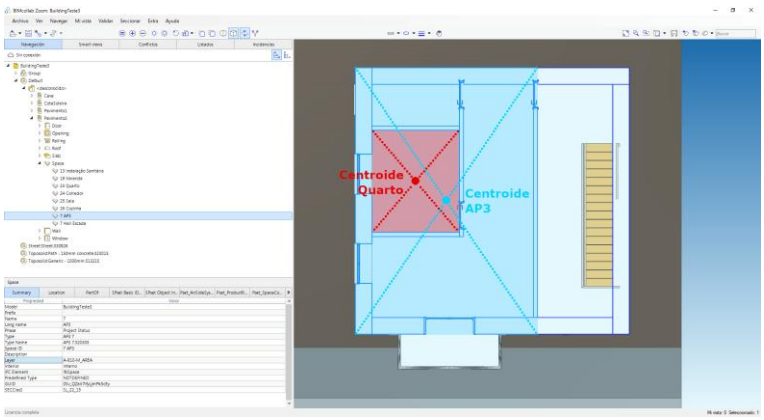


Fig. 3 Ejemplo de superposición de espacios: los centroides de las mallas «quarto» y «AP3» se contienen mutuamente. Fuente: elaboración propia

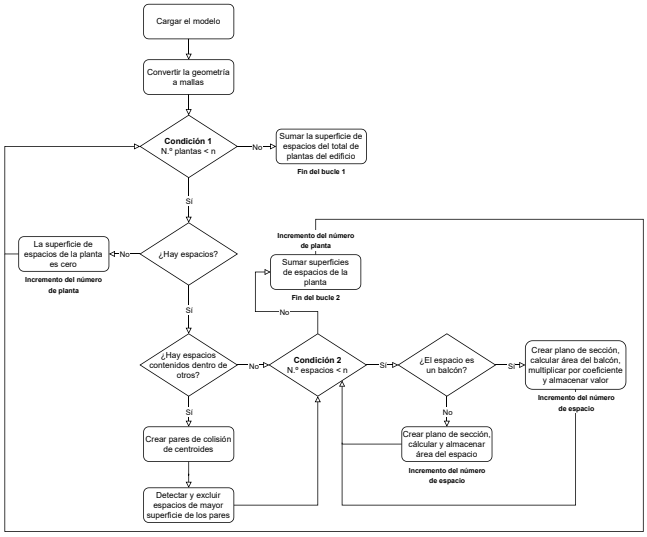


Fig. 4 Diagrama de flujo para la obtención de la superficie de los espacios. Fuente: elaboración propia

Para el cálculo de la superficie de muros y tabiques, la metodología adoptada fue similar a la anterior. Se iteró sobre cada elemento, si bien en este caso se generaron planos de sección a cinco alturas diferentes y se tomó como referencia el valor máximo de área de los cinco obtenidos por elemento (Fig. 5). Este enfoque se adoptó para evitar interferencias con los huecos de carpintería (puertas y ventanas), que podrían dar lugar a una superficie de muro inferior a la real si sólo se utilizara el plano de sección a la altura del centroide.

Además, el código permite la extracción diferenciada de la superficie de los balcones con respecto a la del resto de los espacios interiores del edificio (Fig. 4). Este proceso es clave, dado que, en el cálculo de la superficie construida, la normativa municipal aplicable suele establecer criterios específicos para estos elementos. La identificación de los balcones se materializó gracias a la clasificación de los componentes del modelo según el sistema *Uniclass.* A estos se les asignó el código «SL_45_10_06: Balconies». Una vez determinada su superficie, se ajustó mediante la aplicación de un coeficiente de 0,5, de modo que su contribución al cálculo de la superficie construida representara el 50% de su valor original. Este coeficiente es configurable y podrá ser modificado en función de las restricciones urbanísticas específicas de cada municipio. Una vez calculadas las superficies construidas por planta, incluyendo el ajuste correspondiente para los balcones, el código los suma y aplica la fórmula del índice de edificabilidad (1). Posteriormente, el resultado se compara con el valor establecido en la normativa urbanística aplicable, el cual debe ser definido previamente. De este modo, se valida su cumplimiento.

$$\text{Índice de edificabilidad} = \text{Superficie construida total} / \text{Superficie de parcela} \quad (1)$$

 BY-NC-SA

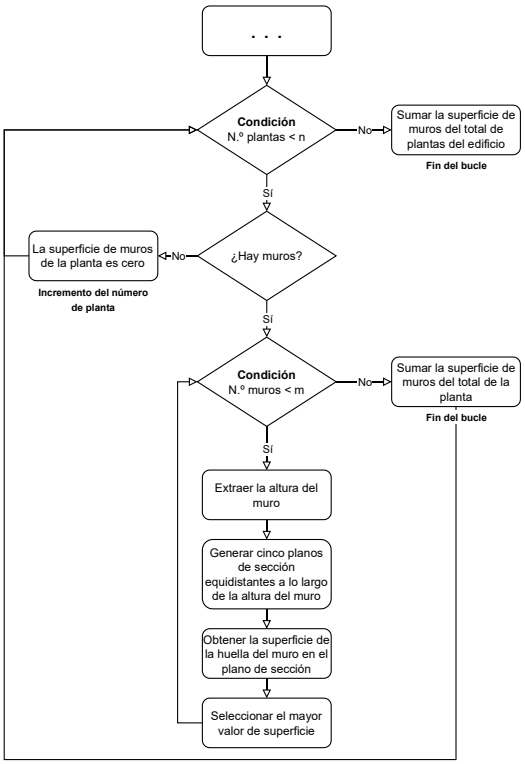


Fig. 5 Diagrama de flujo para la obtención de la superficie de los muros. Iteración a diferentes alturas. Fuente: elaboración propia

1.2. **Fase 2: Caso de estudio**

Para comprobar el funcionamiento del código desarrollado, se creó un modelo arquitectónico utilizando el software de modelado BIM Autodesk Revit. El modelo representa un edificio residencial básico de planta rectangular y cuatro niveles, incluido la cubierta (Fig. 6). Cada nivel contiene dos viviendas, cada una de las cuales consta de un vestíbulo, un pasillo, un comedor, dos dormitorios, una cocina y un cuarto de baño (Fig. 7). Las plantas superiores incluyen balcones que, como ya se ha indicado, deben tratarse por separado del resto de los espacios, ya que su superficie se calcula de forma diferente en función de la normativa urbanística aplicable. Una vez completado, el modelo se exportó a la versión IFC4 del esquema.

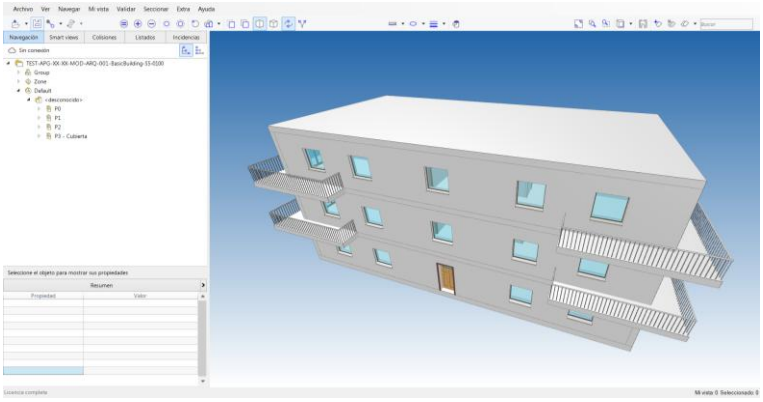


Fig. 6 Modelo de pruebas. Perspectiva. Fuente: elaboración propia

 BY-NC-SA

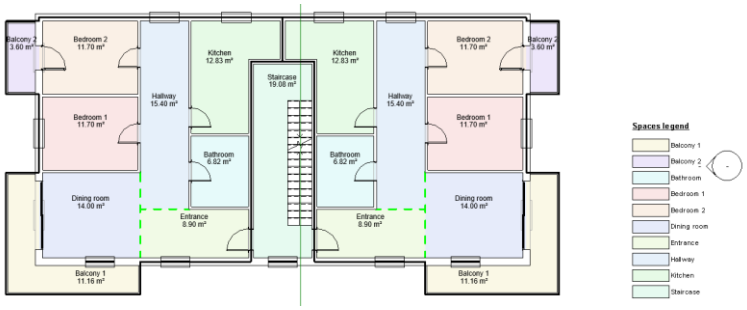


Fig. 7 Modelo de pruebas. Planta tipo. Fuente: elaboración propia

1.3. **Fase 3: Pruebas experimentales**

El *script* creado se ejecuta contra el modelo IFC4 del edificio. Este proceso se repitió varias veces para depurar los errores encontrados tanto en el script como en el propio modelo. En la Fig. 8 se muestra el informe de salida por pantalla que se obtiene al ejecutar la validación normativa del índice de edificabilidad.

Fig. 8 Informe de salida de la validación normativa. Fuente: elaboración propia

2. **Resultados**

La herramienta desarrollada permite la comprobación automatizada del cumplimiento del índice de edificabilidad de una parcela mediante el procesamiento de un modelo IFC. Su implementación ha demostrado ser eficaz en la extracción y análisis de la geometría de los edificios, garantizando la correcta identificación de los elementos constructivos y la clasificación de sus superficies.

Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas evidencian la capacidad del sistema para calcular de manera precisa la superficie construida de cada planta, así como la diferenciación de áreas específicas, como los balcones, cuya consideración en el índice de edificabilidad varía según la normativa urbanística. La clasificación de estos elementos mediante el sistema *Uniclass* ha facilitado su identificación y el ajuste automático de su contribución a la superficie total. No obstante, se han detectado incidencias y puntos de mejora en el código, como la necesidad de diferenciar entre plantas sobre rasante y bajo rasante, ya que estas últimas no computan en el cálculo de la superficie construida. Además, la herramienta ha permitido la comparación eficiente entre el índice de edificabilidad calculado y el valor normativo de referencia, posibilitando la validación del cumplimiento reglamentario de forma ágil y objetiva. Su integración con bibliotecas especializadas, como *IfcOpenShell* y *Trimesh,* ha facilitado el análisis geométrico, mientras que la implementación de algoritmos para la detección de colisiones entre espacios ha mejorado la precisión del cálculo.

Con todo ello, se puede concluir que la herramienta representa un avance significativo en la automatización de la verificación urbanística en entornos BIM, reduciendo tiempos de análisis y minimizando errores en la evaluación de la edificabilidad.

3. **Discusión y conclusiones**

La digitalización de los procesos de validación urbanística representa un desafío crítico para la modernización del sector de la construcción. Este estudio desarrolla una herramienta *open source* en Python que automatiza el cálculo del índice de edificabilidad mediante el análisis de modelos BIM en formato IFC. Utilizando el paquete *CheckModel* y las bibliotecas *IfcOpenShell* y *Trimesh,* el sistema procesa geometrías complejas,

 BY-NC-SA

diferencia elementos constructivos mediante clasificaciones *Uniclass,* y aplica coeficientes normativos a componentes específicos como balcones. Las pruebas con modelos residenciales demuestran una precisión significativa en el cálculo de superficies construidas, validando su eficacia para verificar el cumplimiento de parámetros urbanísticos. La herramienta reduce sustancialmente el tiempo requerido para revisiones manuales, aunque identifica limitaciones en el tratamiento de plantas bajo rasante que requieren ajustes algorítmicos.

La herramienta representa un avance significativo frente a métodos tradicionales y soluciones comerciales cerradas al ser *open source* y altamente personalizable. Su arquitectura modular permite extenderla hacia otros parámetros urbanísticos más complejos, como alturas máximas o retranqueos. Además, su integración con APIs catastrales elimina pasos manuales propensos a errores humanos. La automatización del cálculo del índice de edificabilidad tiene implicaciones directas en la reducción de costes operativos y tiempos administrativos, facilitando la adopción masiva de DBP por parte de municipios con recursos limitados. Su potencialidad para generar informes detallados también mejora la transparencia del proceso regulatorio.

En conclusión, esta herramienta demuestra cómo las tecnologías BIM pueden transformar procesos urbanos críticos como la concesión de licencias, alineándose con objetivos globales hacia ciudades inteligentes y sostenibles.

El trabajo en el ámbito de los Permisos de Construcción Digital está siendo abordado actualmente por diversos proyectos europeos, como el *Change Toolkit for Digital Building Permit* (CHEK). Se trata, por tanto, de un área de gran proyección y con una alta transferencia al sector productivo. El objetivo es continuar con este trabajo, ampliando el análisis a otros parámetros urbanísticos y agregando nuevas funcionalidades que permitan al código extraer de los modelos BIM la información necesaria para efectuar de forma automatizada las comprobaciones urbanísticas pertinentes. Asimismo, se busca optimizar el código desarrollado para que sea compatible con los modelos BIM en sus versiones IFC2x3 e IFC4x3. En particular, se priorizará la compatibilidad con la versión IFC2x3 del esquema, dado su uso frecuente en el contexto de la contratación pública española. Por otro lado, se pretende mejorar el sistema de detección de colisiones entre espacios, evitando la comprobación únicamente a través del centroide. Además, se ampliará la muestra de modelos a probar, tomando como referencia modelos reales extraídos de la Plataforma de Contratación del Sector Público español (Gobierno de España, 2008), lo cual permitirá ajustar la herramienta a las características específicas de estos.

Agradecimientos

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

This work was partly financed by FCT / MCTES through national funds (PIDDAC) under the R&D Unit Institute for Sustainability and Innovation in Structural Engineering (ISISE), under reference UIDB / 04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), and under the Associate Laboratory Advanced Production and Intelligent Systems ARISE under reference LA/P/0112/2020.

Referencias

Dawson-Haggerty, M. (2022). Trimesh documentation. https://trimesh.org/

Dirección General del Catastro. (2023). Servicios INSPIRE de Cartografía Catastral. https://www.catastro.hacienda.gob.es/webinspire/index.html

EU BIM Task Group. (2017). Handbook for the introduction of Building Information Modelling by the European Public Sector. http://www.eubim.eu/handbook/

European Construction Sector Observatory. (2021). Digitalisation in the Construction Sector. Analytical Report. https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45547

Fauth, J., Bloch, T., Noardo, F., Nisbet, N., Kaiser, S. B., Nørkjær Gade, P., & Tekavec, J. (2024). Taxonomy for building permit system - organizing knowledge for building permit digitalization. Advanced Engineering Informatics, 59(December

 BY-NC-SA

2023). https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102312

Gobierno de España. (2008). Plataforma de Contratación del Sector Público. https://contrataciondelestado.es/wps/portal/plataforma

IfcOpenShell Contributors. (2024). IfcOpenShell. https://ifcopenshell.org/

Muniz, B. (2024). CHECKIFC. https://github.com/Muniz1994/CHECKIFC

Noardo, F., Guler, D., Fauth, J., Malacarne, G., Mastrolembo Ventura, S., Azenha, M., Olsson, P. O., & Senger, L. (2022). Unveiling the actual progress of Digital Building Permit: Getting awareness through a critical state of the art review. Building and Environment, 213(February). https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108854

Papadaki, I., Moseley, P., Staelens, P., Horvath, R., Nieto Sanz, O., Lipari, M., Gutierrez Velayos, P., & Vaananen, H. (2023). Transition pathway for Construction. https://ec.europa.eu/docsroom/documents/53854

Toscano Domínguez, M. (2024). La Transformación Digital del Sector de la Construcción. Blog Del Ministerio Para La Transformación D*igital y de La Función Pública*. https://datos.gob.es/es/blog/la-transformacion-digital-del-sector-de-la-construccion

 BY-NC-SA

RETOS Y BENEFICIOS EN LA IMPLANTACIÓN DE GEMELOS DIGITALES A PARTIR DE METODOLOGÍA BIM

Pacheco-Rodríguez, Christian Miguel; **Núñez-Fernández, Mario; Cortés-Pérez, Juan Pedro; Yanza-Pérez, Christian Andrés**.
Investigador en Ciencias y Tecnologías de la Construcción, Departamento de Construcción de la Universidad de Extremadura, cmpachecor31@unex.es; Investigador en Ciencias y Tecnologías de la Construcción, Departamento de Construcción de la Universidad de Extremadura, manunezf@unex.es; Doctor Ingeniero de Caminos Canales y Puentes, Departamento de Construcción de la Universidad de Extremadura, jpcortes@unex.es; Investigador en Ciencias y Tecnologías de la Construcción, Departamento de Construcción de la Universidad de Extremadura; cyanza@alumnos.unex.es

Abstract

The construction sector has begun implementing Digital Twins (DT) through the BIM methodology due to its advantages in treating and transferring information throughout the project life cycle.

As BIM and DT are two independent branches, there are challenges in terms of integration, synchronization, and management of information related to the ability to establish the transfer of information obtained by Internet of Things (IoT) instruments, with the storage and processing of large volumes of data (Big Data), as well as with the management of information for the training of the digital asset through artificial intelligence (AI). In addition, these Industry 4.0 technologies must interact with the multiple data formats in which the BIM methodology is developed.

This communication aims to determine the current level of development of DT-BIM integration in the construction sector. To do so, the difficulties and benefits of DT-BIM interoperability in smart buildings and cities were analyzed in structures linked to the urban water cycle in the exploitation phase.

***Keywords**: Digital Twin, BIM, interoperability, construction, Industry 4.0, IoT, Big Data, IA*

Resumen

El sector de la construcción ha empezado a implementar los Gemelos Digitales (DT) a través de la metodología BIM, por sus ventajas de tratamiento y transferencia de información a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Al ser BIM y DT dos ramas independientes, existen desafíos en cuanto a la integración, sincronización y gestión de la información, relacionados con la capacidad para establecer el traslado de la información obtenida por instrumentos del Internet de las cosas (IoT), con el almacenamiento y procesamiento de grandes volúmenes de datos (Big Data), así como con la gestión de información para el entrenamiento del activo digital por medio de la inteligencia artificial (IA). Además, estas tecnologías de la Industria 4.0 deberán interactuar con los múltiples formatos de datos en los que se desarrolla la metodología BIM.

El objetivo de esta comunicación es determinar el nivel actual de desarrollo de la integración DT-BIM en el sector de la construcción. Para ello, se analizaron las dificultades y beneficios de la interoperabilidad DT-BIM en edificaciones y ciudades inteligentes, así como en estructuras vinculadas al ciclo urbano del agua en fase de explotación.

***Palabras clave**: Gemelo Digital, BIM, interoperabilidad, construcción, Industria 4.0, IoT, Big Data, IA*

 BY-NC-SA

Introducción

La era de la cuarta revolución industrial pone a disposición el uso de múltiples herramientas digitales y tecnologías de vanguardia aplicables en diversos sectores (J. Wu et al., 2020), incluido entre ellos el de la construcción (Martínez-Manso y Delgado-Fernández, 2022). Los gemelos digitales (DT) constituyen una tecnología que incorpora los beneficios de la industria 4.0, que en sectores como el aeronáutico, energético, fabricación y manufactura han demostrado ser ventajosos (Kang y Mo, 2024), debido a la predicción de eventos por medio de simulaciones en múltiples escenarios virtuales, con el objeto de determinar el marco idóneo para reproducirlo en el entorno físico (Shahzad et al., 2022) y con ello favorecer la optimización de recursos tales como energéticos, materiales, etc. (Lam et al., 2024). En cuanto al Modelado de la Información de la Construcción (BIM), (Tikhonova et al., 2022) manifiesta que la generación de DT a partir de la metodología BIM otorga un panorama prometedor en el sector de la ingeniería civil, arquitectura y construcción (AEC). Por otro lado, (Martínez-Manso y Delgado-Fernández, 2022) afirma que los gemelos digitales potenciarán la metodología BIM, gracias a los sistemas ciber-físicos basados en el internet de las cosas (IoT) así como la conectividad entre diversos entornos digitales (hiperconectividad). Un criterio complementario es dado por (Zhao et al., 2022) al manifestar que la industria de la construcción está implementando la tecnología de los DT por los beneficios de gestión, tratamiento, procesamiento y uso de información a lo largo de sus determinadas etapas (diseño, operación y gestión, y mantenimiento). De la misma manera, en nuestro contexto local se ha podido verificar avances en la implementación de DT. Un caso a destacar es el llevado a cabo por el consorcio PROMEDIO adscrito a la Diputación de Badajoz, el cual ha puesto en marcha un importante proyecto para el desarrollo e implantación de DT en las diversas estaciones depuradoras de aguas residuales bajo su gestión.

Esta comunicación tiene como objetivo presentar el nivel de desarrollo actual de la implementación e interoperabilidad BIM – DT. Para ello, primeramente (punto **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) se analizan factores relacionados con el contexto científico contemporáneo que sirva de base para sustentar la comunicación. Acto seguido, se expone (punto 2) los criterios adoptados para la revisión de la información y con ello se presenta el (punto 3) que abarca los criterios estratégicos de la implementación BIM – DT permitiendo entender el estado general en el que se encuentra el nivel de integración. Finalmente, se presentan las conclusiones de este estudio.

1. Situación Actual

1.1. Sistemas ciber físicos e Industria 4.0

La industria 4.0 es la transición, migración y/o reemplazo de procedimientos convencionales hacia la utilización sinérgica de diversas tecnologías emergentes enmarcadas en la infraestructura de la revolución digital (Tao et al., 2022) y (ARUP, 2019):

- Internet de las cosas
- Redes Móviles
- Inteligencia Artificial
- Big Data
- Intercambio máquina a máquina
- Plataformas Sociales
- La Impresión 3D
- Robótica Avanzada y Colaborativa
- Cloud Computing

Del uso compuesto de estas tecnologías se desprenden los sistemas ciber físicos, los cuales conforman la integración de procesos físicos, redes computacionales y circuitos de retroalimentación bidireccional (Gürdür Broo et al., 2022). Los gemelos digitales (DT) constituyen una metodología tecnológica que permite convertir un activo físico en un sistema ciber físico, gracias a su beneficio de obtención y unificación de información para la elaboración, gestión y optimización de infraestructura física (J. Wu et al., 2020) y (Gürdür Broo et al., 2022).

 BY-NC-SA

1.2. **Gemelos Digitales**

La noción de DT fue introducida por primera vez por Michael Grieves en el año 2003 durante una conferencia del ciclo de vida de productos (Tao et al., 2022). Años más tarde este concepto fue finalmente oficializado por el mismo Grieves, definiendo a un DT como un conjunto de construcciones de información virtual que describe completamente un producto físico potencial o real, desde el nivel micro (nivel atómico) hasta el macro (nivel geométrico) y que, en su forma óptima, cualquier información que se pueda obtener de la inspección de un producto fabricado físicamente se puede obtener de su gemelo digital (Grieves, 2014) y (Lo et al., 2021). Un DT debe cuando menos estar compuesto de las siguientes partes (J. Wu et al., 2020) y (Grieves, 2014), (Fig. 1):

1. Un objeto físico real, en espacio real.
2. Un objeto digital, en espacio virtual.
3. Una conexión de datos e información que vincula los dos modelos (Transmisión bidireccional).

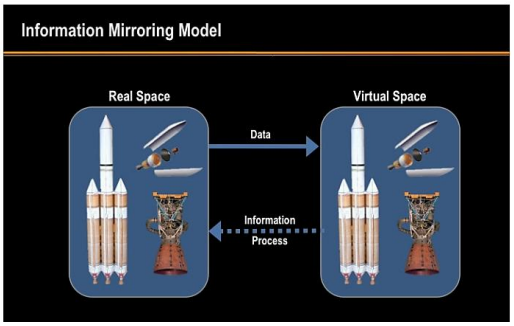


Fig. 1 Esquema básico de un DT. Fuente: (Grieves 2014)

Un criterio parecido es expuesto por (Gürdür Broo et al., 2022) quienes manifiestan que un DT está conformado por tres capas de información: 1) Modelado de activo físico; 2) Flujo informativo de datos a través de sensores y 3) Procesamiento de datos mediante algoritmos basados en inteligencia artificial y aprendizaje de máquina. Es decir, tras el establecimiento y asociación del activo digital con su igual físico, los datos capturados por los sensores (flujo continuo de información) son aunados y almacenados, para ser gestionados con la ayuda de las tecnologías de la industria 4.0 (Liu et al., 2024).

A estas abstracciones, (Tao et al., 2022) añaden que en el entorno virtual el modelado del DT se debe presentar información basada en las singularidades del activo físico, los cuales pueden enmarcarse en cuatro conjuntos: 1) Geometría, que alude a las características posicionales restrictivas del activo físico; 2) Composición, referido a los materiales y propiedades del activo; 3) Monitorización, respecto al control y almacenamiento de datos históricos y 4) Actuación; relacionado con la dinámica de procesos del activo así como el empleo de modelos de predicción, para su eventual toma de decisiones y automejora (Cheng et al., 2024). Un DT, en función de su desarrollo estará enmarcado en uno de seis diferentes niveles de madurez (Hu et al., 2023), desde nivel básico a autónomo, en donde su adscripción dependerá de las características del mismo (Fig. 2).

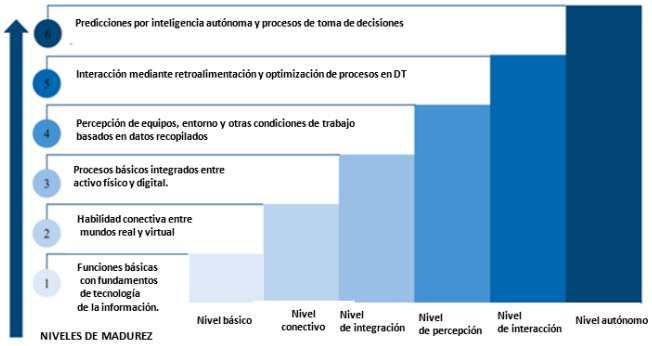


Fig. 2 Niveles de madurez de un DT. Fuente: (Hu et al., 2023)

BY-NC-SA

2. **Metodología**

2.1. **Elección del repositorio digital**

La selección de información se da con el uso del repositorio digital bibliográfico WoS (siglas en inglés de Web of Science), el cual contiene artículos de alta importancia científica desde 1900 hasta el presente (Taylor Editorial, 2024).

Se ha elegido esta base de datos por dos aspectos fundamentales: 1) Porque se puede realizar búsquedas bibliográficas a partir de grupos de términos diferentes, con la posibilidad de asignación de campos particulares tales como autor, título y/o temática, relacionados entre sí mediante criterios booleanos y 2) Porque permite obtener ficheros con listados estratégicos de la documentación analizada.

2.2. **Criterios de búsqueda**

2.2.1. Panorama general

Con el objeto de conocer el alcance y profundidad del nivel de estudios llevados a cabo acerca de la integración DT-BIM en la industria de la construcción, se emplearon 4 operaciones de búsqueda. En el primer algoritmo se empleó las palabras “Digital Twin” y “BIM”, denominadas para este estudio como “criterios básicos”. Con esto, se obtuvieron 758 resultados. Esta primera iteración al ser muy general no fue considerada.

A los “criterios básicos” (suma de los términos “DT” y “BIM”) se añadieron otros términos con el fin realizar búsquedas más específicas. De este modo, se conforman los “patrones generales”, formados por los términos “criterios básicos” + otro término. Así, tendremos el patrón general 1 (PG1), formado por los términos “DT” + “BIM” + “Case of Study”; el patrón general 2 (PG2), formado por los términos “DT” + “BIM” + “IoT”, que son las siglas en inglés de “Internet de las Cosas”; y el patrón general 3 (PG3), formado por los términos “DT” + “BIM” + “Sensors”. A partir de la búsqueda con los términos del PG1 se obtuvieron 195 resultados, en tanto que con PG2 fueron 164 resultados y con PG3, 147 resultados.

2.2.2. Criterios específicos

El siguiente paso consistió en afinar la búsqueda adicionando palabras especificas a los 3 patrones generales. Las denominaciones: patrón general 1, patrón general 2 y patrón general 3 son combinadas con las palabras específicas presentadas en la siguiente lista. Los resultados figuran según el orden patrón general 1,2, y 3.

- “Construction”, se obtuvieron 113, 100 y 68 resultados respectivamente.
- “Structure”, se obtuvieron 33, 22 y 35 resultados respectivamente.
- “Buildings”, se obtuvieron 162, 140 y 128 resultados respectivamente.
- “Smart cities”, se obtuvieron 16, 22 y 16 resultados respectivamente.
- “Water urban cycle” no se obtuvieron resultados en todos los casos.
- “Water”, se obtuvieron 1, 1 y 1 resultado respectivamente
- “Wastewater Treatment Plant” no se obtuvieron resultados en todos los casos.
- “wastewater plants” no se obtuvieron resultados todos los casos.
- “Basin” no se obtuvieron resultados en todos los casos.

2.3. **Revisión y análisis de la bibliografía consultada**

Los datos de búsqueda obtenidos en el repositorio WoS fueron exportados hacia el software Microsoft Excel con el objeto de generar una matriz de registro para la gestión de información evitando redundancias y latencia en cuanto a la revisión y análisis de la documentación. De las columnas que vienen por defecto en

 BY-NC-SA

la exportación se han seleccionado aquellas consideradas trascendentes desde una perspectiva de revisión y análisis (Tabla 1).

Tabla 1 Columnas de repositorio digital WoS escogidas para revisión y análisis de información. Fuente: Elaboración propia

Nombre de la columna de WOS seleccionada	Contenido
Authors	Nombre de los autores
Article Title	Título del documento
Source Title	Fuente o sitio de publicación
Document Type	Tipo de documento
Publication Date	Fecha de publicación
Abstract	Resumen

A más de las columnas presentadas anteriormente se ha considerado añadir 5 columnas que describan: 1) Las palabras claves utilizadas como criterio de búsqueda; 2) Su relevancia, 3) Comentarios, 4) Casilla de descarga (Sí/No); y 5) Cita representativa (Tabla 2).

Tabla 2 Columnas adicionales para análisis y revisión de información Fuente: Elaboración propia

Nombre de la columna agregada	Contenido
Palabras clave	Palabras clave usadas como criterio de búsqueda.
Relevancia	Alcance del documento para el objetivo de la investigación, con valores de 1 (relevancia muy importante), 2 (importante), 3 (moderada), 4 (escasa) y 5 (nula).
Comentario	Apuntes y aclaraciones para resumir el contenido del artículo de acuerdo con el objetivo de la investigación.
Casilla de descarga	Valores booleanos (sí o no) respecto a la descarga del documento.
Cita representativa	Cita que permite determinar el autor y el año del documento en forma resumida

Los criterios adoptados para establecer la relevancia de cada estudio están basados en cuatro ejes multidimensionales y a su vez jerárquicos:

- (1) Congruencia y afinidad de los títulos de los estudios con el tema central *"Retos y beneficios en la implantación de gemelos digitales a partir de metodología BIM"* de tal forma que se pueda obtener información.
- (2) Identificación en el resumen de estudios, la cobertura de brechas de conocimiento afín a la temática.
- (3) Enfoque adicional del resumen respecto al tema central de la temática.
- (4) Presencia de palabras claves que guarden relación en alguna forma con la temática

La ponderación se estableció de forma escalonada, de la siguiente manera:

- Relevancia 1: Cumplir con todos los criterios.
- Relevancia 2: Cumplir con los criterios, 1, 2 y 3.
- Relevancia 3: Criterios 1, 3 y 4.
- Relevancia 4: Al menos uno de los criterios 1, 3 o 4
- Relevancia 5: Cumplimiento de criterios que no pertenezcan a los enmarcados en las relevancias 1 a 4.

Este enfoque sistemático priorizó la alineación teórica, metodológica y terminológica con el foco investigativo.

Luego, se procedió a la verificación y eliminación en el caso que existiera artículos repetidos. Finalmente se unificaron las columnas presentadas en la (Tabla 1) con aquellas expuestas en la (Tabla 2) y se rellenaron los campos faltantes (palabras clave, relevancia, comentario, casilla de descarga y cita representativa).

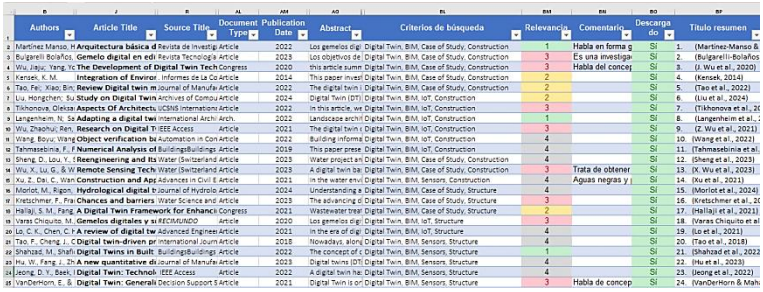
En la (Tabla 3) se presenta el número de documentos revisados en función de las palabras clave utilizadas conjuntamente con su puntaje de relevancia. Aquella documentación con puntaje de 1 o 2 ha sido seleccionados para el análisis en detalle.

 BY-NC-SA

Tabla 3 Palabras clave y grado de relevancia: Nivel 1 hasta 5 de documentación buscada. Fuente: Elaboración propia

Palabras clave	Totales	1	2	3	4	5
Digital Twin, BIM, Case of Study, Construction	113	1	2	2	0	108
Digital Twin, BIM, IoT, Construction	110	1	1	2	2	104
Digital Twin, BIM, Sensors, Construction	68	0	0	1	1	66
Digital Twin, BIM, Case of Study, Structure	33	0	1	1	1	30
Digital Twin, BIM, IoT, Structure	22	0	0	1	1	20
Digital Twin, BIM, Sensors, Structure	35	1	0	1	3	30
Digital Twin, BIM, Case of Study, Buildings	162	1	0	0	1	160
Digital Twin, BIM, IoT, Buildings	140	1	1	0	1	137
Digital Twin, BIM, Sensors, Buildings	128	0	0	0	2	126
Digital Twin, BIM, Case of Study, Smart cities	16	0	0	1	0	15
Digital Twin, BIM, IoT, Smart cities	22	0	0	1	0	21
Digital Twin, BIM, Sensors, Smart cities	16	1	0		2	13
Digital Twin, BIM, Case of Study, Water urban cycle	0	0	0	0	0	0
Digital Twin, BIM, IoT, Water urban cycle	0	0	0	0	0	0
Digital Twin, BIM, Sensors, Water urban cycle	0	0	0	0	0	0
Digital Twin, BIM, Case of Study, Water	1	0	0	0	1	0
Digital Twin, BIM, IoT, Water	1	0	0	0	0	1
Digital Twin, BIM, Sensors, Water	1	0	0	0	0	1
Digital Twin, BIM, Case of Study, Wastewater Treatment Plant	0	0	0	0	0	0
Digital Twin, BIM, IoT, Wastewater Treatment Plant	0	0	0	0	0	0
Digital Twin, BIM, Sensors, Wastewater Treatment Plant	0	0	0	0	0	0
Digital Twin, BIM, Case of Study, wastewater plants	0	0	0	0	0	0
Digital Twin, BIM, IoT, wastewater plants	0	0	0	0	0	0
Digital Twin, BIM, Sensors, wastewater plants	0	0	0	0	0	0
Digital Twin, BIM, Case of Study, Basin	0	0	0	0	0	0
Digital Twin, BIM, IoT, Basin	0	0	0	0	0	0
Digital Twin, BIM, Sensors, Basin	0	0	0	0	0	0
Totales	868	6	5	10	15	832

Finalmente, en la (Fig. 3) se presenta una parte (por motivos de espacio) de la matriz de registro de documentación generada en Microsoft Excel usada para la gestión de la información:



	Authors	Article Title	Source Title	Document Type	Publication Date	Abstract	Criterios de búsqueda	Relevancia	Comentario	Descargado	Titulo resumen	
2	Martínez-Manso, M	**Arquitectura básica d**	Revista de Investig	Article	2022	Los gemelos digi	Digital Twin, BIM, Case of Study, Construction	1	Habla en forma g	SI	1.	(Martínez-Manso &
3	Bulgarelli-Bolaños,	**Gemelo digital en edi**	Revista Tecnología	Article	2023	Los objetivos de	Digital Twin, BIM, Case of Study, Construction	3	Es una investiga	SI	2.	(Bulgarelli-Bolaños
4	Wu, Jiaju; Yang, Yc	**The Development of Digital Twin Tech**	Congress		2020	this article summ	Digital Twin, BIM, Case of Study, Construction	3	Habla del concep	SI	3.	(J. Wu et al., 2020)
5	Kensek, K. M.	**Integration of Environ**	Informes de La Co	Article	2014	This paper invest	Digital Twin, BIM, Case of Study, Construction	2		SI	4.	(Kensek, 2014)
6	Tao, Fei; Xiao, Bin;	**Review Digital twin m**	Journal of Manufa	Article	2022	The digital twin i	Digital Twin, BIM, Case of Study, Construction	2		SI	5.	(Tao et al., 2022)
7	Liu, Hongchen; Su	**Study on Digital Twin**	Archives of Compu	Article	2024	Digital Twin (DT)	Digital Twin, BIM, IoT, Construction	2		SI	6.	(Liu et al., 2024)
8	Tikhonova, Oleksa	**Aspects Of Architectu**	IOSRJNS International	Article	2022	In this article, we	Digital Twin, BIM, IoT, Construction	3		SI	7.	(Tikhonova et al., 2(
9	Langenheim, N; Sa	**Adapting a digital twi**	International Archi	Arch.	2022	Landscape archi	Digital Twin, BIM, IoT, Construction	1		SI	8.	(Langenheim et al., 2
10	Wu, Zhaohui; Ren,	**Research on Digital Tr**	IEEE Access	Article	2021	The digital twin t	Digital Twin, BIM, IoT, Construction	3		SI	9.	(Z. Wu et al., 2021)
11	Wang, Boyu; Wang	**Object verification ba**	Automation in Con	Article	2022	Building informa	Digital Twin, BIM, IoT, Construction	4		SI	10.	(Wang et al., 2022)
12	Tahmasebinia, F.; F	**Numerical Analysis of**	Buildings	Article	2019	This paper prese	Digital Twin, BIM, IoT, Construction	4		SI	11.	(Tahmasebinia et al.
13	Sheng, D.; Lou, Y.;	**Reengineering and its**	Water (Switzerland	Article	2023	Water project an	Digital Twin, BIM, Case of Study, Construction	4		SI	12.	(Sheng et al., 2023)
14	Wu, X.; Lu, G.; & W	**Remote Sensing Tech**	Water (Switzerland	Article	2023	A digital twin ba	Digital Twin, BIM, Case of Study, Construction	3	Trata de obtener	SI	13.	(X. Wu et al., 2023)
15	Xu, Z.; Dai, C.; Wan	**Construction and App**	Advances in Civil E	Article	2021	In the water env	Digital Twin, BIM, Sensors, Construction	4	Aguas negras y	SI	14.	(Xu et al., 2021)
16	Morlot, M.; Rigon,	**Hydrological digital t**	Journal of Hydrolo	Article	2024	Understanding a	Digital Twin, BIM, Case of Study, Structure	4		SI	15.	(Morlot et al., 2024)
17	Kretschmer, F.; Pra	**Chances and barriers**	Water Science and	Article	2023	The advancing d	Digital Twin, BIM, Case of Study, Structure	3		SI	16.	(Kretschmer et al., 2(
18	Hallaji, S. M.; Fang,	**A Digital Twin Framework for Enhanci**	Congress		2021	Wastewater trea	Digital Twin, BIM, Case of Study, Structure	2		SI	17.	(Hallaji et al., 2021)
19	Varas Chiquito, M.,	**Gemelos digitales y si**	RECIMUNDO	Article	2020	Los gemelos digi	Digital Twin, BIM, IoT, Structure	3		SI	18.	(Varas Chiquito et al
20	Lo, C. K., Chen, C. I	**A review of digital tw**	Advanced Enginee	Article	2021	In the era of digi	Digital Twin, BIM, IoT, Structure	4		SI	19.	(Lo et al., 2021)
21	Tao, F., Cheng, J., C	**Digital twin-driven pr**	International Journ	Article	2018	Nowadays, along	Digital Twin, BIM, Sensors, Structure	4		SI	20.	(Tao et al., 2018)
22	Shahzad, M., Shafi	**Digital Twins in Built**	Buildings	Article	2022	The concept of c	Digital Twin, BIM, Sensors, Structure	1		SI	21.	(Shahzad et al., 2022
23	Hu, W., Fang, J., Zh	**A new quantitative di**	Journal of Manufa	Article	2023	Digital twins (DT)	Digital Twin, BIM, Sensors, Structure	4		SI	22.	(Hu et al., 2023)
24	Jeong, D. Y., Baek, I	**Digital Twin: Technol**	IEEE Access	Article	2022	A digital twin ha	Digital Twin, BIM, Sensors, Structure	4		SI	23.	(Jeong et al., 2021)
25	VanDerHorn, E., &	**Digital Twin: Generali**	Decision Support S	Article	2021	Digital Twin is or	Digital Twin, BIM, Sensors, Structure	3	Habla de concep	SI	24.	(VanDerHorn & Mah

Fig. 3. Matriz de registro de información utilizada. Fuente: Elaboración propia

3. **Resultados**

3.1. **Tecnología de gemelos digitales en activos de la industria de la construcción**

La industria de la construcción está dando sus primeros pasos en cuanto a la aplicación de los DT gracias a los beneficios de tratamiento, procesamiento y transferencia de datos en todo el ciclo de vida de un proyecto (diseño, operación, mantenimiento y cierre) (Zhao et al., 2022). No obstante, esto significa un avance si lo comparamos con lo expuesto años atrás por (ARUP, 2019), pues señalaba que los conocimientos acerca de conectividad y predictibilidad en los DT a partir de BIM, son incipientes y no están procedentemente

 BY-NC-SA

definidos. Por otro lado (Ramonell et al., 2023) expone que en nuestra actualidad es necesario aprovechar de manera adecuada la aplicación de DT en la construcción pues estos conceptos enmarcan la transferencia de datos entre el activo físico y virtual, así como permitir adelantarse a resultados en los entornos físicos y calibrar los entornos virtuales, sin olvidar que esto permitirá propiciar proyectos eco sostenibles (Tikhonova et al., 2022).

3.1.1. Gemelos digitales en ciudades inteligentes

Las ciudades inteligentes (smart cities en inglés) incorporan sub-gemelos digitales de los diferentes elementos constitutivos de la ciudad (ARUP, 2019). Así, obras civiles diversas tales como, estaciones aforadoras de tráfico, edificaciones inteligentes, parques inteligentes, estaciones de medición, control de ríos y lagos de la zona de influencia, plantas de gestión de residuos sólidos, estaciones de tratamiento de agua potable, puentes, etc., que tengan implementados las tecnologías de gemelos digitales se unifican formando estas ciudades inteligentes (Jeong et al., 2022).

Respecto a su constitución, (White et al., 2021) alude a que una ciudad inteligente incorpora 6 capas o niveles de información. La aplicación de la metodología BIM sería requerida para la capa 1, 2 e inclusive 3 (Fig. 4).

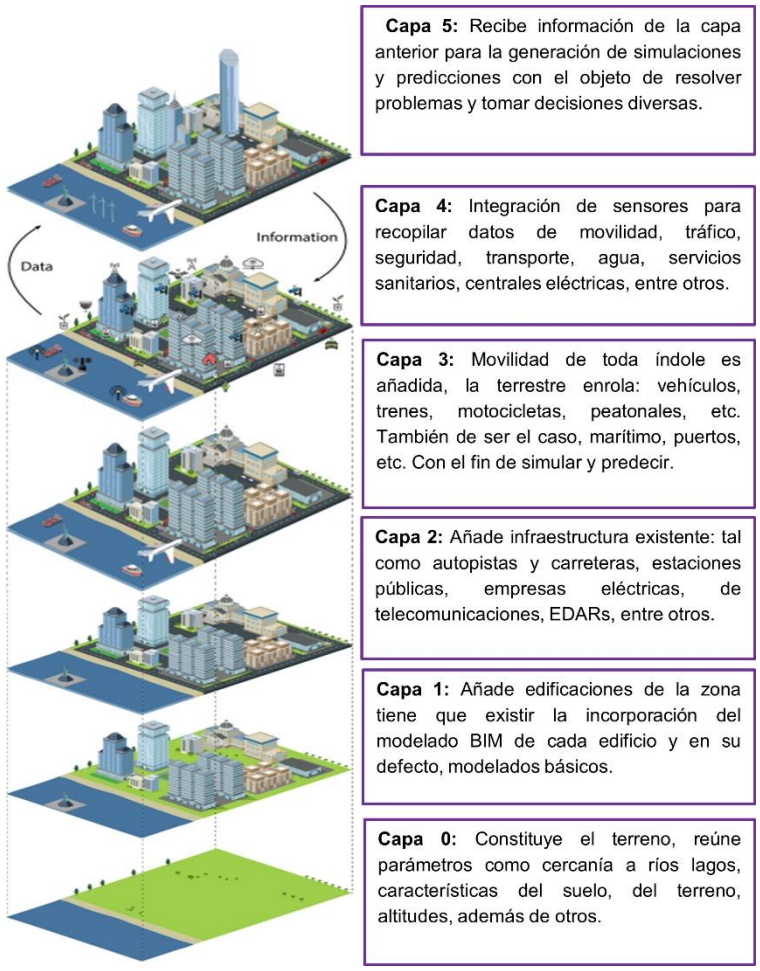


Fig. 4. Capas para la implementación de un DT en una ciudad inteligente. Fuente: Elaboración propia a partir de (White et al. 2021).

La aplicación a un caso de estudio es realizada por (White et al., 2021) en el área de Docklands ubicado en la ciudad de Dublín, que tiene como objeto notificar acerca de problemas en el área, además de otros sucesos como estado actual de tráfico, sistemas de transporte de tal manera que el gemelo digital puede retroalimentarse con dicha información para guardarlo en un histórico de sucesos con los que se puede tomar decisiones diversas como implementaciones de rutas alternas, evacuaciones, sistemas de emergencia entre otros. Una vez implementado dicho gemelo digital, éste realiza simulaciones de

 BY-NC-SA

inundaciones, aglomeración de personas, cálculo de tiempos de evacuación en edificios inteligentes, así como la determinación de la distribución y ocupación de las personas en parques y espacios verdes en diferentes días y variado rango horario. Otro ejemplo lo presenta la Agencia de Desarrollo y Planificación de Boston (Brooks, 2018) que en coordinación con ESRI desarrollaron un DT completo de la ciudad de Boston con el objeto de obtener datos referentes a su expansión, así como llevar a cabo simulaciones predictivas de zonificación además de estudios de sombras e impactos ambientales.

3.1.2. DT de una edificación

(ARUP, 2019) expone el DT de una edificación de oficinas en Tokio, Japón. Esta edificación tiene una extensión de 700 m^2 de área útil. Se instalaron 12 sensores ambientales que miden temperatura, humedad e intensidad lumínica, y 16 sensores de conteo humano, esto, tanto en salas de reuniones y privadas, así como espacios abiertos. También, se instaló una cámara de IA y un dispositivo (llamado sensor pingüino) para analizar emociones, en un espacio determinado cuyo uso se da para diversos eventos.

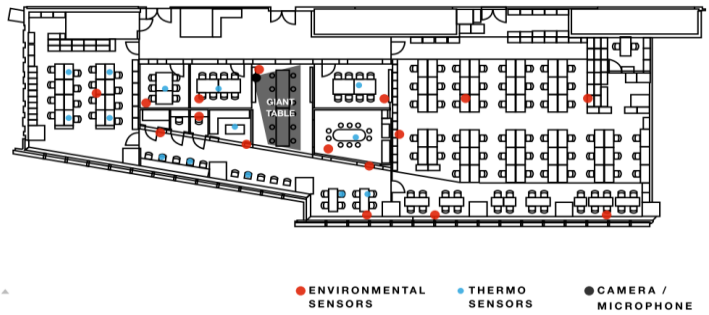


Fig. 5. Distribución de sensores de ambiente (rojo), temperatura (cian), así como cámara y micrófono Fuente:(ARUP 2019)

Los resultados de este DT permitieron la optimización de espacios gracias a la recopilación de datos que mostró la amplia variación en cuanto al grado de uso entre las diferentes áreas de las oficinas, además de ello, se puede determinar con mayor facilidad el estado de desempeño y funcionamiento de los equipos de ventilación (sensores térmicos).

3.1.3. DT en el sector del ciclo del agua urbano

En el punto (2.3), se observó la inexistencia de investigaciones referentes a la implementación de DT a partir de BIM en el sector del agua con un uso de criterios de búsqueda seleccionados. Si esto se compara con el estudio presentado por (Liu et al., 2024) en el que de 8565 documentos digitales analizados en la plataforma WoS, menos de 50 están enmarcados en la ingeniería hidráulica y represas. Analizando las palabras claves utilizadas por (Liu et al., 2024), es razonable esperar que, en cuanto al ciclo urbano del agua, la disponibilidad será mucho menor. No obstante, para implementación de DT en el sector del agua sin el uso de la metodología BIM son menos escasos (Xu et al., 2021) y (Z. Wu et al., 2021).

3.2. **Metodología BIM y sensores IoT para la transferencia de información.**

Un DT debe poseer la capacidad de transmisión de información activo físico - activo digital en forma bidireccional (Ver:1.2) En este sentido, (Martínez-Manso y Delgado-Fernández, 2022) y (Boje et al., 2020) aluden a que los sensores pertenecientes al IoT permitirá la vinculación de los entornos virtual y físico.

Lo antedicho, sugiere que cuando menos, en el envío de información bidireccional, BIM y DT pueden ser analizadas como metodologías complementarias entre sí, secundando lo expuesto por (Shahzad et al., 2022). Esta consideración toma fuerza si se considera el planteamiento descrito por (Tang et al., 2019) en cuanto a que BIM y DT son tecnologías que se superponen generando efectos sinérgicos.

BY-NC-SA

Como es de esperarse, la información enviada a través de los sensores será diversa, tal como emplazamiento, caracteres, atributos físico-químicos, fotográficos, etc. en diversos formatos, ya sean abiertos o nativos (Tang et al., 2019).

Con el almacenamiento de grandes cantidades de información capturada por los sensores y gestionada mediante Big Data, (Kang y Mo, 2024) señala que la IA, será necesaria para el desarrollo de modelados que permitan aproximarse a la predicción de eventos y que en niveles más desarrollados de DT (Ver: Fig. 2) se podrá interceder a lo físico por medio de los entornos virtuales.

3.3. **Principales retos de integración BIM y DT**

Al ser BIM y DT dos tecnologías independientes resulta razonable inferir la existencia desafíos en cuanto a su integración, al respecto (Boje et al., 2020) centra los principales retos en la capacidad para compartir información obtenida por instrumentos adscritos al internet de las cosas además de los múltiples formatos de datos con los que se puede emplear la metodología BIM. A más de ello, (Tao et al. 2022) expone que las investigaciones actuales no propician muchos puntos de partida para emprender un estudio detallado de la interoperabilidad ya que la mayoría de la literatura disponible se centra en marcos y procesos a niveles elementales. No obstante, hasta cierto punto esto es de esperarse ya que la interrelación entre dispositivos IoT (comúnmente usadas en DT) con BIM comprende un campo de investigación relativamente nuevo (Tang et al., 2019).

Un factor determinante que favorecerá la integración de estas tecnologías será analizar criterios que por un lado sienten estrategias para soslayar la realidad actual de estándares y formatos heredados a menudo de dominio privado que socavan el uso y la propagación de la metodología BIM a otros frentes de la industria 4.0 que puedan sobrepasar el estatismo inherente en BIM frente al dinamismo de las tecnologías de DT (Boje et al., 2020)**.**

3.4. **Integración BIM y DT**

La metodología BIM ha sido empleada en su mayoría para la producción y representación tridimensional de infraestructuras, originalmente en formatos nativos y luego extendiéndose a formatos libres denominados “openBIM”, los cuales han significado un avance hacia la integración e interoperabilidad, sumado a esto, los modelos 3D actúan como bases de datos del activo, lo cual constituye un beneficio trascendente de la metodología BIM (Moshood et al., 2024). Según (Shahzad et al., 2022) BIM constituye el factor detonante para impulsar el desarrollo tecnológico en el sector de la construcción. Este criterio es compartido por (Martínez-Manso y Delgado-Fernández, 2022) que manifiesta que gracias a los beneficios BIM de modelación multidisciplinar y colaboración en la nube se propician las condiciones para el desarrollo tecnológico en el sector. En el ámbito de los gemelos digitales (Tao et al., 2022) menciona que para el desarrollo de la geometría del activo digital las tecnologías más utilizadas son la nube de puntos y BIM. El análisis de integración BIM con DT en la literatura ha permitido vislumbrar diferentes perspectivas a menudo contrapuestas. (Shahzad et al., 2022) expone que la literatura presenta tres enfoques en cuanto a la relación BIM – DT. El primer enfoque, alude a que los DT son el paso siguiente a la metodología BIM en términos de evolución tecnológica. El segundo enfoque, manifiesta que BIM y DT son metodologías que se complementan para la obtención de resultados integrados. Y, el tercer enfoque expone que BIM y DT son aspectos totalmente diferentes. De estos tres enfoques, el segundo es secundado por (Kretschmer et al., 2023) quien alude que BIM y DT son metodologías que están estrechamente vinculadas entre sí.

Otros autores son más reticentes respecto a afirmaciones cerradas, por ejemplo (Tao et al., 2022) manifiesta que para lograr la integridad BIM – DT se debe vencer la limitante de estatismo yacente en la metodología BIM, así como promover la interoperabilidad de los elementos constitutivos de DT tales como el internet de las cosas, bases de datos en la nube, y las predicciones vinculadas a la inteligencia artificial, puesto que, como manifiesta (Ramonell et al., 2023) estas tecnologías no han sido diseñadas para que sean vinculables a la metodología BIM.

 BY-NC-SA

En este sentido, (Shahzad et al., 2022) expone la necesidad de determinar caminos ingeniosos que permitan facilitar y viabilizar la unión de estos puntos divergentes, además añade que entre los principales obstáculos a vencer para favorecer la integración BIM – DT, se encuentran la interoperabilidad, el flujo y transferencia de información para conseguir un entorno común de datos integrados.

4. **Conclusiones**

Los DT pueden ser desarrollados bajos diversos criterios metodológicos. Sin embargo, en el sector de la construcción, debido a su factibilidad de trabajo, lo más propicio es desarrollarlos con el uso de la metodología BIM. Para analizar el estado actual de la integración BIM – DT, ha sido necesario averiguar los principios básicos, así como los beneficios potenciales de los DT en el campo de la construcción. Está claro que estas ventajas permitirán obtener un mayor control sobre las diversas fases en una obra civil o de edificación, así como su ciclo de vida.

Este análisis ha sido desarrollado mediante el uso del repositorio de búsqueda WoS, el cual ha sido elegido debido a sus bondades de exportación de información a ficheros de Microsoft Excel que permitan dividir atributos de cada documento de manera estratégica, facilitando el manejo de grandes cantidades de datos. No obstante, con el objeto de discretizar a niveles más profundos la documentación, fue necesario la adición de tres columnas, las cuales fueron ingresadas de forma manual y vinculadas a la matriz obtenida por defecto, permitiendo así un mayor control y ahorro de tiempos de revisión y análisis.

Los resultados mostraron que, aunque las ventajas por la implementación de DT a partir de BIM estarán vinculadas con aspectos estratégicos del proyecto, tales como ahorros de tiempo en la ejecución así como la optimización de recursos en todos los ámbitos en que se aplique el DT, su nivel de implementación actual está aún en niveles muy bajos de desarrollo, existiendo dificultades, sobre todo en cuanto a la interoperabilidad y la comunicación bidireccional entre el gemelo físico con su igual digital. A más de ello, elementos de notable importancia como la gestión de información y modelos predictivos que podrían aplicarse no son citados en los estudios analizados, generándose solamente cuadros teóricos orientados a describir la temática en modo general, y aquella documentación que presenta estudios de casos no ahonda en temas de importancia como calibración de sensores, ensamblaje de modelos, criterios de base de datos, etc.

Este análisis y revisión ha permitido determinar múltiples brechas del conocimiento, y por ende, futuras líneas de investigación que van desde los criterios básicos de la modelación BIM de un proyecto con miras hacia la implementación digital, la intercomunicación bidireccional por medio de sensores IoT, el manejo de información, la recomendación acerca de implementación de bases de datos de series temporales que permitirán albergar datos para usarse en los modelos predictivos así como los patrones específicos pertenecientes a la IA que deberán usarse para una apropiada predicción de los datos obtenidos por los sensores IoT.

Agradecimientos

La presentación de esta comunicación es posible gracias a la contribución brindada por el consorcio PROMEDIO, tanto a nivel técnico como financiero, el cual es otorgado como parte de sus esfuerzos en la incursión de implementación de DT a partir de la metodología BIM en el ciclo urbano del agua.

Referencias

ARUP. (2019). *Digital twin report*. www.arup.com

Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., y Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. En *Automation in Construction* (Vol. 114). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179

Brooks, P. (2018). *Meet Boston's Digital Twin*. Esri Blog Articles.

 BY-NC-SA

Cheng, J. C. P., Zhang, J., Kwok, H. H. L., y Tong, J. C. K. (2024). Thermal performance improvement for residential heritage building preservation based on digital twins. *Journal of Building Engineering*, *82*. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108283

Grieves, M. (2014). *Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication*.

Gürdür Broo, D., Bravo-Haro, M., y Schooling, J. (2022). Design and implementation of a smart infrastructure digital twin. *Automation in Construction*, *136*. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104171

Hu, W., Fang, J., Zhang, T., Liu, Z., y Tan, J. (2023). A new quantitative digital twin maturity model for high-end equipment. *Journal of Manufacturing Systems*, *66*, 248-259. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.12.012

Jeong, D. Y., Baek, M. S., Lim, T. B., Kim, W. Y., Lee, Y. T., Jung, W. S., y Lee, I. B. (2022). Digital Twin: Technology Evolution Stages and Implementation Layers with Technology Elements. *IEEE Access*, *10*, 52609-52620. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3174220

Kang, T. W., y Mo, Y. (2024). A comprehensive digital twin framework for building environment monitoring with emphasis on real-time data connectivity and predictability. *Developments in the Built Environment*, *17*. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100309

Kretschmer, F., Franziskowski, S., Huber, F., y Ertl, T. (2023). Chances and barriers of building information modelling in wastewater management. *Water Science and Technology*, *87*(7), 1630-1642. https://doi.org/10.2166/wst.2023.079

Lam, P. D., Gu, B. H., Lam, H. K., Ok, S. Y., y Lee, S. H. (2024). Digital Twin Smart City: Integrating IFC and CityGML with Semantic Graph for Advanced 3D City Model Visualization. *Sensors*, *24*(12). https://doi.org/10.3390/s24123761

Liu, H., Su, H., y Li, H. (2024). Study on Digital Twin Technologies for Watershed Information Modeling (WIM): A Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis. En *Archives of Computational Methods in Engineering* (Vol. 31, Número 1, pp. 263-289). Springer Science and Business Media B.V. https://doi.org/10.1007/s11831-023-09977-y

Lo, C. K., Chen, C. H., y Zhong, R. Y. (2021). A review of digital twin in product design and development. *Advanced Engineering Informatics*, *48*. https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101297

Martínez-Manso, H., y Delgado-Fernández, T. (2022). Arquitectura básica de diseño de gemelos digitales para la construcción. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, *12*(2), 327-336. https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n2.2022.15275

Moshood, T. D., Rotimi, J. O., Shahzad, W., y Bamgbade, J. A. (2024). Infrastructure digital twin technology: A new paradigm for future construction industry. *Technology in Society*, *77*. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102519

Ramonell, C., Chacón, R., y Posada, H. (2023). Knowledge graph-based data integration system for digital twins of built assets. *Automation in Construction*, *156*. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105109

Shahzad, M., Shafiq, M. T., Douglas, D., y Kassem, M. (2022). Digital Twins in Built Environments: An Investigation of the Characteristics, Applications, and Challenges. *Buildings*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/buildings12020120

Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., y Gao, X. (2019). A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. En *Automation in Construction* (Vol. 101, pp. 127-139). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020

Tao, F., Xiao, B., Qi, Q., Cheng, J., y Ji, P. (2022). Digital twin modeling. En *Journal of Manufacturing Systems* (Vol. 64, pp. 372-389). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.015

Taylor Editorial. (2024, abril 5). *Proceso de evaluación y criterios de selección para revistas en Web of Science*. Taylor Editorial. https://tayloreditorial.com/blogs/criterios-evalucion-revistas-web-of-science

Tikhonova, O., Selikhova, Y., Donenko, V., y Kulik, M. (2022). Aspects Of Architectural Design Using BIM Technologies. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, *22*(1). https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.1.13

White, G., Zink, A., Codecá, L., y Clarke, S. (2021). A Digital Twin Smart City for Citizen Feedback. *Cities*, 2-10. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103064

Wu, J., Yang, Y., Cheng, X. U. N., Zuo, H., y Cheng, Z. (2020). The Development of Digital Twin Technology Review. *Proceedings - 2020 Chinese Automation Congress, CAC 2020*, 4901-4906. https://doi.org/10.1109/CAC51589.2020.9327756

Wu, Z., Ren, C., Wu, X., Wang, L., Zhu, L., y Lv, Z. (2021). Research on Digital Twin Construction and Safety Management Application of Inland Waterway Based on 3D Video Fusion. *IEEE Access*, *9*, 109144-109156. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3101653

Xu, Z., Dai, C., Wang, J., Liu, L., y Jiang, L. (2021). Construction and Application of Recognition Model for Black-Odorous Water Bodies Based on Artificial Neural Network. *Advances in Civil Engineering*, *2021*. https://doi.org/10.1155/2021/3918524

 BY-NC-SA

Zhao, J., Feng, H., Chen, Q., y Garcia de Soto, B. (2022). Developing a conceptual framework for the application of digital twin technologies to revamp building operation and maintenance processes. *Journal of Building Engineering*, *49*. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104028

 BY-NC-SA

CAPÍTULOS ESTUDIANTILES BIM: CASO DE ÉXITO DE Ces.BIM UPN COMO PARADIGMA EN LA FORMACIÓN INTEGRAL BIM

Madera Terán, Ronald; Madera Arnao Yeni
Catedrático Investigador (Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Perú), ronredmt@gmail.com; Ingeniera Investigadora, BWA 2022 (Universidad Privada del Norte, Perú), yeniia2704@gmial.com

Abstract

This research examines the Student Chapter es.BIM of the Universidad Private del Norte (CES BIM UPN) as a self-organized response to curricular deficiencies in BIM methodology. Using a mixed methodological approach, its impact on training, employability and professional development is documented. The results show exponential growth in five semesters, multidisciplinary composition and development of technical and transversal competencies. Participating graduates experienced shorter job placement time (2.9 months) and 70% joined BIM-related positions. The chapter obtained international recognition, generated scientific production and established correlations with five SDGs. During the pandemic, it functioned as an emotional support community. It is concluded that this collaborative pedagogical model constitutes a replicable paradigm for similar university contexts.

Keywords: *BIM, higher education, student chapter, collaborative learning, employability, sustainable development*

Resumen

Esta investigación examina el Capítulo Estudiantil es.BIM de la Universidad Privada del Norte (CES BIM UPN) como respuesta autoorganizada a deficiencias curriculares en metodología BIM. Mediante un enfoque metodológico mixto, se documenta su impacto en formación, empleabilidad y desarrollo profesional. Los resultados muestran un crecimiento exponencial en cinco semestres, composición multidisciplinar y desarrollo de competencias técnicas y transversales. Los egresados participantes experimentaron menor tiempo de inserción laboral (2.9 meses) y 70% se incorporó a puestos relacionados con BIM. El capítulo obtuvo reconocimientos internacionales, generó producción científica y estableció correlaciones con cinco ODS. Durante la pandemia, funcionó como comunidad de soporte emocional. Se concluye que este modelo pedagógico colaborativo constituye un paradigma replicable para contextos universitarios similares.

Palabras clave: *BIM, educación superior, capítulo estudiantil, aprendizaje colaborativo, empleabilidad, desarrollo sostenible*

 BY-NC-SA

Introducción

La revolución digital ha transformado radicalmente todos los sectores productivos a escala global, siendo el ámbito de la construcción uno de los más impactados en las últimas décadas (Eastman et al., 2018). La metodología Building Information Modeling (BIM) emerge en este contexto como un paradigma disruptivo que ha reconfigurado los fundamentos operativos de la industria de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC). Esta transformación, lejos de ser meramente instrumental, constituye una metamorfosis epistemológica en la conceptualización, diseño, ejecución y gestión del entorno construido (Succar, 2009).

La implementación del BIM ha trascendido la simple digitalización de procesos para establecerse como una metodología integral que propicia la colaboración multidisciplinar, optimiza recursos, minimiza inconsistencias proyectuales y reduce significativamente los sobrecostes y dilaciones temporales (Azhar, 2011; Bryde et al., 2013). Este nuevo paradigma ha generado, consecuentemente, una demanda creciente de profesionales dotados de competencias específicas que, paradójicamente, no siempre encuentran correspondencia en los programas académicos universitarios tradicionales (Barison & Santos, 2010).

La brecha entre las necesidades del sector productivo y la formación universitaria en el ámbito BIM constituye una problemática estructural ampliamente documentada (Sacks & Pikas, 2013; Lee & Hollar, 2013). El sistema universitario, caracterizado históricamente por su inercia adaptativa frente a las innovaciones tecnológicas, ha mostrado una insuficiente capacidad para incorporar curricularmente las competencias BIM con la celeridad que el mercado laboral demanda (Rahman et al., 2019). Esta discrepancia formativa condiciona severamente la empleabilidad de los egresados e impacta negativamente en la competitividad del sector (Chegu Badrinath et al., 2016).

Ante esta coyuntura, resulta particularmente significativa la iniciativa emprendida por un núcleo de cuatro estudiantes de la Universidad Privada del Norte (UPN). El génesis de esta iniciativa se remonta a la participación de su líder en el Congreso de Estudiantes de Ingeniería Civil (CONEIC), ahí tuvo su primer contacto con la metodología BIM. Esta experiencia, catalizadora de inquietudes formativas, cristalizó en la constitución del Capítulo Estudiantil BIM (CES BIM UPN), configurándose como una respuesta endógena a las carencias formativas percibidas en su entorno académico inmediato.

La presente investigación se propone analizar exhaustivamente la trayectoria, implementación e impacto del CES BIM UPN como modelo formativo complementario. Su relevancia reside en diversos factores concomitantes: Por una parte, documenta una respuesta proactiva estudiantil frente a deficiencias curriculares institucionales; por otra, evalúa la efectividad de modalidades formativas horizontales y colaborativas en la adquisición de competencias especializadas (Hernandez, 2019); y finalmente, establece correlaciones entre estas iniciativas y parámetros objetivos de empleabilidad sectorial (Miettinen & Paavola, 2014).

El estudio se estructura metodológicamente en tres dimensiones analíticas complementarias: diagnóstica, implementativa y evaluativa. La primera dimensión examina las condiciones iniciales que propiciaron la creación del capítulo estudiantil, con especial énfasis en el análisis curricular y las estrategias de convocatoria implementadas. La dimensión implementativa profundiza en las actividades formativas desarrolladas, las alianzas estratégicas establecidas con entidades del sector y la participación en certámenes competitivos como mecanismo de validación externa. Finalmente, la dimensión evaluativa se centra en el análisis de trayectorias profesionales de los egresados participantes y en la producción investigadora generada en el seno del capítulo (Jin et al., 2018).

Esta investigación trasciende el mero estudio de caso para proponer un modelo replicable que podría contribuir significativamente a mitigar la brecha formativa identificada en múltiples contextos universitarios (Sampaio, 2018). Adicionalmente, establece vínculos explícitos entre estas iniciativas formativas complementarias y diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2015), evidenciando su contribución potencial a metas globales de sostenibilidad.

El presente trabajo constituye, en definitiva, una aportación significativa a la comprensión de las dinámicas educativas emergentes en el ámbito de la formación BIM, documentando científicamente, una respuesta

 BY-NC-SA

autoorganizada frente a desafíos formativos estructurales y evaluando su impacto en términos de empleabilidad y adquisición competencial (Succar & Sher, 2014).

1. **Metodología**

La presente investigación adoptó un enfoque metodológico mixto, estructurado rigurosamente en tres fases secuenciales e interrelacionadas, que permitieron documentar y analizar exhaustivamente el proceso de creación, desarrollo y consolidación del Capítulo Estudiantil BIM de la Universidad Privada del Norte (CES BIM UPN), tal como se muestra en el gráfico 1. El enfoque metodológico adoptado integra elementos tanto cualitativos como cuantitativos, aplicando técnicas mixtas de recolección y análisis de datos para garantizar la robustez de los hallazgos.

Gráfico 1. Metodología de Formación _ Ces.bimUPN. Fuente: Propia

 BY-NC-SA

1.1. **Fase 1: Diagnóstico Situacional**

La fase diagnóstica se inició con un análisis de la malla curricular de las carreras de ingeniería y arquitectura en la Universidad Privada del Norte, evidenciando la inexistencia de asignaturas específicas dedicadas a la metodología BIM.

Esta carencia formativa contrastaba significativamente con la creciente demanda sectorial de profesionales capacitados en BIM, configurando una brecha formativa de carácter estructural.

El catalizador determinante para la creación del capítulo fue la participación de una estudiante en el Congreso de Estudiantes de Ingeniería Civil (CONEIC), donde tuvo su primer contacto significativo con la metodología BIM. Esta experiencia, compartida posteriormente con otros tres compañeros, cristalizó en la decisión de constituir formalmente el CES BIM UPN como respuesta autoorganizada a la deficiencia formativa identificada.

Se procedió a la estructuración organizativa del CES BIM UPN mediante el establecimiento de un organigrama funcional compuesto por cinco unidades operativas complementarias: Consejo Directivo, como órgano rector; Dirección de Planificación, encargada de la programación estratégica; Dirección de Continuidad, responsable de la sostenibilidad temporal de las iniciativas; Dirección de Relaciones Públicas, orientada a la proyección externa; y Dirección de Honor y Justicia, garante del cumplimiento normativo interno.

Entre las dificultades iniciales más significativas que enfrentó el núcleo fundacional, destacaron la escasa difusión del concepto BIM en el entorno universitario, el limitado interés del alumnado general y, particularmente, las restricciones impuestas por el contexto pandémico COVID-19 que imposibilitó las reuniones presenciales y dificultó considerablemente los procesos de captación y formación iniciales. La virtualidad forzosa exigió una adaptación metodológica inmediata, reconfigurando tanto las estrategias comunicativas como los formatos formativos previstos originalmente.

Para superar estas limitaciones, se implementó una estrategia estructurada de generación de una base de datos de potenciales interesados, mediante formularios digitales difundidos a través de redes sociales académicas y grupos estudiantiles preexistentes. Esta estrategia culminó en la realización de una encuesta diagnóstica para evaluar el nivel de conocimientos previos sobre BIM y software Revit entre los estudiantes captados, estableciendo así una línea base para el diseño de las intervenciones formativas posteriores.

1.2. **Fase 2: Implementación y Crecimiento**

La segunda fase metodológica se centró en la ejecución y documentación sistemática de las actividades formativas desarrolladas por el CES BIM UPN. Se establecieron tres ejes de actuación complementarios:

El primer eje consistió en el componente formativo, se materializó mediante un programa estructurado de talleres virtuales sobre BIM (Revit, Navisworks, Dynamo), complementados con webinars especializados impartidos por profesionales del sector. La virtualidad, inicialmente concebida como limitación, se transformó en oportunidad al permitir la participación de expertos internacionales sin restricciones geográficas. Se implementó adicionalmente un sistema de mentoría entre pares, donde miembros con mayor experiencia asumían roles formativos con los nuevos integrantes, consolidando un modelo de aprendizaje colaborativo que trascendía el tradicional esquema vertical docente-alumno.

El segundo eje, se centró en el establecimiento de alianzas estratégicas; constituyó un pilar fundamental para la sostenibilidad del capítulo. Se formalizaron convenios con instituciones sectoriales, empresas tecnológicas y docentes especializados, que posibilitaron el acceso a licencias educacionales de software, oportunidades de certificación y recursos formativos complementarios. Estas alianzas contribuyeron significativamente a la legitimación externa del capítulo y ampliaron considerablemente los recursos disponibles para sus miembros.

El tercer eje se focalizó en la participación en concursos nacionales e internacionales; como mecanismo de validación externa y motivacional. Se implementaron procesos específicos de formación de equipos competitivos, asignando roles específicos según competencias individuales y diseñando programas de capacitación focalizados en los requerimientos particulares de cada certamen. Este enfoque competitivo

 BY-NC-SA

favoreció notablemente el desarrollo simultáneo de competencias técnicas especializadas y habilidades transversales como trabajo en equipo, gestión de plazos, comunicación efectiva y resolución de problemas complejos bajo presión.

La pandemia, presente durante la mayor parte de esta fase, condicionó profundamente las metodologías implementadas, exigiendo una adaptación continua y el desarrollo de estrategias innovadoras para mantener la cohesión grupal y el compromiso participativo en un contexto de aislamiento físico. Esta adversidad contextual propició, paradójicamente, el fortalecimiento de capacidades adaptativas y resilientes entre los miembros del capítulo.

1.3. **Fase 3: Evaluación de Impacto y Resultados**

Esta fase metodológica se centró en la medición del impacto del CES BIM UPN en múltiples dimensiones. Implementando un sistema de seguimiento de los logros tangibles obtenidos, documentando los premios y reconocimientos alcanzados en competiciones, así como el crecimiento cuantitativo del capítulo en términos de miembros activos y alcance de sus actividades. Tal como se muestra en el gráfico 2.

Considerando lo anterior, la primera dimensión, evaluó el impacto en la empleabilidad, mediante una encuesta a profesionales egresados que participaron activamente en el capítulo, encontrándonos con un porcentaje que continuó con su camino en BIM y otro porcentaje que no. Se pudo conocer el aporte que el capítulo tuvo en la inserción laboral de estos profesionales.

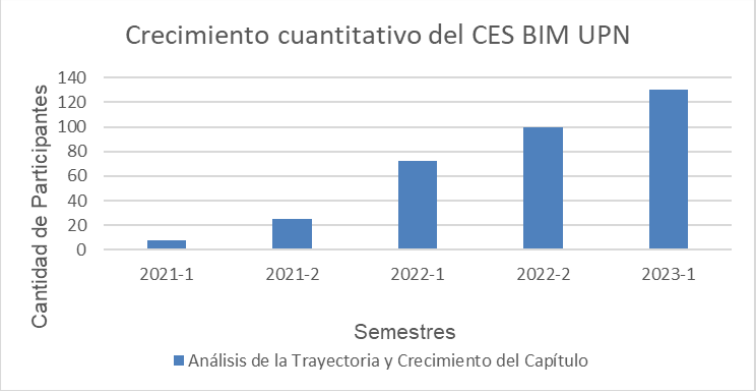


Gráfico 2. Crecimiento cuantitativo del CES BIM UPN. Fuente Propia

La segunda dimensión analizó los reconocimientos externos obtenidos, documentándose exhaustivamente los premios y distinciones alcanzados en concursos y certámenes, y evaluando su impacto en términos de visibilidad, prestigio y oportunidades subsecuentes para el capítulo y sus integrantes.

La tercera dimensión evaluó el incremento cognoscitivo en metodología BIM, mediante comparativas entre los resultados de las encuestas diagnósticas iniciales y evaluaciones finales de conocimientos, complementadas con análisis de aplicación práctica en proyectos desarrollados. Cabe resaltar que no solo se tuvo un incrementó de conocimiento técnico, sino también distintas habilidades que se diferenciaron de acuerdo al rol y funciones que cumplían los integrantes.

La cuarta dimensión analizó la producción investigadora generada, documentándose tesis, artículos y comunicaciones científicas desarrolladas por miembros del capítulo en relación con la metodología BIM, evaluándose su impacto académico y profesional.

Adicionalmente, se documentó el impacto no previsto inicialmente que el capítulo tuvo como comunidad de soporte emocional durante el periodo pandémico, registrándose testimonios y evidencias de cómo las actividades desarrolladas contribuyeron a mitigar los efectos psicológicos del aislamiento, generando sentido de pertenencia y apoyo mutuo en circunstancias extraordinariamente adversas.

Un aspecto metodológico innovador fue el establecimiento de correlaciones explícitas entre las actividades e impactos del CES BIM UPN y diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030. Se

 BY-NC-SA

documentaron específicamente las contribuciones a los ODS 4 (Educación de Calidad), ODS 5 (Igualdad de Género), ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico), ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y ODS 17 (Alianzas para Lograr los Objetivos), estableciéndose indicadores específicos para cada correlación.

Finalmente, se evaluó el potencial de replicabilidad del modelo implementado, documentándose las condiciones facilitadoras, obstáculos enfrentados y factores críticos de éxito que deberían considerarse para su transferencia a otros contextos universitarios.

La triangulación metodológica implementada, combinando análisis cuantitativos y cualitativos, y la documentación sistemática de cada fase del proceso, permitieron obtener una comprensión holística del fenómeno estudiado, garantizando la validez científica de los hallazgos presentados en esta investigación.

2. **Resultados**

2.1. **Evolución de Ces.BIM UPN y Diagnóstico Inicial**

El crecimiento cuantitativo del CES BIM UPN mostró una trayectoria ascendente sostenida, iniciándose con 8 miembros de la Carrera de Ingeniería Civil, en el período fundacional (2021-I), hasta alcanzar más de 150 participantes activos, en el período evaluado más reciente (2023-I), lo que representa un incremento exponencial, en cinco semestres académicos. Como se puede observar en el gráfico 2. Además, el ciclo 2023-I, los integrantes eran provenientes de Ingeniería Civil y Arquitectura, logrando observar que 29.5% eran pertenecientes a Arquitectura y el 70.5 % pertenecientes a Ingeniería Civil, lo que facilitaba al capítulo porque se tenía dos perspectivas para abordar la metodología BIM, tal como se muestra en el gráfico 3. Abarcando además diferentes ciclos y sedes, volviendo la virtualidad a raíz de la pandemia una oportunidad.

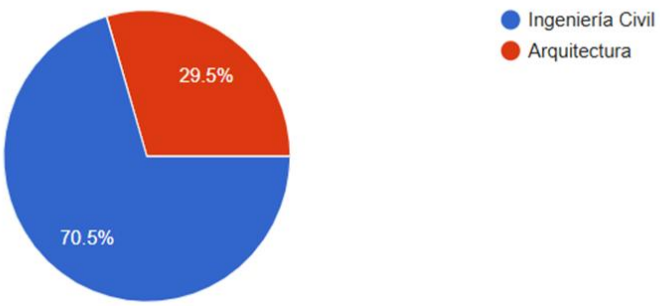


Gráfico 3. Comparación de Integrantes por carrera. Fuente Propia

El análisis de la malla curricular de las carreras vinculadas al sector AEC en la Universidad Privada del Norte reveló una ausencia significativa de contenidos formativos relacionados con la metodología BIM. Esta carencia contrastaba notablemente con los requerimientos del mercado laboral contemporáneo, donde las competencias BIM se habían posicionado como factor diferencial en los procesos selectivos. La encuesta diagnóstica inicial, aplicada a 25 estudiantes de diversas facultades, evidenció que un 72% de los encuestados manifestaba haber escuchado sobre BIM, mientras que un 28% reconocía desconocer completamente esta metodología, (Ver Gráfico 4 y 5). A su vez se evidenció que más del 50% que escuchó sobre BIM, entendían a esta como un software, lo que nos dio a entender de que más del 50 % no tenía conocimientos básicos sobre Metodología BIM. pese a su relevancia sectorial.

BY-NC-SA

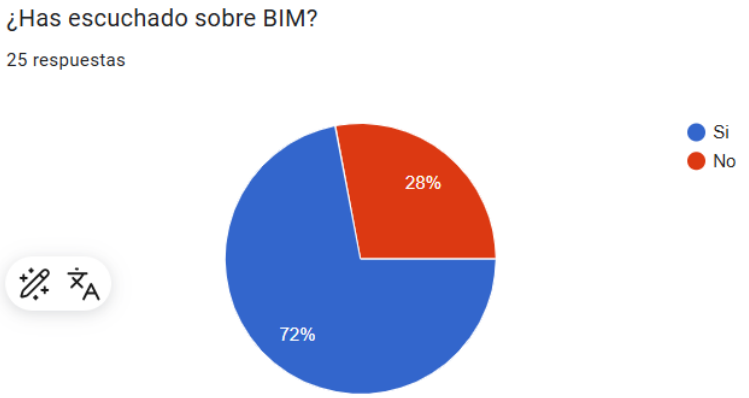


Gráfico 4. Encuesta diagnóstica sobre BIM. Fuente Propia

Gráfico 5. Encuesta diagnóstica sobre BIM. Conceptos básicos. Fuente Propia

2.2. **Impacto formativo y desarrollo de competencias**

Los resultados de las evaluaciones comparativas pre-post evidencian un incremento significativo en las competencias técnicas específicas relacionadas con la metodología BIM, como gestión de proyectos BIM, Uso de BIM 360/ Navisworks, Dynamo, Presto. (Ver gráfico 6).
El dominio de software Revit mostró un incremento promedio de 2 puntos en una escala decimal entre la evaluación inicial y final.

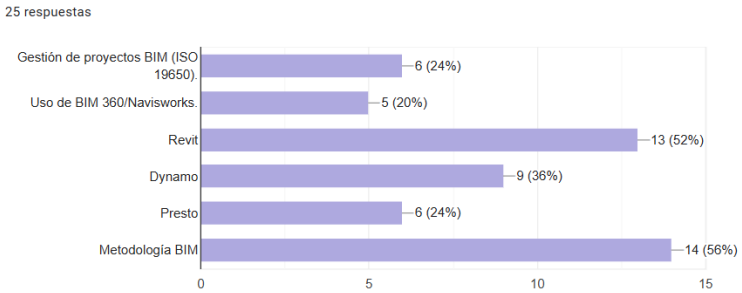


Gráfico 6. Habilidades Técnicas que obtuviste o mejoraste en Ces.BIM UPN . Fuente Propia

Paralelamente a las competencias técnicas, se evidenció un desarrollo significativo de habilidades transversales entre los participantes del CES BIM UPN, en competencias como trabajo en equipo, comunicación efectiva, resolución de problemas complejos y capacidad de liderazgo, que varían de acuerdo al rol y funciones que cumplían. Estos hallazgos refuerzan la hipótesis de que las metodologías de aprendizaje colaborativo implementadas favorecen simultáneamente el desarrollo de competencias técnicas y transversales. (Ver Gráfico 7)

BY-NC-SA

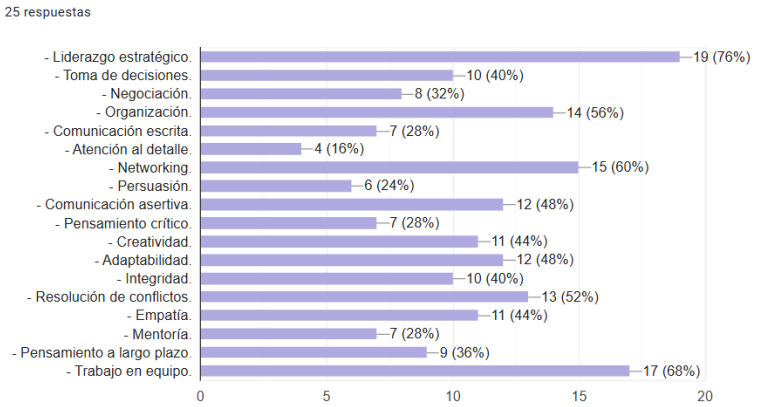


Gráfico 7. Habilidades blandas obtenidas tras participar en Ces.BIM UPN. Fuente Propia

2.3. **Impacto en la empleabilidad y trayectoria profesional**

El seguimiento longitudinal de 20 egresados que participaron activamente en el CES BIM UPN durante al menos dos semestres académicos reveló indicadores de empleabilidad positivos, considerando que el 70% de los egresados participantes se incorporó a puestos directamente relacionados con BIM, en cuanto al otro 30% mencionan que descubrieron su pasión en otra área, o que se presentó la oportunidad de trabajar en puestos que no están directamente relacionados BIM, pero resaltan que las habilidades obtenidas en el capítulo son un punto diferencial, en el área en que se encuentren (ver gráfico 8). Los egresados valoran que el Ces. BIM UPN, contribuyó en su inserción laboral no solo en un aspecto técnico sino también en las habilidades blandas que pusieron en práctica en su entorno laboral, además confirman que a la actualidad se siguen capacitando en BIM, gracias a las alianzas estratégicas que tenía el capítulo.

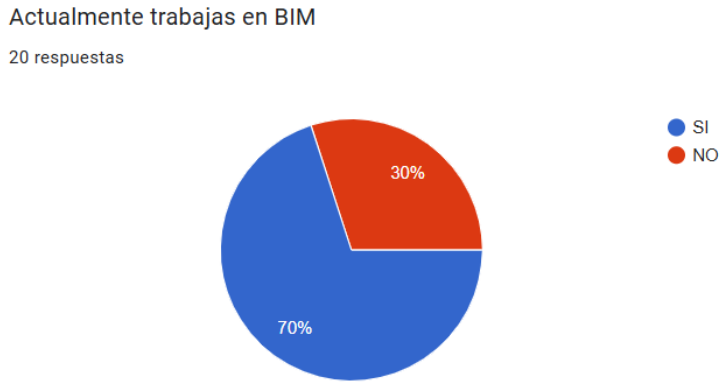


Gráfico 8. Egresados que actualmente trabajan en BIM Fuente Propia

2.4. **Reconocimientos y premios obtenidos**

El CES BIM UPN obtuvo el tercer lugar como mejor capítulo BIM en CINABIM (Congreso Nacional de Aplicación BIM en la construcción) y el BIM Women Awards 2022 un concurso latinoamericano que busca visibilizar la participación de la mujer, el líder capítulo, obtuvo el primer lugar en categoría estudiantes con el proyecto: “Infraestructuras del S. XXI Automatización de carreteras con BIM”. Estos reconocimientos no solo validaron externamente la calidad formativa del programa, sino que contribuyeron significativamente a la visibilidad institucional del capítulo y a la motivación de sus integrantes.

2.5. **Impacto en la investigación académica**

Se documentaron trabajos de fin de carrera (tesis) desarrollados por miembros del capítulo sobre temáticas directamente relacionadas con la metodología BIM. Adicionalmente, se generaron 1 artículo de investigación publicados en revistas especializadas y 1 comunicación presentada en congresos sectoriales.

 BY-NC-SA

2.6. **Relación con Objetivos de Desarrollo Sostenible**

El análisis del impacto del CES BIM UPN en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible permitió establecer relaciones significativas con cinco ODS específicos:

- ODS 4 (Educación de Calidad): El capítulo contribuyó directamente a la mejora de la calidad educativa mediante la implementación de programas formativos complementarios, generando oportunidades de aprendizaje permanente y desarrollo de competencias técnicas relevantes.
- ODS 5 (Igualdad de Género): La evolución hacia la paridad de género en un sector tradicionalmente masculinizado y la implementación de políticas activas de equidad en la asignación de responsabilidades directivas evidencian su contribución a este objetivo.
- ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico): Los indicadores de mejora en empleabilidad y las condiciones laborales favorables obtenidas por los egresados participantes reflejan su aportación a este objetivo.
- ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura): La capacitación en metodologías innovadoras para el sector de la construcción y el desarrollo de proyectos focalizados en la optimización de infraestructuras muestran su vinculación con este objetivo.
- ODS 17 (Alianzas para Lograr los Objetivos): El establecimiento de alianzas estratégicas multisectoriales que posibilitaron el acceso a recursos formativos avanzados evidencia su contribución a este objetivo transversal.

2.7. **Percepción de impacto en pandemia**

Un hallazgo no anticipado inicialmente fue el significativo papel que el capítulo desempeñó como comunidad de soporte durante el período pandémico. El análisis de los testimonios recopilados mediante entrevistas semiestructuradas a 32 miembros activos durante dicho período evidenció que el 93,7% de los entrevistados valoraba positivamente el sentido de pertenencia y apoyo emocional proporcionado por el capítulo en circunstancias de aislamiento. Los participantes destacaron especialmente cómo las actividades colaborativas virtuales estructuradas contribuyeron a mantener rutinas constructivas y a mitigar los efectos psicológicos adversos del confinamiento.

3. **Discusión y Resultados**

Esta sección analiza cómo el Capítulo Estudiantil BIM de la Universidad Privada del Norte ha influido en la formación profesional de sus miembros. El análisis se organiza en varios ejes que muestran el impacto del capítulo en el desarrollo académico y profesional de los estudiantes, basándose en lo documentado entre 2021-1 y 2023-1.

3.1. **Capítulo estudiantil como respuesta a deficiencias curriculares institucionales**

El CES BIM UPN nació para cubrir necesidades formativas específicas que no estaban contempladas en el plan de estudios de pregrado. Durante nuestra investigación comprobamos que no existían asignaturas dedicadas específicamente a la metodología BIM dentro del itinerario oficial, lo que generaba un desfase importante entre lo que se enseñaba y lo que el sector de la construcción demandaba.

Esta carencia quedó clara en las entrevistas a estudiantes, donde muchos confundían BIM con un simple software, demostrando un conocimiento muy limitado sobre sus verdaderas aplicaciones. Esto confirma lo que ya señalaron Sacks (2013) y Barison (2018) sobre los vacíos formativos en muchas universidades respecto a BIM.

La respuesta estudiantil fue efectiva: se organizaron talleres para cubrir estas lagunas, empezando con "Introducción a la metodología BIM" para aclarar la diferencia entre herramienta y metodología, antes de pasar a aplicaciones más complejas. Esta formación complementaria ayudó a reducir la brecha identificada, en línea

 BY-NC-SA

con lo que Liu (2016) observó sobre cómo implementar formación BIM cuando el plan de estudios oficial todavía no la incluye adecuadamente.

3.2. **Aprendizaje colaborativo y desarrollo de competencias transversales**

El modelo formativo del CES BIM UPN, basado en el aprendizaje colaborativo y la mentoría entre compañeros, tuvo un impacto notable en el desarrollo de competencias técnicas y transversales. El estudio se realizó con 25 estudiantes que fueron evaluados al inicio en 2021-2 y posteriormente en 2023-1, para ver su evolución.

Aunque la muestra pueda parecer pequeña, representa el grupo principal de participantes que vivieron todo el proceso desde el inicio del capítulo hasta su consolidación, lo que permite ver su desarrollo a lo largo del tiempo. Además, estos estudiantes formaron la base sobre la que se construyó la estructura organizativa que luego se amplió.

Las habilidades transversales se manifestaron concretamente a través del desempeño de los participantes en los distintos roles que asumieron dentro del capítulo:

- Los miembros del consejo directivo demostraron liderazgo y capacidad de negociación al establecer alianzas con instituciones del sector y empresas tecnológicas.
- El trabajo en equipo se puso de manifiesto en las diferentes direcciones creadas, cada una con líderes y miembros que cumplían funciones específicas.
- La comunicación efectiva se evaluó mediante la participación en congresos y presentaciones del capítulo.

Adicionalmente, estas competencias fueron validadas externamente mediante la participación en concursos evaluados por jurados especializados, proporcionando una valoración independiente del desarrollo competencial de los participantes.

Estos hallazgos validan confirman los planteamientos de Vygotsky (1978) sobre aprendizaje socialmente mediado y las aportaciones de Johnson (2009) respecto a beneficios metacognitivos del aprendizaje colaborativo.

3.3. **Impacto en la empleabilidad y desarrollo profesional**

El impacto en la empleabilidad de los participantes se reflejó principalmente en la adquisición de competencias específicas valoradas por el mercado laboral. Aunque no incluimos datos cuantitativos detallados por limitaciones de espacio, cabe destacar que las alianzas estratégicas con instituciones del sector y empresas tecnológicas dieron a los participantes acceso a

- Certificaciones avaladas por Autodesk
- Becas y medias becas para formación especializada
- Proyectos con requerimientos y evaluación profesional externa

Estas certificaciones y experiencias no solo beneficiaron a estudiantes activos sino también a egresados que continuaron capacitándose gracias a dichas alianzas, mejorando su posicionamiento profesional. La validez de estas formaciones estuvo respaldada por evaluaciones formales (exámenes y proyectos) requeridas para obtener las certificaciones correspondientes, lo que constituye un indicador objetivo del aprendizaje adquirido.

Esta formación especializada ha tenido un efecto positivo en la empleabilidad de los participantes, alineándose con estudios previos sobre el impacto de competencias BIM en el sector (Gerges, 2017; Wu, 2019; Sah, 2009).

 BY-NC-SA

3.4. **Transformación revolucionaria de adversidades en oportunidades de innovación**

El desarrollo del CES BIM UPN coincidió con la pandemia de COVID-19 (período 2021-1 a 2023-1), lo que supuso grandes desafíos pero también oportunidades para innovar en la metodología. Nuestro análisis termina en el primer semestre de 2023 porque marca el cierre de esta etapa específica de implementación y desarrollo durante el período pandémico y la transición a la presencialidad.

Los períodos posteriores (2023-2 en adelante) representan una nueva fase con diferentes liderazgos y dinámicas organizativas, que podría ser objeto de una investigación complementaria. Esta delimitación temporal nos permite evaluar de forma coherente una etapa completa del desarrollo del capítulo, y sacar conclusiones específicas sobre su implementación durante un período especialmente difícil.

Durante este tiempo, el capítulo logró adaptarse mediante la virtualización de sus actividades, lo que paradójicamente amplió su alcance y posibilidades formativas. Esta capacidad de adaptación confirma lo que plantea Taleb (2012) sobre la antifragilidad como capacidad para prosperar en situaciones estresantes.

3.5. **Replicabilidad y comparativa con iniciativas similares**

La experiencia del CES BIM UPN ha demostrado que puede replicarse, como lo evidencia la aparición de iniciativas similares en otras universidades, también impulsadas por estudiantes. Este fenómeno de réplica podría ser material para futuras investigaciones, ya que representa un indicador significativo del valor percibido del modelo implementado.

Aunque no hemos realizado un estudio comparativo exhaustivo con otras iniciativas similares, el carácter pionero del CES BIM UPN en el contexto regional sugiere que su metodología y organización podrían transferirse a otras instituciones con contextos formativos parecidos.

4. **Recomendaciones**

- **Para instituciones educativas:** Incorporar formalmente los capítulos estudiantiles temáticos dentro de la estructura institucional, proporcionándoles reconocimiento académico, soporte logístico y recursos básicos que potencien su impacto formativo sin comprometer su autonomía operativa y flexibilidad metodológica. Es imperativo que en los procesos de diseño o modificación curricular se incorpore activamente la voz estudiantil, reconociendo que son los principales receptores y agentes de implementación. Dentro del marco normativo que establezcan sus estatutos. La subestimación de esta perspectiva resulta en intervenciones educativas que no atienden adecuadamente las brechas formativas existentes.
- **Para estudiantes:** Considerar la participación en congresos, comunidades de práctica especializadas como estrategia complementaria de alto valor para su desarrollo profesional integral, priorizando aquellas que implementen metodologías colaborativas y mentoría entre pares.
- **Para el sector empresarial**: Establecer vínculos estratégicos con capítulos estudiantiles temáticos como mecanismo para identificar talento tempranamente, influir en la formación de futuros profesionales y fortalecer la transferencia de conocimiento universidad-empresa.
- **Para investigadores educativos**: Profundizar en el estudio sistemático del impacto de las comunidades de práctica estudiantiles en el desarrollo de competencias transversales, empleando metodologías mixtas que permitan cuantificar y cualificar dicho impacto. Se exhorta a investigadores experimentados a establecer colaboraciones con estudiantes y profesionales emergentes, pues la diversidad de perspectivas epistemológicas y experienciales puede generar aproximaciones innovadoras a problemas de investigación convencionales, enriqueciendo sustancialmente los hallazgos.

 BY-NC-SA

5. **Conclusiones**

- El CES BIM UPN representa un caso paradigmático de respuesta estudiantil autoorganizada que ha logrado mitigar eficazmente la brecha entre la formación académica institucional y las demandas competenciales del sector construcción, constituyéndose como un complemento formativo de alto valor estratégico.
- El modelo pedagógico implementado, basado en la colaboración y la mentoría entre pares, ha demostrado su extraordinaria efectividad no solo en la adquisición de competencias técnicas BIM, sino especialmente en el desarrollo simultáneo de habilidades transversales de alta demanda profesional como liderazgo, trabajo en equipo y comunicación efectiva.
- Los indicadores objetivos de empleabilidad documentados evidencian un retorno significativo de la inversión formativa realizada por los participantes, manifestado en menor tiempo de inserción laboral, acceso a posiciones cualificadas y mejoras salariales comparativas, confirmando la correlación positiva entre participación activa en el capítulo y mejora en indicadores profesionales.
- La capacidad adaptativa demostrada durante la pandemia COVID-19 permitió transformar obstáculos operativos en oportunidades de innovación metodológica, evidenciando ventajas estructurales de las organizaciones estudiantiles horizontales frente a estructuras institucionales más rígidas en contextos de incertidumbre.

Referencias

AZHAR, S. (2011). “Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry” en *Leadership and Management in Engineering*. vol. 11, nº 3, p. 241–252.

BARISON, M.B. y SANTOS, E.T. (2010). “An overview of BIM specialists” en *Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. Nottingham, UK.

BARISON, M.B. (2018). “The learning process of BIM: challenges and strategies in education” en *Proceedings of the CIB W78 Conference*. Chicago, USA.

BRYDE, D., BROADBENT, M. y JENKINS, R. (2013). “Benefits of Building Information Modelling in the Project Lifecycle: Construction Projects in the UK” en *Project Management Journal*, vol. 44, nº 3, p. 97–110.

CHEGU BADRINATH, A., CHANGI, A. y GUTSCHERA, M. (2016). “Building Information Modeling in Higher Education: Teaching BIM across disciplines using an interdisciplinary project-based pedagogy” en *International Journal of Engineering Education*, vol. 32, nº 6, p. 2324–2337.

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R. y LISTON, K. (2018). *BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. Hoboken: John Wiley & Sons.

FERNÁNDEZ-SOLÍS, J.L. y KUBALIK, J. (2012). “Teaching Lean and Green Construction” en *Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. San Diego, USA.

GERGES, M. (2017). “Barriers to Implementation of BIM in Developing Countries” en *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 8, nº 12, p. 30–37.

HERNÁNDEZ, M. (2019). “El aprendizaje colaborativo en entornos universitarios” en *Revista Educación y Tecnología*, vol. 18, p. 115–129.

JIN, R., ZHANG, G., LI, B., GAO, S. y SKITMORE, M. (2018). “Project-based pedagogy in interdisciplinary building design adopting BIM” en *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 25, nº 10, p. 1376–1397.

JOHNSON, D.W. y JOHNSON, R.T. (2009). “An educational psychology success story: Social interdependence theory and cooperative learning” en *Educational Researcher*, vol. 38, nº 5, p. 365–379.

LEE, N. y HOLLAR, J. (2013). “Interdisciplinary BIM education in architecture and construction management programs” en *Proceedings of the 49th ASC Annual International Conference*. California, USA.

MIETTINEN, R. y PAAVOLA, S. (2014). “Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling” en *Automation in Construction*, vol. 43, p. 84–91.

 BY-NC-SA

ONU (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Nueva York: Organización de las Naciones Unidas. https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/ [Consulta: 30 de abril de 2025].

RAHMAN, H.A., ABDULLAH, M., NORDIN, N. y NASLY, M.A. (2019). "Impact of BIM Implementation on Learning Motivation of Engineering Students" en *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, vol. 14, nº 21, p. 4–19.

SACKS, R. y PIKAS, E. (2013). "Building information modeling education for construction engineering and management. I: Industry requirements, state of the art, and gap analysis" en *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 139, nº 11, p. 04013016.

SAH, B. (2009). "Implementing BIM in small construction firms: Issues and challenges" en *Construction Innovation*, vol. 9, nº 2, p. 153–163.

SUCCAR, B. (2009). "Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders" en *Automation in Construction*, vol. 18, nº 3, p. 357–375.

SUCCAR, B. y SHER, W. (2014). "A competency knowledge structure for BIM learning" en *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, vol. 14, nº 1, p. 30–50.

TALeb, N.N. (2012). *Antifrágil: Las cosas que se benefician del desorden*. Barcelona: Paidós.

VYGOTSKY, L.S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Cambridge: Harvard University Press.

WU, W. (2019). "Integration of BIM and sustainability in education: A systematic review" en *Sustainability*, vol. 11, nº 14, p. 3850.

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen Claude 3.7 Sonnet en la plataforma https://claude.ai/, para revisar la coherencia del texto.

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación.

 BY-NC-SA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

ADOPTAR LA IA SIN PERDER TU IDENTIDAD: UN ENFOQUE HUMANIZADO

Monedero Martínez, Alfonso
Heatherwick Studio. Head of BIM.

Abstract

The rapid advancement of AI design tools has led to one of the fastest technological integrations in the industry. However, this swift adoption often reveals a stark shift, where the output feels driven by the software rather than the author.

Join us as we share how our studio has embraced AI—ranging from generative AI, large language models, and image recognition—without compromising our core design values and ethos.

Technology is most effective when it serves as a tool you can control, rather than a force that dictates your creative output. If we can't predict or influence its outcomes, we risk becoming spectators in a process we should be leading. With each new technology comes a wave of unbridled excitement, and AI is no exception. As the industry rushes through what Gartner's Hype Cycle terms the "Peak of Inflated Expectations," AI-generated work often lacks the unique signature of its creators, resulting in designs that can be easily traced back to DALL-E, Midjourney, or Stable Diffusion. Similarly, in language models like ChatGPT, Gemini, or Grok, outputs are often shaped by pre-existing data sets, producing polarized results that follow algorithmic paths rather than creative exploration.

However, the key to harnessing AI's true potential lies in understanding and controlling the technology—using it to extend creative boundaries rather than replace them. At the studio, we've approached AI not as a threat to our design identity but as a catalyst for innovation, all while staying true to our ethos of human-centered design.

In this presentation, we will share how we've integrated AI across various stages of our design process, demonstrating the seamless fusion of advanced technology and artistic vision. Here's a glimpse into our AI-driven explorations:

Image Generation: We've developed our own Stable Diffusion model, training it using LoRA (Low-Rank Adaptation) based on our past projects. The result? Renders that are nearly indistinguishable from those created by our in-house team, blending the precision of AI with the nuance of human creativity.

Knowledge BOT: By training retrieval-augmented generation (RAG) models on our internal knowledge base and integrating them with Revit, we've transformed how we access and apply information. We're currently expanding this model to include over a decade's worth of published articles and videos, streamlining research and enabling faster decision-making.

Model quality prediction: Our team has continue the QAQC process to include model quality prediction. By looking at objective Revit parameters like amount of critical warnings, purgeable items, design options… and user experience symptoms like speed on opening views, time to perform operations like changing parameters, opening times… We are creating a Machine Learning algorithm that can predict model depreciation before it can cause big problems to teams.

Image Recognition: Initially conceived as a metric-based platform, our image recognition tool has evolved into a unique "boring building identifier." It's catching the attention of planners and developers as an invaluable tool in their decision-making process, offering a fresh, AI-driven perspective on urban development.

 BY-NC-SA

By embracing AI in ways that complement and amplify our core values, we've found new paths to creativity that don't sacrifice our identity but rather strengthen it. In this session, we'll explore how AI can be used not just as a tool, but as a creative ally—one that helps us do more while staying true to the principles that define us.

Key Learning Objective 1

Understanding AI's Role in Creative Control: Participants will learn how to harness AI tools to enhance, rather than replace, human creativity and design identity.

Key Learning Objective 2

Exploring AI Integration in Design Processes: Attendees will discover practical examples of AI implementation in design workflows, such as image generation, knowledge management, and image recognition.

Key Learning Objective 3

Navigating AI without Losing Design Ethos: The presentation will highlight strategies for maintaining design integrity and human-centered values while adopting cutting-edge AI technologies.

Key Learning Objective 4

Leveraging AI for Efficiency and Innovation: Participants will understand how AI can accelerate processes like drawing analysis and information retrieval, leading to more efficient project management and decision-making.

Resumen

El avance acelerado de las herramientas de diseño basadas en inteligencia artificial ha propiciado una de las integraciones tecnológicas más rápidas dentro del sector. No obstante, esta adopción vertiginosa suele dejar entrever un cambio abrupto, en el que los resultados parecen estar impulsados por el software en lugar de por el autor.

Acompáñanos mientras compartimos cómo, desde nuestro estudio, hemos incorporado la IA —incluyendo IA generativa, modelos de lenguaje de gran escala y sistemas de reconocimiento de imagen— sin renunciar a nuestros valores fundamentales de diseño ni a nuestra identidad profesional.

La tecnología resulta verdaderamente eficaz cuando se convierte en una herramienta bajo control humano, y no en una fuerza que impone el resultado creativo. Si no somos capaces de anticipar o influir en sus resultados, corremos el riesgo de convertirnos en meros espectadores de un proceso que deberíamos liderar. Cada nueva tecnología trae consigo una ola de entusiasmo desmedido, y la IA no es una excepción.

Actualmente, el sector atraviesa lo que el Ciclo de Sobreexpectación de Gartner denomina el "Pico de Expectativas Infladas", donde los resultados generados por IA carecen, con frecuencia, de la impronta única de sus creadores, derivando en diseños fácilmente atribuibles a plataformas como DALL·E, Midjourney o Stable Diffusion. De forma análoga, en modelos de lenguaje como ChatGPT, Gemini o Grok, los resultados están condicionados por los conjuntos de datos preexistentes, generando respuestas polarizadas que siguen rutas algorítmicas más que procesos creativos genuinos.

No obstante, la clave para aprovechar el verdadero potencial de la IA reside en comprender y controlar la tecnología, utilizándola para ampliar los límites creativos, no para sustituirlos. En nuestro estudio, hemos abordado la IA no como una amenaza a nuestra identidad de diseño, sino como un catalizador de innovación, manteniéndonos fieles a nuestro enfoque de diseño centrado en las personas.

 BY-NC-SA

En esta presentación, mostraremos cómo hemos integrado la inteligencia artificial en distintas fases de nuestro proceso de diseño, evidenciando la fusión armónica entre tecnología avanzada y visión artística. A continuación, compartimos algunas de nuestras líneas de exploración con IA:

Generación de imágenes: Hemos desarrollado nuestro propio modelo de Stable Diffusion, entrenado mediante LoRA (Low-Rank Adaptation) a partir de proyectos anteriores. ¿El resultado? Renders prácticamente indistinguibles de los realizados por nuestro equipo interno, combinando la precisión algorítmica con la sensibilidad creativa humana.

Knowledge BOT: A través del entrenamiento de modelos RAG (generación aumentada por recuperación) sobre nuestra base de conocimiento interna e integrándolos con Revit, hemos transformado la forma en la que accedemos y aplicamos información. Actualmente, estamos ampliando este modelo para incluir más de una década de artículos y vídeos publicados, facilitando la investigación y acelerando la toma de decisiones.

Predicción de calidad de modelos: Nuestro equipo ha ampliado el proceso de control de calidad (QAQC) para incorporar la predicción de calidad de modelos. Analizando parámetros objetivos de Revit como el número de advertencias críticas, elementos eliminables, opciones de diseño, y síntomas de experiencia de usuario como el tiempo de apertura de vistas o la latencia al modificar parámetros, estamos desarrollando un algoritmo de aprendizaje automático capaz de anticipar la degradación del modelo antes de que esta genere problemas significativos para los equipos.

Reconocimiento de imágenes: Inicialmente concebida como una plataforma basada en métricas, nuestra herramienta de reconocimiento de imágenes ha evolucionado hasta convertirse en un "identificador de edificios anodinos". Esta funcionalidad está captando la atención de urbanistas y promotores inmobiliarios, que la valoran como un recurso innovador para la toma de decisiones, aportando una nueva perspectiva impulsada por IA sobre el desarrollo urbano.

Al integrar la inteligencia artificial de manera que complemente y potencie nuestros valores esenciales, hemos descubierto nuevas vías para la creatividad que no sacrifican nuestra identidad, sino que la refuerzan. En esta sesión, exploraremos cómo la IA puede utilizarse no solo como una herramienta, sino como un aliado creativo que nos permite hacer más, sin renunciar a los principios que nos definen.

Objetivo de Aprendizaje 1

Comprender el papel de la IA en el control creativo: Los participantes aprenderán a utilizar herramientas de IA para potenciar —en lugar de reemplazar— la creatividad humana y la identidad de diseño.

Objetivo de Aprendizaje 2

Explorar la integración de la IA en los procesos de diseño: Los asistentes descubrirán ejemplos prácticos de aplicación de IA en flujos de trabajo de diseño, como la generación de imágenes, la gestión del conocimiento y el reconocimiento visual.

Objetivo de Aprendizaje 3

Adoptar la IA sin perder la esencia del diseño: La presentación destacará estrategias para preservar la integridad del diseño y los valores centrados en el ser humano durante la adopción de tecnologías de IA avanzadas.

Objetivo de Aprendizaje 4

Aprovechar la IA para lograr eficiencia e innovación: Los participantes comprenderán cómo la IA puede acelerar procesos como el análisis de documentación gráfica y la recuperación de información, mejorando así la gestión de proyectos y la toma de decisiones.

 BY-NC-SA

DE BIM A LA IA: GEMELOS DIGITALES PARA LA EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LOS EDIFICIOS

López-Torres, Joaquín; Galiano-Garrigós, Antonio; Marco-Peñas, Francisco
Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Alicante, antonio.galiano@ua.es; Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Alicante, joaquin.lopez-torres@ua.es; Arquitecto BIM Manager, f.marco@ggarq.com

Abstract

The exchange of information that is achieved in BIM work structures is enabling experiences that improve, among others, the evaluation of the buildings performance with the aim of reducing energy consumption, CO2 emissions and interior conditions for their occupants.

Among these experiences, the use of analytical models opens up the possibility of developing preventive maintenance strategies that, once validated, have made it possible to use Artificial Intelligence.

This paper describes the methodology developed, with its findings and difficulties, to start from point clouds, generate BIM models, obtain validated analytical models and apply AI on two public buildings with the aim of improving their indoor performance from different points of view.

Keywords: *BIM, Digital Twin, AI*

Resumen

El intercambio de información que se consigue en las estructuras de trabajo BIM están posibilitando experiencias que mejoran, entre otros, la evaluación del comportamiento de los edificios con el objetivo de reducir consumos energéticos, emisiones de CO2 y las condiciones interiores para sus ocupantes.

Entre estas experiencias, el uso de modelos analíticos abre la posibilidad de desarrollar estrategias de mantenimiento preventivo que una vez validados han posibilitado el uso de la Inteligencia Artificial.

Esta comunicación describe la metodología desarrollada, con sus hallazgos y dificultades, para partiendo de nubes de puntos, generar modelos BIM, obtener modelos analíticos validados y llegar a aplicar IA sobre dos edificios públicos con el objetivo de mejorar su comportamiento interior desde diferentes puntos de vista.

Palabras clave: *BIM, Gemelo Digital, IA*

 BY-NC-SA

Introducción

El principal objetivo del uso de la tecnología BIM es garantizar un flujo de información durante todo el periodo de vida útil de un edificio. Este flujo de información debe permitir que todos los agentes involucrados en el desarrollo del proyecto, la construcción del edificio y su explotación tengan un acceso fácil a todos los datos generados de modo que permitan una optimización de medios y un uso eficiente de los recursos. Por otra parte, se ha demostrado la utilidad de esta centralización de la información durante el periodo de la explotación de los edificios permitiendo el diseño de estrategias para el mantenimiento preventivo. Entre estas estrategias se encuentran las necesarias para mejorar el comportamiento de los edificios desde diferentes puntos de vista, pero especialmente aquéllas que afectan a los consumos energéticos y a las condiciones climáticas interiores que afectan directamente al confort de las personas.

El soporte tecnológico para el desarrollo de las estrategias de mantenimiento preventivo ha crecido en calidad cuando se han podido desarrollar, partiendo de modelos BIM, Gemelos Digitales (GD). Un GD es un modelo virtual diseñado para reflejar con precisión un objeto físico. El objeto en estudio está equipado con varios sensores relacionados con áreas vitales de funcionalidad. Estos sensores producen datos sobre diferentes aspectos del rendimiento del objeto físico, como la humedad, la temperatura o las emisiones de CO_2 que se transmiten a un sistema de procesamiento y se aplican a la copia digital realizándose simulaciones hasta que la diferencia entre el comportamiento real y el simulado puede considerarse como válida, proceso que se denomina GD validado. Los trabajos de simulación que se pueden realizar a continuación tienen como objetivo realizar ajustes al funcionamiento y el apoyo a la toma de decisiones para el mantenimiento del edificio. Por otra parte, un GD validado puede permitir el uso de Agentes de Inteligencia Artificial (IA) de aprendizaje reforzado con función de recompensa como herramienta de ayuda en el proceso de toma decisiones dado que permite la automatización de procesos y el tratamiento de datos en grandes volúmenes.

Dentro del proceso para desarrollar estrategias de mantenimiento preventivo aplicado al comportamiento de los edificios se ha demostrado que el uso de herramientas BIM puede jugar un papel muy importante, proporcionando ganancias significativas (Galiano-Garrigós & Andújar-Montoya, 2018) y que además pueden tener un gran interés social (Macias et al., 2017). A partir de estos modelos BIM ha sido posible desarrollar GDs que comienzan a ser implementados en la gestión de los edificios.

La mayor parte de las experiencias de investigación sobre GDs encontradas se basan en casos de estudio, edificios nuevos y sitios históricos donde el uso de sensores instalados permite salvaguardar la integridad del edificio y actuar preventivamente (Jouan & Hallot, 2019). Además, las nuevas tecnologías digitales ofrecen muchas soluciones capaces de entregar una réplica digital de objetos de interés, de modo que se pueda lograr una reducción de las incertidumbres en los modelos de análisis (Marra et al., 2023).

En un principio el desarrollo de GDs tiene su origen en representaciones meramente geométricas que nacen del LIDAR y que permitían una mejor experiencia del edificio protegido a la vez que fomentan una visita turística responsable (Hutson et al., 2023). Además, se ha demostrado que un GD permite acceder a diferentes capas de información para documentar adecuadamente el edificio e involucrar directamente al propietario en el proceso de conservación (Masciotta et al., 2021).

También es posible encontrar experiencias donde el uso de GDs, con el objetivo de mejorar las condiciones interiores en edificios históricos. Se ha permitido relacionar modelos HBIM con datos ambientales permitiendo la evaluación de la cantidad de ventilación necesaria para mejorar el confort de las personas (Galiano-Garrigós et al., 2024; Zhang et al., 2022) . Al mismo tiempo, el uso de GDs apoyados en estrategias HBIM ha posibilitado la integración de ambas tecnologías entorno a un Sistema de Apoyo a la Decisión basado en IA para la gestión de colecciones museísticas en arquitecturas históricas (La Russa & Santagati, 2020).

Como se ha indicado anteriormente, es de reseñar que la mayor parte de las experiencias se basan en casos de estudio no siendo posible encontrar metodologías maduras que puedan ser generalizadas confirmándose la novedad del campo de investigación y la necesidad de más casos de estudio (Niccolucci et al., 2023).

 BY-NC-SA

1. **Objetivo de la investigación**

Ante el interés que el uso de las nuevas tecnologías tiene para la gestión de los edificios, el objetivo de esta investigación es la creación de GDs validados de dos casos de estudio partiendo de modelos BIM y que permitan el desarrollo de estrategias de mantenimiento preventivo basados en la evaluación del comportamiento energético y de sus condiciones climáticas interiores apoyados por un Agente de IA. Esta comunicación describe el proceso seguido con los problemas encontrados y las soluciones adoptadas en un campo donde se confirma una falta de métodos maduros que puedas ser generalizados.

2. **Metodología**

La metodología seguida en para la obtención de los GDs validados ha sido la siguiente (Figura 1):

- Creación del modelo geométrico partiendo de levantamientos generados por nubes de puntos.
- Exportación de la geometría a un software de simulación basado en el motor de cálculo EnergyPlus para la creación de un modelo analítico (formato .gbxml).
- Introducción de información constructiva y de funcionamiento del edificio en una herramienta de simulación del comportamiento del edificio. Generación de patrones de actividad, aforos y sistemas de acondicionamiento.
- Creación de un fichero climático que debe corresponder con el periodo de monitorización del edificio (formato .epw).
- Diseño e implementación de un sistema de monitorización del edificio.
- Ajuste y validación del modelo de simulación con la normativa ASHRAE 14 – Gemelo Digital de simulación.
- Generación de modelos de simulación predictivos y diseño de estrategias de mantenimiento preventivas.
- Uso del Agente de Inteligencia Artificial de aprendizaje reforzado RLEnergyPlus para la validación y comprobación de las estrategias de mantenimiento preventivas.

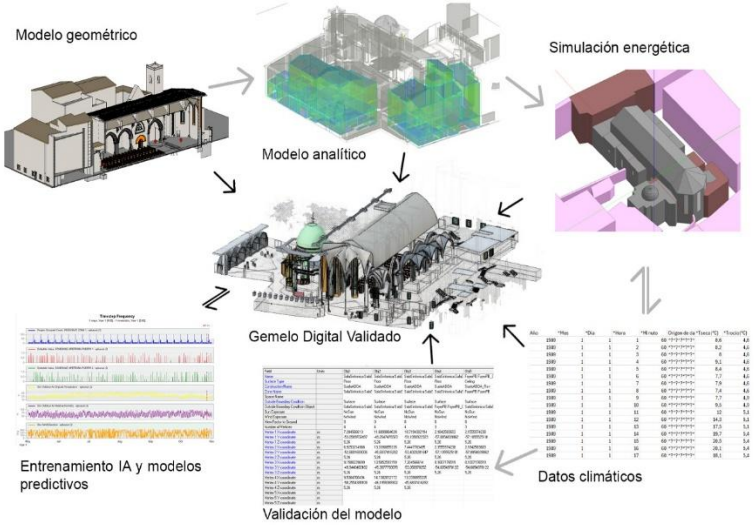


Fig. 1 Esquema visual del proceso seguido. Fuente: Elaboración propia (2025)

2.1 **Casos de Estudio**

Esta investigación ha sido posible gracias a varios proyectos de investigación que han permitido monitorizar edificios de diferentes usos y épocas que presentaban problemáticas similares. En esta comunicación se utilizan datos de dos ellos, San Juan del Hospital y el Auditorio de la Diputación de Alicante. No obstante, se está trabajando con dos casos de estudio más, la Catedral de Valencia y la iglesia del Patriarca también en Valencia (Tabla 1). La iglesia de San Juan del Hospital de Valencia se caracteriza por ser la más antigua de la ciudad y presenta el reto de conservar sus valores patrimoniales a futuro. El análisis de los datos obtenidos

 BY-NC-SA

durante la monitorización ha confirmado los altos valores de temperatura, humedad relativa y de concentración de CO2 que se encuentran lejos de los valores recomendados para la conservación de pinturas y para el confort de las personas. El segundo edificio es el Auditorio de la Diputación de Alicante donde sus gestores han solicitado ayuda para mejorar el comportamiento energético del edificio durante el proceso de acondicionamiento de la sala y para solventar un problema con el afinado de los instrumentos.

TABLA 1. Casos de estudio

Gemelo Digital	Modelo BIM	Simulación energética	Simulación Tª – HR %	Simulación CO_2	Fichero climático	Monitorización	Validación	Modelos predictivos	IA
San Juan del Hospital (Valencia)	X		X	X	X	X	X	X	X
Auditorio de la Diputación de Alicante (ADDA)	X	X	X		X	X	X	X	X
Iglesia del Patriarca (Valencia)	X				X	X			
Catedral de Valencia	X			X	X	X			

Es de reseñar que, en todos los casos, es el interés de los conservadores los que posibilitan el desarrollo de estrategias de mantenimiento preventivas.

2.2 **Software utilizado**

- Autodesk Revit. Toma de datos y modelado de la geometría de los casos de estudio. Generación del modelo analítico preliminar.
- DesignBuilder. Generación del modelo de simulación, introducción de información constructiva, introducción de datos de funcionamiento y configuración de sistemas de acondicionamiento.
- EnergyPlus. Simulación del comportamiento del edificio para la generación de estrategias de mantenimiento preventivas.
- RLEnergyPlus. Apoyo en el proceso de toma de decisiones mediante la validación de los resultados obtenidos.

3. **Investigación**

3.1 **Modelado de la geometría de los casos de estudio**

Para el modelado de la geometría de los casos de estudio y dado la complejidad de sus espacios, se ha recurrido a una nube de puntos. Un escaneo mediante tecnología LiDAR o fotogrametría otorga una mayor precisión y permite realizar un seguimiento en el caso de que fuera necesario.

En esta fase de modelado y dado el destino del modelo, no fue necesario alcanzar un nivel de detalle elevado a nivel geométrico, ya que los modelos analíticos simplifican los volúmenes recurriendo a triangulaciones y reflejando únicamente el volumen de aire interior comprendido dentro de la envolvente de los casos de estudio. Estas simplificaciones durante el modelado incluyeron acciones como simplificar geometrías de huecos y detalles decorativos. Además, fue necesario eliminar elementos complejos geométricamente que no tienen impacto en el comportamiento energético del edificio, tales como molduras o relieves (Figura 2).

 BY-NC-SA

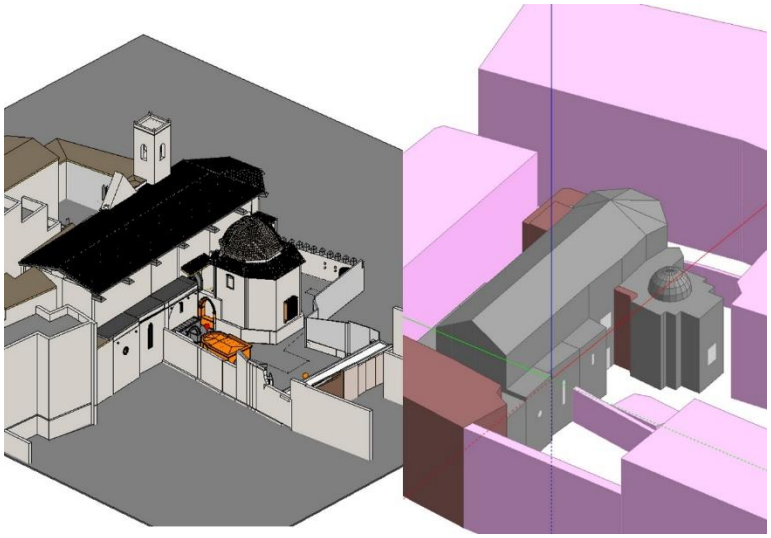


Fig. 2 Comparación de niveles de detalle izquierda modelo BIM a la derecha modelo analítico. Fuente: Elaboración propia (2025)

Los elementos de entorno, tales como edificaciones adyacentes o elementos que pueden generar sombras, se modelan dado el impacto que tienen sobre la radiación solar y la ventilación de los casos de estudio. De igual modo, no fue necesario detallar la información de cerramientos o aberturas dado que se añaden en fases posteriores en el software de simulación.
En caso de partir de modelos BIM o HBIM más complejos es necesario que la información esté lo suficientemente estructurada para poder exportar modelos “limpios” geométricamente al software de simulación.

3.2 **Generación del modelo analítico (formato .gbxml)**

La exportación de la geometría desde un programa de modelado a un software de simulación debe hacerse de forma estructurada para que se produzca una lectura de los datos adecuada. En el caso de los programas de simulación basados en EnergyPlus, los cálculos se realizan por recintos delimitados ofreciendo resultados individualizados por cada uno de ellos. Por lo tanto, es necesario que nos aseguremos que durante la exportación se puedan generar recintos de forma automática.

En esta investigación se utilizó Autodesk Revit para el modelado que dispone de 2 opciones para la exportación de los recintos: por geometría y por “habitaciones”. La exportación por geometría, en la experiencia de los autores, dio más problemas en fases posteriores y requirió de más trabajo de reparación del modelo. Por otro lado, al emplear el sistema de exportación por habitaciones, nos aseguramos las zonas y el área que el motor de cálculo energético va a utilizar, proporcionando así datos individualizados.

A modo de ejemplo sobre cómo se prepararon los modelos, en la iglesia de San Juan del Hospital, las naves y las capillas son en planta dos espacios, pero en realidad a nivel de volumen son un único espacio dado que no tiene paredes (Figura 3). Además, en ellos se realizan actividades diferentes. En este caso para el motor de cálculo será una única habitación. Esto es muy importante porque cada zona recibe una climatización diferenciada y tiene una actividad particular y, en fases posteriores, no será posible dividirla.

 BY-NC-SA

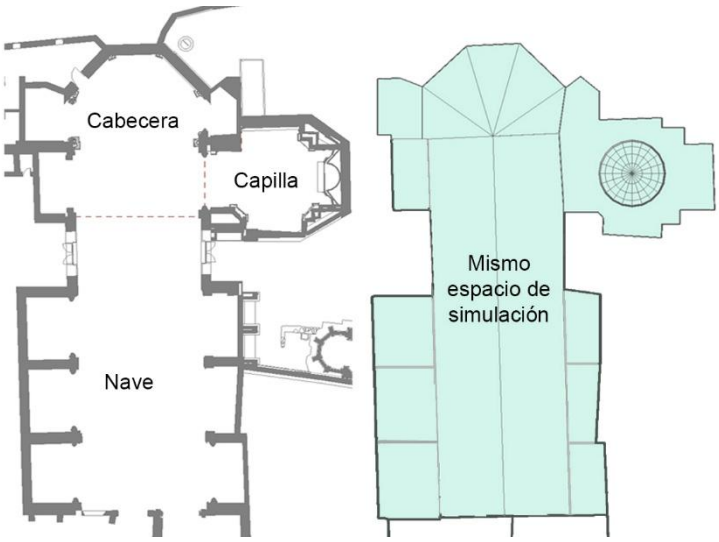


Fig. 3 Diferenciación entre modelo geométrico y modelo de simulación. Fuente: Elaboración propia (2025)

Es posible que la geometría que contiene algún espacio a modelar sea excesivamente compleja. Autodesk Revit crea las habitaciones a partir de los niveles y mediante el perímetro que la contiene. Si la habitación está en varios niveles o, si el perímetro de la habitación varía a lo largo de la extrusión, es muy probable que la zona generada tenga una geometría errónea. Cuando esto sucede, la geometría ha de ser reparada en el software de simulación energética. Esto sucedió durante la modelización del ADDA, concretamente en su sala sinfónica, que tuvo que crearse en DesignBuilder.

Cuando los espacios se definieron correctamente y la geometría se ajustó con precisión se procedió a realizar la exportación de los modelos analíticos de los casos de estudio a partir de las habitaciones.

3.3 **Importación y configuración del modelo analítico en un software de simulación energética**

La mayor parte de los programas de simulación del comportamiento energético utilizan como motor de cálculo el software EnergyPlus desarrollado por Departamento de Energía de Estados Unidos. Con 700.000 líneas de código es una herramienta que permite realizar simulaciones complejas del comportamiento de los edificios desde diferentes puntos de vista. Su mayor limitación es su interface que no invita a un uso general. Por este motivo existen diferentes herramientas que ayudan en este proceso, sobre todo en la introducción de la geometría y en la visualización de los resultados.

En esta investigación el software complementario utilizado fue DesignBuilder que puede ser utilizado como herramienta única pero que presenta algunas limitaciones durante el modelado y durante la evaluación de las bases de datos utilizadas durante los cálculos. Es por lo que en este caso se utilizó como herramienta intermedia de corrección del modelo analítico y de introducción de algunos datos que pueden ser fácilmente comprobados después con EnergyPlus.

El proceso de trabajo con el modelo analítico exportado desde Autodesk Revit comienza con la revisión de la geometría dado que es posible aparezcan errores cuando el edificio disponga de espacios complejos. Los errores más comunes encontrados durante la importación del modelo fueron conflictos en la separación entre las zonas, planos de sombra en ubicaciones erróneas o zonas que no han podido ser importadas.

Hay que tener en cuenta que, cuanto más complejo es el edificio y más grandes son los espacios modelados, hay más posibilidades de que sucedan estos errores. Es imprescindible realizar un depurado de estas imprecisiones y reconstruir el modelo en las zonas donde aparezcan errores. Esto implica desplazar planos que componen espacios, cerrar zonas en las que faltan planos y eliminar planos de sombra incorrectos (Figura 4).

 BY-NC-SA

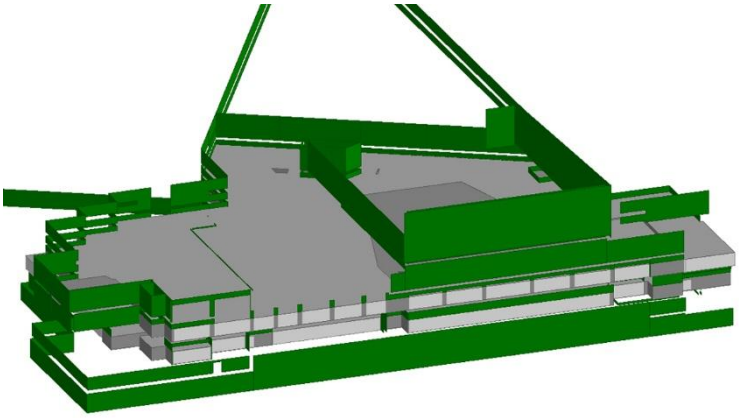


Fig. 4 Ejemplo de errores en la importación del modelo analítico con DesignBuilder. Fuente: Elaboración propia (2025)

En el caso del modelo energético del ADDA fue necesario modelar la sala de conciertos en DesignBuilder por su complicada geometría, además de reajustar espacios que se habían desplazado en la exportación. Generaron bastantes problemas los espacios en triple altura que se encuentran en el hall de entrada y que rodean la sala sinfónica. Por otra parte, la iglesia de San Juan del Hospital presentó problemas la separación entre la nave y las capillas laterales dada la complejidad geométrica de las bóvedas y la ausencia de elementos de separación vertical.

Cuando la geometría de los modelos analíticos fue reparada, se procedió a completar la información necesaria para realizar las simulaciones. Esta información incluye los datos de cerramientos, aberturas y calendarios. Los calendarios son la definición de la programación de diferentes elementos como la ocupación del edificio o la disponibilidad de los sistemas de acondicionamiento. Los calendarios funcionan combinando datos numéricos con intervalos de tiempo, indicando, por ejemplo, la cantidad de personas que ocupan un espacio y durante cuánto tiempo sucede (Figura 5).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Schedule_Occupar	Schedule_Occupar	Schedule_Exterior_I	Schedule_Symphor	Schedule_range_of	Schedule_Occupar
Schedule Type Limits Name		Any Number	Any Number	Any Number	Any Number	Any Number	Any Number
Interpolate to Timestep		No	No	No	No	No	No
Time 1		19:45	19:30	19:00	19:30	19:45	20:00
Value Until Time 1	varies	0	0	0	0	0	0
Time 2		22:00	20:00	20:00	20:00	22:00	22:00
Value Until Time 2	varies	1	1	1	1	1	3
Time 3		24:00	22:00	22:00	22:00	24:00	24:00
Value Until Time 3	varies	0	0	0	0	0	0
Time 4			22:30	23:00	23:00		
Value Until Time 4	varies		1	1	1		
Time 5			24:00	24:00	24:00		
Value Until Time 5	varies		0	0	0		

Fig. 5 Ejemplo de calendarios. Fuente: Elaboración propia (2025)

Para diseñar correctamente los calendarios del edificio, es necesario que coincidan con el tiempo de monitorización del edificio y disponer de datos sobre la ocupación o el tiempo de funcionamiento del sistema de acondicionamiento. Durante los periodos que el edificio está ocupado, el software de simulación simula las condiciones climáticas interiores resultado de esa ocupación, aumento de temperatura, humedad relativa y concentración de CO_2 que posteriormente utilizaremos para comprobar con los datos reales obtenidos de las monitorización. Además de los patrones de ocupación es necesario introducir la actividad que se realiza en cada espacio que en este caso se realiza a través de la tasa metabólica y vestimenta habitual.

Además de la ocupación, debe incluirse información relativa a la construcción del edificio, características de ventanas y puertas con su patrón de aperturas, posibles elementos de sombras en cerramientos (lamas o persianas) con su patrón de funcionamiento y todos los datos disponibles sobre los sistemas de acondicionamiento. Además, es necesario definir elementos singulares como ocurrió en la Iglesia de San Juan del Hospital, ya que durante la inclusión de datos de cerramientos, hubo un valor con el que no se contaba y que era crítico en las simulaciones: la infiltración de aire por fachada. Al no poder realizarse un ensayo de infiltración en el edificio, hubo que extraer el dato de las propias simulaciones.

 BY-NC-SA

Cuando la información del caso de estudio está completa, pueden realizarse las primeras simulaciones para comprobar su correcto funcionamiento. De ser así, se procede a la exportación del modelo en formato .idf, para trabajar directamente con EnergyPlus.

3.4 **Edición y actualización del fichero climático. epw.**

Uno de los errores más frecuentes durante el proceso de creación de un modelo analítico que pueda considerarse como un GD que refleje realmente la realidad es la utilización de los ficheros climáticos disponibles en las bases de datos públicas. Uno de los hallazgos de esta investigación ha sido las grandes desviaciones existentes entre los datos reales y los encontrados en estos ficheros públicos. El fichero climático, extensión. epw, es junto con el fichero .idf la información necesaria para la realización de los cálculos y es responsable de las condiciones climáticas exteriores que generan el flujo de energía a través de los cerramientos y la influencia de la ventilación.

Los ficheros climáticos empleados por EnergyPlus para la simulación empleados en las validaciones de la Iglesia de San Juan del Hospital y ADDA (Valencia y Alicante) deben ser propios y generados a través de estaciones meteorológicas. En este tipo de trabajos, por ejemplo, la dirección y velocidad del aire son críticos para trabajar con la ventilación interior. Datos erróneos sobre este parámetro ofrecerían resultados muy alejados de la realidad. En el caso de ambos casos de estudio se ha recurrido a las estaciones meteorológicas de AEMET dada su cercanía a los casos de estudio.

3.5 **Monitorización de los casos de estudio**

Paralelamente al proceso de modelado de la información de los casos de estudio, debe diseñarse e instalarse un sistema de monitorización que recoja datos reales sobre los parámetros que se deseen evaluar. La monitorización debe contener los sensores necesarios y una transmisión de datos en tiempo real a un repositorio en la nube. En esta investigación los sensores utilizados fueron Testo 160 IAQ que recogen información entre otros de temperatura, humedad relativa y concentración de CO_2 y disponen de batería y memoria de almacenamiento. La frecuencia de la toma de datos dependerá del rango de validación que se desee: cuanto mayor sea el intervalo de toma de datos, menor será el margen de desviación de la simulación respecto de los datos de la monitorización.

En el caso de la iglesia de San Juan del Hospital se ha monitorizado el edificio desde abril de 2023 y en el caso del ADDA desde agosto del mismo año. En la iglesia se han instalado sensores en la nave, en diferentes capillas y a diferentes alturas. En el ADDA, se han instalado tanto en la sala sinfónica como en el hall de entrada también a diferentes alturas. Se dispone, además, de datos de aforos de ambos edificios durante el periodo de monitorización.

Un periodo lo suficiente largo de monitorización permite obtener conclusiones preliminares sobre la problemática del edificio y contrastarlas con las peticiones realizadas por sus gestores. En el caso de la iglesia de San Juan del Hospital el edificio presentaba un aumento creciente de la temperatura y humedad relativa durante el verano que no era capaz de disiparse durante las noches. Esta situación se veía incrementada con la concentración de CO_2 generada por los visitantes que no era posible disiparla por medios naturales entre evento y evento.

En el caso del ADDA, las condiciones interiores de la sala sinfónica (sala de conciertos) variaban entre los ensayos, momento en el que se afinaban los instrumentos, y las actuaciones, pese a que apenas sucedían 6 horas entre ambos y la climatización se activaba con la suficiente antelación. Esto provocaba el constante desafinado de instrumentos, afectando a la actuación de los artistas y al normal funcionamiento del edificio.

 BY-NC-SA

3.6 **Validación del modelo de simulación y creación del Gemelo Digital de simulación**

Una vez se poseen los datos climáticos actualizados y se dispone de información real de las condiciones interiores del edificio, se debe proceder a la realización de simulaciones para comprobar la validez del GD y comparar los resultados obtenidos en la simulación con los datos reales de funcionamiento del edificio.

En el caso del flujo de trabajo de DesignBuilder a EnergyPlus, se detectó el problema de diferencias entre versiones de trabajo, ya que la versión de EnergyPlus que DesignBuilder emplea para simular es la 9.4, mientras que la versión actual de EnergyPlus es la 24.2. Para un correcto funcionamiento, es recomendable actualizar el fichero .idf para lograr mejores resultados. Para ello, EnergyPlus dispone de una herramienta de actualización de versiones que sin embargo no permite una actualización directa, sino que debe ser escalonada (versión intermedia 9.6). Tras la actualización se procede a la realización de simulaciones.

La cercanía de los resultados simulados a la realidad depende en gran medida a la calidad de los datos incluidos en el modelo analítico. Es posible que sea necesario ajustar calendarios de actividad, ocupación o sistemas de acondicionamiento para corregir desviaciones además de realizar pruebas de sensibilidad de las diferentes actuaciones previstas para corregir las desviaciones (Figura 6).

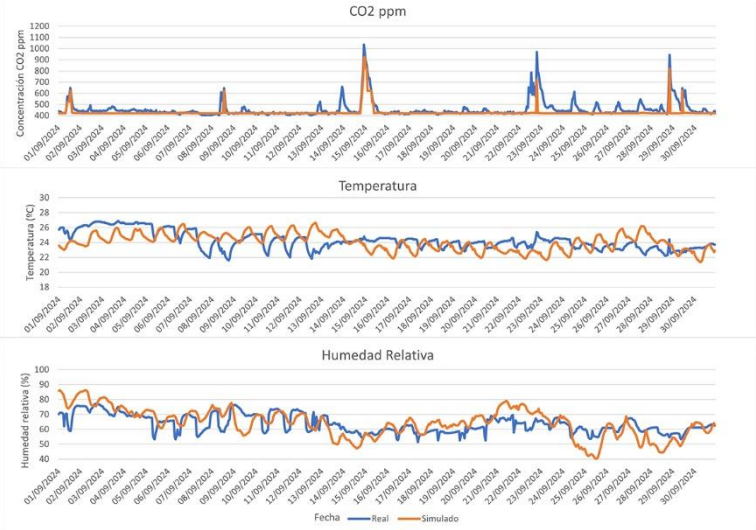


Fig. 6 Ejemplo de validación del GD de simulación. Fuente: Elaboración propia (2025)

No existe en España una normativa que defina los límites para la validación de los resultados obtenidos en las simulaciones del comportamiento de los edificios por lo que en esta investigación se ha recurrido a la ASHRAE Guideline 14 en la que se definen los procedimientos estadísticos para evaluar la precisión de los modelos energéticos.

La validación de temperatura y humedad relativa se efectúa según los criterios del coeficiente de variación del error cuadrático medio (CV(RMSE)) y el error de sesgo medio normalizado (NMBE). El límite de estos criterios depende de la frecuencia de la toma de datos. A mayor distancia entre tomas de datos, menor es el límite permitido por la norma para considerar un modelo validado. El límite al error cuadrático medio normalizado (NMBE) se encuentra en el 10% y el coeficiente de variación del error cuadrático medio (CVRMSE) en el 30% para simulaciones horarias. En ambos casos de estudio los errores se encuentran por debajo de estos límites.

BY-NC-SA

TABLA 2. NMBE y RMSE según la ASHRAE 14.

Comprobación SJH	Límite	Ppm CO2,	Temperatura, °C	HR, %
Error de sesgo medio normalizado (NMBE), %	±10	9.32	8.58	-8.76
Coeficiente de variación del error cuadrático medio (CV(RMSE)), %	30	15.30	9.89	25.87
Comprobación ADDA	Límite	Ppm CO2,	Temperatura, °C	HR, %
Error de sesgo medio normalizado (NMBE), %	±10	8.94	-1.94	8.76
Coeficiente de variación del error cuadrático medio (CV(RMSE)), %	30	14.60	6.18	13.01

3.7 **Generación de modelos predictivos y aplicación de IA**

Una vez el GD de simulación cumple con los límites establecidos en la guía ASHRAE 14, puede procederse al entrenamiento del Agente de Inteligencia Artificial RLEnergyPlus.

En un primer paso es necesario definir los parámetros de actuación que se le permite al Agente IA manipular de los casos de estudio para la mejora de las condiciones interiores de los espacios de los edificios y los resultados que se desean obtener. Este proceso se denomina entrenamiento y debe estar supervisado con el objetivo de definir funciones de recompensa cuando el Agente IA realiza actuaciones que realmente son viables y alcanzan los objetivos deseados. Por ejemplo, si el objetivo es disminuir la humedad relativa a un valor en concreto, el Agente IA necesita realizar entrenamientos en los que verifica que encender el HVAC cuando la ocupación es alta permite reducirla.

En el caso de la iglesia de San Juan del Hospital, en una primera fase se le permitió al Agente IA manipular las aperturas y cierres de puertas y ventanas de acuerdo con los patrones de funcionamiento del edificio. En una segunda fase se le permitió modificar estos patrones y en una última fase introducir elementos de ventilación mecánica. En todos los casos el Agente IA obtiene resultados razonables que son testados en la realidad para confirmar su viabilidad.

El proceso de entrenamiento con la sala sinfónica del ADDA fue mucho más complejo dada la gran cantidad de equipos y parámetros de trabajo. En una primera fase se realizaron ensayos de sensibilidad con el objetivo de medir y validar el alcance de ciertas estrategias de mejora de las condiciones interiores. Una vez se conoció el alcance real de los cambios que eran posible realizar se procede al entrenamiento del Agente IA al que se permite modificar el calendario de aperturas y cierre de puertas y el calendario de funcionamiento del sistema de acondicionamiento. En ambos casos el Agente IA obtiene patrones de funcionamiento que mejoran las condiciones interiores de la sala sinfónica que están en fase de validación en estos momentos (Figura 7).

BY-NC-SA

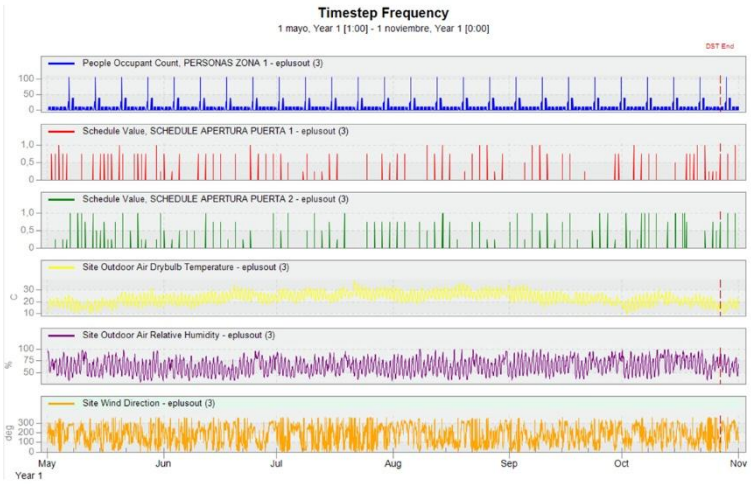


Fig. 7 Entrenamiento de IA. Fuente: Elaboración propia (2025)

3.8 **Representación del GD**

En la última fase se procede al desarrollo de una representación virtual del GD que recoja los datos reales del funcionamiento obtenidos de los sensores, así como todas las capas de información generadas durante el desarrollo del modelo BIM. Se realiza en una plataforma en la nube (Autodesk Tandem) que precisa de programación para poder introducir los datos obtenidos durante todas las simulaciones realizadas y que actualmente no se actualiza en tiempo real (Figura 8).

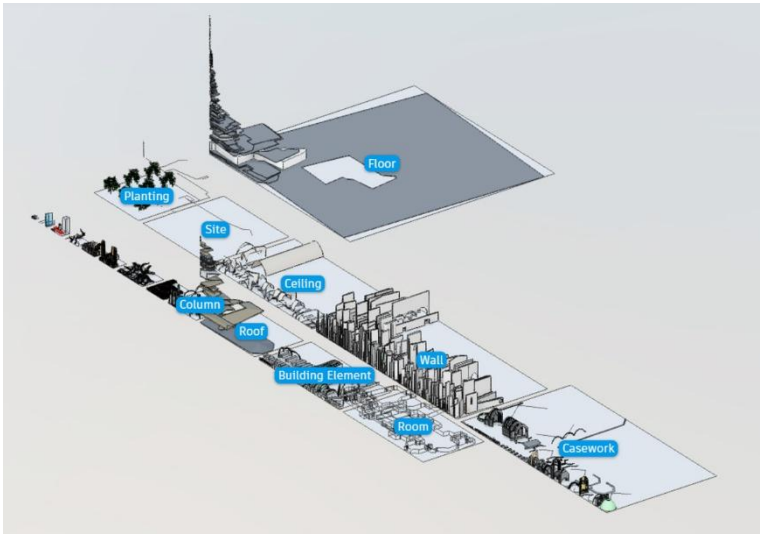


Fig. 8 Deconstrucción de todos los elementos que componen el Gemelo Digital. Fuente: Elaboración propia (2025)

4. **Discusión de resultados**

Los resultados obtenidos con esta metodología de trabajo que partiendo de BIM llega a la aplicación de la IA para la evaluación del comportamiento de los edificios puede considerarse satisfactoria, pero con algunas limitaciones.

- Existe una gran limitación en cuanto a la interoperabilidad entre los diferentes programas utilizados. El flujo de la información no es fácil y es poco intuitiva siendo necesarios ajustes continuos para garantizar un correcto intercambio de la información.
- El intercambio de información no es automático y por tanto los cálculos tampoco lo son.
- Se comprueba la necesidad de disponer de datos de calidad para poder obtener modelos validados.

 BY-NC-SA

- Se comprueba la utilidad de los GD de simulación para el diseño de estrategias de mantenimiento preventivas que mejoren la gestión de los edificios.
- El Agente IA con aprendizaje reforzado demuestra su utilidad en el proceso de la toma de decisiones para encontrar las mejores estrategias para soluciones los problemas encontrados en el funcionamiento de los casos de estudio.
- Existen limitaciones para representar el GD y poder comprobar la información en tiempo real.

5. **Conclusiones**

El uso de nuevas tecnologías está generando nuevas formas de entender los edificios y su funcionamiento. El uso de repositorios de información centralizados generados a través de modelos BIM están permitiendo generar nuevos sistemas de gestión de la información y un mejor aprovechamiento de los recursos. Disponer de Gemelos Digitales permiten diseñar estrategias de mantenimiento preventivo destinados a mejorar el comportamiento energético de los edificios y a evaluar y mejorar las condiciones climáticas interiores que afectan al confort de las personas y a la conservación del patrimonio.

Se puede afirmar que existe la tecnología para partiendo de modelos BIM llegar a obtener Gemelos Digitales e incluso aplicar IA pero es incipiente y debe mejorarse el flujo de trabajo y la representación de los Gemelos Digitales dado que en estos momentos el flujo de trabajo es complejo y presenta errores en el intercambio de la información.

6. **Financiación**

Esta investigación ha sido financiada por el CENID a través de los siguientes proyectos: Uso de la IA para la evaluación del comportamiento energético y confort de los edificios públicos: el Auditorio de la Diputación de Alicante como caso de estudio, Uso de la IA para el control de temperatura, humedad y concentración de CO_2 en salas de conciertos y Validación de Gemelos Digitales y testeo de la viabilidad de las estrategias IA para la evaluación del comportamiento de los edificios y el proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, Análisis y desarrollo de la integración HBIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino.

Referencias

Galiano-Garrigós, A., & Andújar-Montoya, M. D. (2018). Building information modelling in operations of maintenance at the university of alicante. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, *13*(1), 1–11. https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N1-1-11

Galiano-Garrigós, A., López-González, C., García-Valldecabres, J., Pérez-Carramiñana, C., & Emmitt, S. (2024). The Influence of Visitors on Heritage Conservation: The Case of the Church of San Juan del Hospital, Valencia, Spain. Applied Sciences (Switzerland), 14(5). https://doi.org/10.3390/app14052065

Hutson, J., Weber, J., & Russo, A. (2023). Digital Twins and Cultural Heritage Preservation: A Case Study of Best Practices and Reproducibility in Chiesa dei SS Apostoli e Biagio. Art and Design Review, 11(01), 15–41. https://doi.org/10.4236/adr.2023.111003

Jouan, P., & Hallot, P. (2019). Digital Twin: A HBIM-Based methodology to support preventive conservation of historical assets through heritage significance awareness. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 42(2/W15), 609–615. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-609-2019

La Russa, F. M., & Santagati, C. (2020). Historical sentient – Building information model: A digital twin for the management of museum collections in historical architectures. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 43(B4), 755–762. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2020-755-2020

Macias, J., Iturburu, L., Rodriguez, C., Agdas, D., Boero, A., & Soriano, G. (2017). Embodied and operational energy assessment of different construction methods employed on social interest dwellings in Ecuador. *Energy and Buildings*, *151*, 107–120. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.016

 BY-NC-SA

Marra, A., Fabbrocino, G., & Trizio, I. (2023). On the interoperability performance of HBIM models for structural conservation and upgrading of building aggregates in the Italian minor centres. *VITRUVIO - International Journal of Architectural Technology and Sustainability*, *8*, 140–151. https://doi.org/10.4995/vitruvio-ijats.2023.18856

Masciotta, M. G., Morais, M. J., Ramos, L. F., Oliveira, D. V., Sánchez-Aparicio, L. J., & González-Aguilera, D. (2021). A Digital-based Integrated Methodology for the Preventive Conservation of Cultural Heritage: The Experience of HeritageCare Project. *International Journal of Architectural Heritage*, *15*(6), 844–863. https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1668985

Niccolucci, F., Markhoff, B., Theodoridou, M., Felicetti, A., & Hermon, S. (2023). *The Heritage Digital Twin: a bicycle made for two. The integration of digital methodologies into cultural heritage research*.

Zhang, J., Kwok, H. H. L., Luo, H., Tong, J. C. K., & Cheng, J. C. P. (2022). Automatic relative humidity optimization in underground heritage sites through ventilation system based on digital twins. *Building and Environment*, *216*. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.108999

 BY-NC-SA

ADVANCING GEOTECHNICAL BIM WITH IFC-4-TUNNELING: A TIMELY SOLUTION TO MEET GROWING REQUIREMENTS

Martínez-Ibáñez, Víctor; Jaud, Štefan; Delgado Vendrell, David; Camacho-Torregrosa, Francisco Javier
Departamento de Ingeniería de los Transportes y del Terreno, Universitat Politècnica de València, València, (Spain); Jaud IT GmbH, Moorenweis (Germany); buildingSMART Spain, València (Spain). Corresponding author: vicmarib@upv.es

Abstract

This article presents the main conclusions of a symposium organised by the Spanish Society of Rock Mechanics (SEMR) in May 2024, where international cases of underground works using BIM were presented. Participants highlighted a lack of modelling software solutions, interoperability, and well-established workflows and pointed to a need for standards that clearly define entities in the geotechnical discipline. In this work, we note the shortcomings of the existing official IFC versions 2x3, 4 and 4.3 as alternatives to advance interoperability in the geotechnical field. We finally analysed the recently published IFC extension IFC-4-Tunneling and found it a fundamental step in solving the existing limitations. The authors consider it urgent that this extension be quickly approved and standardised through ISO so that it can be implemented soon by contractors, consultants and software providers.

***Keywords**: geotechnical BIM, IFC-4-Tunneling, underground works, geotechnical discipline, interoperability.*

Resumen

En este artículo presentamos las principales conclusiones de una jornada técnica por la Sociedad Española de Mecánica de Rocas (SEMR) en mayo de 2024, en la que se presentaron casos internacionales de obras subterráneas donde se aplicó la metodología BIM. Los participantes destacaron la falta de soluciones de software de modelado, de interoperabilidad y flujos de trabajo bien establecidos y señalaron la necesidad de estándares que definan claramente las entidades de la disciplina geotécnica. En este trabajo señalamos las deficiencias de las actuales versiones oficiales 2x3, 4 y 4.3 de IFC como alternativas para avanzar en la interoperabilidad en el campo geotécnico. Finalmente, analizamos la extensión IFC-4-Tunneling, recientemente publicada, y que consideramos un paso fundamental para solventar las limitaciones existentes. Los autores consideran urgente que esta extensión sea rápidamente aprobada y normalizada a través de ISO para ser implantada en breve por contratistas, consultores y proveedores de software.

***Palabras clave:** BIM geotécnico, IFC-4-Tunneling, obras subterráneas, disciplina geotécnica, interoperabilidad.*

 BY-NC-SA

Introduction

The need to produce, transmit and interpret geological and geotechnical information is present in almost all infrastructure public contracts. Its integration into the BIM methodology is an increasingly common requirement in consultancy and building contracting specifications. The truth is that integrating geotechnical information in the BIM methodology is not yet well-solved (Khan et al., 2021; Sharafat et al., 2021). Therefore, it is typical for public contracts not to demand this type of use in BIM models. This is mainly because (1) geological and geotechnical information is shared between stakeholders in multiple formats, such as Excel spreadsheets, Word reports, PDF documents and other Computer-Aided Design (CAD) formats with two-dimensional (2D) representation, and is still managed in fragmented methods, poorly linked and lacking visualisation and integration between formats and software; and that (2) despite the benefits of the BIM methodology, its application for geological and geotechnical data is not easy due to the complex nature of the information (Khan et al., 2023). The structure of the IFC approved standard still lacks the elements that adequately represent geological entities and geotechnical metadata (Huang et al., 2022), and for this reason, efforts are focused on improving the implementation of geotechnical BIM objects and methods in the IFC standard (Mitelman and Guverich, 2021).

To investigate the level of maturity of BIM in the Spanish geotechnical engineering industry, the Spanish Society of Rock Mechanics (SEMR) held a symposium in Madrid (Spain) in May 2024 organised by the authors of this article (Fig. 1) (SEMR, 2024). The companies ACCIONA, SENER, IDOM, and TYPSA presented international cases of underground works where the BIM methodology was applied. The headlines that would best capture the participants' vision are quoted below. Firstly, it was interesting to hear how they managed to meet the contractual BIM requirements at the cost of investing tremendous effort, mainly due to the lack of specific tools and the non-existence of interoperability, which in many cases required the development of particular applications and imaginative workflows. Indeed, few commercial solutions are ready to cover the entire geotechnical workflow: starting from public georeferenced geotechnical sources (practically non-existent, and even more so in IFC) to provide the factual data, those data to be worked in geological modelling software - the interpreted geotechnical models to import them into BIM infrastructure modelling software - and a final numerical or analytical verification through geotechnical software. Ultimately, project-specific solutions must be developed to achieve interoperability, which is time-consuming and costly. Notably, some contractors explicitly named IFC as an expected solution to alleviate these problems.

Fig. 1 Symposium on BIM applied to geotechnical engineering organised by SEMR in Madrid in May 2024.

All the above explains the existing research interest in integrating geoscience information in BIM models to take advantage of the capabilities offered for the digital representation of geometry and associated semantic information. This paper analyses the possibilities of the IFC as an open, non-proprietary alternative to advance interoperability in the geotechnical field. To do so, we identify the entities (and their attributes) and the property sets available in the officially approved versions (2x3, 4 and 4.3) that could represent the geological and

 BY-NC-SA

geotechnical objects. Finally, we analyse the recently released IFC-4-Tunnelling extension to cover identified gaps.

1. Research methods

The elements commonly used in geotechnical engineering can be divided into three main groups: (1) elements representing lithologies, geological and hydrogeological structures, (2) elements representing means for ground investigation and geo-models, and (3) constructive elements representing geo-structures. The latter group would comprise earthworks, anchors, soil-nailed structures, rock bolts and rock surface support, reinforced fill structures, ground improvement, spread and deep foundations, and earth-retaining structures. In this research, all those elements included in the scope of action of the officially approved Eurocode 7 – Geotechnical Design (EC-7) (CEN, 2024) will be considered constructive geotechnical engineering elements. Tunnels and underground construction elements are out of the scope of this research due to their high complexity and specificity, as well as the existence of sector-specific standards and guidelines.

The research methodology consists of searching for the coincidence between the geotechnical elements established in the EC-7, with entities defined in the officially approved versions of IFC and the recently released IFC-4-Tunnelling extension, hosted on the buildingSMART technical website (buildingSMART International, 2025). For each match, we analyse the semantic description of the IFC entity to verify that it fundamentally matches the description given in EC-7. From there, we query each entity's attributes and the associated property sets, listing their property set names (starting with Pset_) and highlighting individual properties. These are compared with the information typically required in geotechnical engineering based on the authors' professional, teaching, and research experience.

2. Results and discussion

In this section, we map the geotechnical elements referred to as Eurocode EC-7 with the entities available in the officially approved versions of the IFC, and the results are shown in Table 1. The results are grouped below according to (1) elements representing lithologies, geological and hydrogeological structures, (2) elements representing means for ground investigation and monitoring, and (3) constructive elements representing geo-structures.

2.1. Elements representing lithologies, geological and hydrogeological structures

Soil, rock and groundwater representation appear in the IFC version 4.3 ADD2 for the first time. The element representing the real concept of a stratum is IfcGeotechnicalStratum, a subtype of abstract IfcGeotechnicalElement belonging to the IfcSharedInfrastructureElements layer. Type can be selected via IfcGeotechnicalStratumTypeEnum between solid (soil or rocks including faults and fractures), void (representing air voids and caves), and water. More detail on strata features requires using property sets included in the IFC version 4.3 ADD2. Thus, Pset_GeotechnicalStratumCommon allows general features such as colour, texture, and piezometric conditions to be provided. Pset_SolidStratumComposition describes the volumetric composition of the soil constituents (rock, gravels, sands, silts, clays and organic matter), voids and water. With this, it is possible to deduce the usual volumetric relationships in geotechnics (such as porosity, void ratio, and degree of saturation). However, this property set does not include geotechnical data such as moisture or the different density forms of soils and their constituent particles. There are also no standardised properties for identification (granulometric curves and Attemberg limits) and soil classifications (i.e. USCS). The schema also includes Pset_SolidStratumCapacity, where the strength parameters can be defined according to the Mohr-Coulomb criterion (cohesion and friction angle), load-bearing capacity, deformational parameters (Poisson's ratio and settlement behaviour), the hydraulic permeability of the medium, and other physical parameters such as the propagation velocity of ultrasonic waves P and S, and the electrical resistivity. However, it is impossible to state the constituent model of the resistant behaviour of soil and rocks and their drained and undrained parameters. The same applies to the deformational model, with no specific field for a key parameter such as the Young's modulus. Furthermore, it is impossible to state parameters specific to

 BY-NC-SA

consolidation theory, which explains the long-term deformational behaviour in saturated cohesive soils. In short, although this set of properties includes some of the most common parameters in geotechnics, there are notable shortcomings.

Table 1 Geoscience concepts and their correspondence with entities and property sets in the officially approved IFC standards.

Terms related to	**Concept**	**Main entity**	**Related Entities and Pset**	**IFC version**
Ground investigation	Exploratory holes and openings	IfcBorehole	Pset_BoreholeCommon Pset_GeotechnicalAssembly Common	IFC 4.3 ADD2
	Field investigation techniques	Not Defined	Not Defined	
Representation of soil and groundwater	Stratum	IfcGeotechnicalStratum	Pset_GeotechnicalStratumC ommon Pset_SolidStratumCapacity Pset_SolidStratumCompositi on	IFC 4.3 ADD2
	Groundwater	IfcGeotechnicalStratum	Pset_GeotechnicalStratumC ommon	IFC 4.3 ADD2
	Piezometric level	IfcGeotechnicalStratum	Pset_GeotechnicalStratumC ommon	IFC 4.3 ADD2
Earthworks	Excavation	IfcEarthworksCut	Pset_TrenchExcavationCom mon	IFC 4.3 ADD2
	Filling	IfcEarthworksFill	Not Defined	IFC 4.3 ADD2
	Cutting	IfcEarthworksCut	Pset_TrenchExcavationCom mon	IFC 4.3 ADD2
	Embankment	IfcEarthworksFill	Not Defined	IFC 4.3 ADD2
	Levee	IfcEarthworksFill	Not Defined	IFC 4.3 ADD2
	Slope	Not Defined	Not Defined	
Spread foundations	Pad foundations	IfcFooting	IfcFootingType Pset_FootingCommon	IFC 4 ADD2 TC1
	Strip foundation		(same as pad foundations)	
	Raft foundation		(same as pad foundations)	
	Caisson	IfcCaissonFoundation	IfcCaissonFoundationType	IFC 4.3 ADD2
Deep foundations	Bored cast-in-place pile	IfcPile	IfcPileType IfcDeepFoundation Pset_PileCommon	IFC 4 ADD2 TC1
	Displacement pile		(same as bored cast-in-place pile)	
	End bearing pile		(same as bored cast-in-place pile)	
	Friction pile		(same as bored cast-in-place pile)	
	Pile group		(same as bored cast-in-place pile)	
	Trial pile	Not Defined	Not Defined	
Retaining structures	Cantilever wall	IfcWall	Pset_WallCommon	IFC 2x3 TC1
	Gravity wall	IfcWall	Pset_WallCommon	IFC 2x3 TC1
	Embedded wall	IfcWall	Pset_WallCommon	IFC 2x3 TC1
	Soldier pile wall	Not Defined	Not Defined	
Anchors	Grouted anchor	Not Defined	Not Defined	
Reinforced ground	Reinforced fill structures	Not Defined	Not Defined	
	Soil nailed structures	Not Defined	Not Defined	
	Bolt structures	Not Defined	Not Defined	
	Rock surface support	Not Defined	Not Defined	
	Basal reinforcement to embankments	Not Defined	Not Defined	
	Soil veneer reinforcement	Not Defined	Not Defined	
Ground improvement	Ground improvement Inclusions	IfcReinforcedSoil	IfcReinforcedSoilTypeEnum	IFC 4.3 ADD2

2.2. **Elements representing means for ground investigation and geo-models**

Elements representing ground investigation appear for the first time in IFC 4.3 ADD2, including IfcBorehole, IfcGeoslice, and IfcGeomodel, representing linear, planar, and volumetric geological and geotechnical models,

 BY-NC-SA

respectively. They do not have specific attributes defined (beyond the inherited ones), and the IFC 4.3 ADD2 specification states that this will be provided in subsequent standard versions. Property set Pset_BoreholeCommon allows the inclusion of more detail expressed in the exchange format Borehole Markup Language (BoreholeML) and refers to borehole cap (depth and material), filling (depth and material), lining (thickness and material), and groundwater level. There are no additional property sets associated with IfcGeoslice and IfcGeomodel. Finally, Pset_GeotechnicalAssemblyCommon is defined to give detail on the characteristics of any geotechnical model (i.e. purpose, methodology, limitations). The IFC 4.3 ADD2 specification does not introduce attributes and property groups defining on-site and laboratory test results, distinguishing between factual and interpreted information.

2.3. **Constructive elements representing geo-structures**

This section covers the usual constructive elements in geotechnical engineering, such as earthworks, anchors, soil-nailed structures, rock bolts and rock surface support, reinforced fill structures, ground improvement, spread and deep foundations, and earth-retaining structures.

Earthworks include cuttings and embankments, which are associated with the generation of slopes. These elements appear for the first time in IFC 4.3 ADD2. Thus, cuttings are represented by the entity IfcEarthworksCut. Type can be selected between general (i.e., trench, topsoil removal) or more specialised types of excavation (i.e. dredging, step excavation). Basic geometrical dimensions of trenches (depth and width) can be assigned through Pset_TrenchExcavationCommon. No attributes or properties are reserved for slopes detailing their stability (e.g. alteration, geomechanical quality, or the presence of surface water) or the means of excavation (i.e. mechanical, blasting, pre-cutting), which is essential in defining the means of stabilisation. On the other side, embankments are represented by IfcEarthworksFill, and type can be selected between different options (i.e., embankment, backfill), although some types are missing (i.e. levee). No property sets are included in the standard related to earthworks fill. However, for this type of structure, the geometry (heights and slopes) and the quality control of the on-site material are essential.

Anchors refer to structural elements capable of transmitting an applied tensile load from the anchor head through a free anchor length to a resisting element and finally into the ground. There are no entities representing such anchors in the approved IFC versions. Let it be noted that tendons and anchors related to prestressed concrete elements are defined since IFC 2x3 TC1 (i.e. IfcTendon, IfcTendonAnchor) in the IfcStructuralElementsDomain, but the applications of such elements are not comparable to those used in geotechnical engineering.

Some standard ground improvement techniques are represented in IFC 4.3 ADD2 by the IfcReinforcedSoil entity in the IfcSharedInfrastructureElements layer. It is possible to choose between compaction (roller or dynamic compacted), consolidation (surcharge preloaded and vertically drained), structural reinforcement (grouted) and replacement techniques. The range of existing improvement techniques is vast, so the user-defined type is also available. The resulting physical and mechanical properties of reinforced soils can be defined with property sets such as Pset_SolidStratumComposition or Pset_SolidStratumCapacity, with the limitations for these entities already discussed above.

Spread and deep foundations are included in the IFC since version 4, both in the IfcStructuralElementsDomain layer. Entity IfcFooting represents spread foundations, and the type can be defined through IfcFootingTypeEnum between pad, strip, and caisson foundations. Raft foundations are not among the eligible types. Property sets Pset_FootingCommon or Pset_FootingTypePadFooting do not include additional information of interest in geotechnics (i.e. the transmitted load or the effective area to determine ultimate bearing pressure). On the other hand, deep foundations are represented by IfcPile, where the type allows for the definition of general features (i.e., bored, driven, grouted, friction, or support pile). Property set Pset_PileCommon does not provide substantial geotechnical information needed to design such elements (i.e. the equivalent diameter to determine the skin friction and toe load).

 BY-NC-SA

Earth-retaining structures are represented mainly by IfcWall, which is part of all official versions. The attribute IfcWallTypeEnum allows this entity to be classified as a retaining wall, but further geotechnical classification of interest is still unavailable (i.e. gravity, cantilever, pile, coating wall). The Pset_WallCommon does not allow more detail from the point of view of geotechnics (i.e. the soil-wall friction).

Finally, the approved IFC versions do not represent soil-nailed structures, rock bolts, rock surface support, and reinforced fill structures.

2.4. **IFC extension IFC-4-Tunneling as an expected solution to improve geotechnics in BIM**

The IFC-4-Tunneling extension completes the IFC schema with the primary goal of incorporating tunnel-specific elements. Its development started in 2020 and was officially presented by one of the authors of this paper at the last bSI Summit in Marrakesh in September 2024. The IFC-4-Tunneling extension was developed in collaboration with the International Tunnelling and Underground Space Association (ITA) and the Open Geospatial Consortium (OGC), as well as software providers, consultancies, and contractors, thus seeking the maximum consensus in the industry. The development focused on three distinct fields: geotechnics, excavation and structures, and systems for operation. Our analysis of the IFC-4-Tunnelling extension is limited to developments in the general geotechnical discipline. So, specific aspects of tunnel engineering are dismissed (i.e. excavation methods and dewatering, lining and systems for operation). This article focuses on entities representing real objects related to geotechnical engineering, which are mainly hosted in the IfcSharedInfrastructureElements layer. Fundamental developments in the geoscience discipline are focused on the definition of ground investigation and the representation of soil and groundwater. Advances focus on creating entities and attributes, which sometimes deprecate existing entities, and fundamentally on creating many property sets. This IFC extension also progresses in completing the definition of earthworks, reinforced ground and ground improvement (see Table 2).

Focusing on the ground investigation, the entity IfcGeoScienceObservation represents detailed collected information (i.e. measured parameters, descriptions) related to geoscientific observations that can be assigned to physical or spatial elements using IfcRelAssignsToProduct. Attributes of geoscience observations allow definition between in situ or laboratory tests, borehole logs, mapped geological structures (i.e. lineaments, fold axes, discontinuity surfaces), local information (i.e. discontinuities, water inflow, weathering) and geophysical data. A total of 23 new property sets directly related to this entity provide details on multiple geoscientific observation types.

Observations of geological structures can now be detailed, such as faults (Pset_GeoObsDiscontinuityFault), folds (Pset_GeoObsFoldAxis) and geological alignments (Pset_GeoObsLineation). Also, data of great interest in the characterisation of rock masses such as discontinuities (Pset_GeoObsDiscontinuityCommon) and the geomechanical characterisation and weathering of the massif (Pset_GeoObsMappedUnit).

Boreholes remain represented by IfcBorehole in this IFC extension, where predefined types now include core drilling, destructive drilling, boreholes for dewatering, and trial pits, thus covering the most usual cases. Detailed information can be novelty provided on the installation (i.e. elevation, inclination, azimuth, length planned and drilled, drilling method), geometry and materials (i.e. diameter, lining), even on the drilling contractor and operator (Pset_BoreholeCommon, Pset_GeoObsBoreholeCommon, Pset_GeoObsBoreholeConstruction, Pset_SpatialGeoObsBorehole). On borehole observations, rock material properties such as RQD, fracture rate or weathering can be detailed (Pset_GeoObsBoreholeGeoLogInterval), as well as information from the installed piezometers (Pset_GeoObsBoreholeWaterLevel).

It is now also possible to give details of in-situ observations using sensors (Pset_SpatialGeoObsSensor) and in-situ tests such as type and depth (Pset_InSituTestCommon), borehole tests such as pressuremeters (Pset_BoreholeTestPressuremeter) and SPT tests (Pset_BoreholeTestSPT). CPT tests (Pset_InSituTestCPT) and results of in-situ pumping tests in soil or rock (Pset_InSituTestHydro) are also represented. Regarding laboratory tests, common properties for samples can be detailed, such as type, depth, extract procedure and the purpose for what the sample was collected (Pset_SpatialGeoObsSample). Also, laboratory test methods and standards can be defined (Pset_LabTestCommon), and the properties resulting from commonly conducted

 BY-NC-SA

laboratory tests on soil, rock or fluid specimens (Pset_LabTestResult). The available laboratory results list is not exhaustive but implies a significant step forward for exchanging factual geotechnical information.

On the geophysical survey, it is now possible to give details on the methods and instruments used (Pset_GeophysicalSurveyCommon), configuration of the sources and receivers used in the borehole geophysical surveys (Pset_GeophysicalSurveyBorehole), as well as the most usual observed parameters such as ultrasound wave velocity, elastic parameters or density (Pset_GeoObsBoreholeGeophysicalInterval).

The representation of ground and groundwater is the interpreted data from geoscience factual observations. Thus, such interpreted data is now provided by the novel entity IfcGeoScienceFeature, which deprecates IfcGeotechnicalStratum. The types available allow the definition of interpreted geological structures (contact, fold, fault), geotechnical units, discontinuities, cavities, fluid masses, piezometric levels, and hazard areas. A great deal of detail on geoscience units (Pset_GeoScienceFeatureTypeGeologicalUnit) can now be given, including the most common physical properties in strata (Pset_GeoSciencePropertiesCommon). Also, geologic structures can be defined, such as geological contacts (Pset_GeoScienceFeatureTypeContact), faults (Pset_GeoScienceFeatureTypeFault), and folds (Pset_GeoScienceFeatureTypeFold). Detailed information on the nature and geomechanical features of soil (Pset_GeoScienceFeatureTypeSoilLikeMaterial), intact rock (Pset_GeoScienceFeatureTypeIntactRock) and rock discontinuities (Pset_GeoScienceFeatureTypeDiscontinuity) can be additionally made available. Also, fluid bodies (Pset_GeoScienceFeatureTypeFluidBody) and hydrogeological units (Pset_GeoScienceFeatureTypeHydroGeoUnit) can now be detailed. Geological hazards can also be defined, including the type, likelihood of occurrence, degree of intensity or hazard level (Pset_GeoScienceFeatureTypeGeoHazard).

The entity IfcGeoScienceModel is also new in this extension of the IFC schema; it allows the representation of models of the geological structure interpreted from the factual data. The predefined types for this entity are geological, geotechnical, hydrogeological, geohazard, or variation of geotechnical properties models. The previous entities substitute the pre-existing IfcGeomodel and IfcGeoslice. Notably, this extension introduces voxels to continuously represent geological and geotechnical data. The voxel model consists of a geometric representation item (IfcVoxelGrid entity) and a structure for adding data to the voxel elements (IfcVoxelData entity with all its derived entities).

The new abstract entity IfcExcavation encompasses the existing IfcEarthworksCut and the new IfcUndergroundExcavation, which includes IfcFaceExcavation and IfcRadialExcavation, specific to tunnel engineering. IfcEarthworksCut incorporates new types representing open slope excavation where the sides are vertical or near vertical (confined open excavation), where the vertical walls are anchored (anchored open excavation), and where the vertical walls are braced (braced open excavation). A new set of properties can be attached, such as Pset_EarthworksCutCommon, where predefined excavation methods can be specified (i.e. hand, excavator, jackhammer, ripper, and drill and blast). Regarding the definition of fills, IfcEarthworksFill incorporates a new type representing slope fills and is assigned a new set of properties, Pset_EarthworksFillCommon, that allows selecting the type of fill material and defining the means of compaction. Factors such as optimum Proctor density and moisture content, commonly used in this activity, cannot yet be defined.

This extension incorporates a new IfcGroundReinforcementElement entity to represent ground reinforcement. Among the predefined types are bolt, tendon, pile, and geotextiles or geosynthetic materials, and for each of them, there is a new set of properties that allows for the detailing of geometry, materials, and mechanical properties. This contributes to a more complete definition of geotechnical elements that did not exist in previous versions of the scheme, such as soil-nailed structures, rock bolts, rock surface support, and reinforced fill structures. *S*oil improvement is also completed in this extension by the entity IfcImprovedGround, which deprecates the existing IfcReinforcedSoil. It is now possible to tag types such as injection, grouted, jet grouted, mixing weak soils with cementitious binder, freezing and dewatering. Each ground improvement technique has its own set of properties to give details about materials, properties and their application.

 BY-NC-SA

Finally, the geotechnical disciplines relating to foundations and retaining structures are not further elaborated in the IFC extension IFC-4-Tunneling.

Table 2 Geoscience concepts and their correspondence with entities and property sets in the IFC extension IFC-4-Tunneling.

Terms related to	Main entity	Related Entities	Related Pset	Substitutes
Ground investigation	IfcGeoScienceObservation	IfcObservation	Pset_GeoObsCommon Pset_GeoObsBoreholeCommon Pset_GeoObsBoreholeConstruction Pset_GeoObsBoreholeGeoLogInterval Pset_GeoObsBoreholeGeophysicalInterval Pset_GeoObsBoreholeMWDInterval Pset_GeoObsBoreholeWaterLevel Pset_GeoObsDiscontinuityCommon Pset_GeoObsDiscontinuityFault Pset_GeoObsFoldAxis Pset_GeoObsHydroGeologyWaterInflow Pset_GeoObsLineation Pset_GeoObsMappedUnit Pset_GeoObsPtObservationCommon Pset_GeophysicalSurveyBorehole Pset_GeophysicalSurveyCommon Pset_InSituTestCommon Pset_InSituTestCPT Pset_InSituTestHydro Pset_LabTestCommon Pset_LabTestResult Pset_SpatialGeoObsSample Pset_SpatialGeoObsSensor	
	IfcBorehole	IfcGeoscienceElement	Pset_BoreholeCommon Pset_BoreholeTestPressuremeter Pset_BoreholeTestSPT Pset_SpatialGeoObsBorehole	
Representation of soil and groundwater	IfcGeoScienceFeature	IfcGeoscienceElement	Pset_GeoScienceFeatureTypeContact Pset_GeoScienceFeatureTypeDiscontnuity Pset_GeoScienceFeatureTypeFault Pset_GeoScienceFeatureTypeFluidBody Pset_GeoScienceFeatureTypeFold Pset_GeoScienceFeatureTypeGeoHazard Pset_GeoScienceFeatureTypeGeologicalUnit Pset_GeoScienceFeatureTypeHydroGeoUnit Pset_GeoScienceFeatureTypeIntactRock Pset_GeoScienceFeatureTypePiezometricWaterLevel Pset_GeoScienceFeatureTypeRockMass Pset_GeoScienceFeatureTypeSoilLikeMaterial Pset_GeoSciencePropertiesCommon	IfcGeotechnicalStratum
	IfcGeoScienceModel	IfcGeoscienceElement	Pset_GeoScienceModelCommon	IfcGeoslice; IfcGeomodel
Earthworks	IfcExcavation IfcEarthworksCut		Pset_ExcavationCommon Pset_EarthworksCutCommon Pset_EarthworksCutTypeTrench	
	IfcEarthworksFill	IfcEarthworksElement	Pset_EarthworksFillCommon	
Anchors	IfcGroundReinforcementElement		Pset_GroundReinforcementElementTypeTendon	
Reinforced ground	IfcGroundReinforcementElement		Pset_GroundReinforcementElementTypeBar	

BY-NC-SA

Terms related to	Main entity	Related Entities	Related Pset	Substitutes
			Pset_GroundReinforcementElementTypePile Pset_GroundReinforcementElementTypeTendon Pset_GroundReinforcementElementTypeTube Pset_GroundReinforcmentElementTypeBolt	
Ground improvement	IfcImprovedGround	IfcEarthworksElement	Pset_ImprovedGroundCommon Pset_ImprovedGroundTypeDewatered Pset_ImprovedGroundTypeInjectionGrouted Pset_ImprovedGroundTypeJetGrouted	

3. Conclusions

The contributions of this article are two-fold. First, we match the geotechnical elements established in the Eurocode 7 – Geotechnical Design (EC-7) with entities defined in the officially approved versions of IFC. The main conclusions are listed below:

1. Elements representing geoscience elements such as ground investigation, models, ground and groundwater strata, earthworks and ground improvement appear for the first time in IFC 4.3 ADD2, with no references in previous versions of the IFC schema. Spread and deep foundations have been included in the IFC since version 4 ADD2 TC1, and earth-retaining structures have been included since IFC 2x3 TC1.
2. Elements representing ground investigation and geoscience models in IFC 4.3 ADD2 lack specific attributes and property sets to define on-site and laboratory test results, distinguishing between factual and interpreted information.
3. Regarding earthworks, no attributes or properties are defined for slopes detailing their geometry, stability or the means of excavation, which is essential in defining the means of stabilisation.
4. Some types are missing for embankments, and no property sets are included in the standard related to earthworks fill. However, for this type of structure, the geometry (heights and slopes) and the quality control of the on-site material are essential.
5. Some standard ground improvement techniques are represented, although no geotechnical detail can be added.
6. Regarding foundations and earth-retaining structures, attributes and property sets do not provide substantial geotechnical information needed to design such elements.
7. Finally, the approved IFC versions do not represent soil-nailed structures, rock bolts, rock surface support, and reinforced fill structures.

Second, we also analyse the recently released IFC-4-Tunnelling extension to address the abovementioned deficiencies. Fundamental developments in the geoscience discipline are focused on the definition of ground investigation and the representation of soil and groundwater. These advances primarily entail establishing entities and attributes which supersede existing entities in certain instances. A significant focus is placed on the creation of numerous property sets. This IFC extension also significantly progresses in defining earthworks, reinforced ground, and ground improvement.

Recognising the clear advantages and pressing need for better interoperability in geotechnical BIM, we emphasise the urgent necessity for quick ISO approval and standardisation of the IFC-4-Tunneling extension. A planned and gradual implementation is key to making the most of its potential and meeting the industry's rising demands. This process should start with software vendors focusing on incorporating IFC-4-Tunneling into their BIM platforms. The initial step is software implementation, which should be directed by well-defined Model View

 BY-NC-SA

Definitions (MVDs) that cater to specific geotechnical scenarios, like data exchange for tunnel excavation or ground investigation reporting. These MVDs, created within a comprehensive Information Delivery Manual (IDM) framework, will offer clear instructions for software developers and ensure consistent data exchange. With strong software support, the broader community of contractors, consultants, designers, and other stakeholders can effectively adopt and use IFC-4-Tunneling in their projects. Consequently, we advocate for a joint effort to prioritise software implementation and enable stakeholders to ensure this essential extension's swift and significant adoption, both globally and in Spain.

Acknowledgements

This research has been partially funded by the Spanish National Research Agency (Agencia Estatal de Investigación) through the project "BEAMCON - BIM-Enabled Road Information System for Automated Management using CONnected Vehicles," reference PID2023-150642OA-I00.

References

buildingSMART International, 2025. IFC Specifications Database [WWW Document]. https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/

CEN, 2024. Eurocode 7 - Geotechnical design - Part 3: Geotechnical structures, EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION.

Huang, M.Q., Zhu, H.M., Ninić, J., Zhang, Q.B., 2022. Multi-LOD BIM for underground metro station: Interoperability and design-to-design enhancement. Tunnelling and Underground Space Technology 119, 104232. https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104232

Khan, M.S., Kim, I.S., Seo, J., 2023. A boundary and voxel-based 3D geological data management system leveraging BIM and GIS. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 118, 103277. https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103277

Khan, M.S., Park, J., Seo, J., 2021. Geotechnical Property Modeling and Construction Safety Zoning Based on GIS and BIM Integration. Applied Sciences 11, 4004. https://doi.org/10.3390/app11094004

Mitelman, A., Gurevich, U., 2021. Implementing BIM for conventional tunnels – a proposed methodology and case study. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 26, 643-656. https://dx.doi.org/10.36680/j.itcon.2021.034

SEMR, 2024. XXI Jornada Técnica Anual de la SEMR: el BIM en la Ingeniería de Rocas [WWW Document]. https://youtu.be/fmgv9vnYJn8?si=p98SRBaXmNm4mMn3

Sharafat, A., Khan, M.S., Latif, K., Seo, J., 2021. BIM-Based Tunnel Information Modeling Framework for Visualization, Management, and Simulation of Drill-and-Blast Tunneling Projects. Journal of Computing in Civil Engineering 35. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000955

 BY-NC-SA

CULTURA ÁGIL EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS BIM: DE LA TEORÍA A LA PRÁCTICA

Gutiérrez Sánchez, Ana Belén; Benítez Balseiro, María
Responsable de procesos y operaciones, Apogea Consultores, agutierrez@apogeaconsulting.com; Arquitecta Coordinadora de Grupo, Isdefe, mbenitez@isdefe.es.

Abstract

Controlling planning and reducing uncertainty in projects developed under BIM methodology is presented as a key element in project management. Traditional project management does not precisely adapt to the new demands of the AECO sector, especially with integration of technologies such as BIM and Artificial Intelligence.

This communication explores how agile methodologies are implemented to improve planning, minimize risks, and increase project quality. The research develops two practical cases of planning projects in the design phase. It covers from the initial analysis of tasks to the closure of the project, going through all the intermediate processes required by agile management.

This article aims to share experiences and results of two companies in the AECO sector with different approaches. Both companies use agile methodologies for managing BIM projects, with differentiated objectives and achieving improvements in the productivity and quality of the projects in both cases.

***Keywords**: a short list of a maximum of ten keywords, separated by commas, will be included. For example: convergence, competences, training, València, methodology, evaluation, etc.*

Resumen

Controlar la planificación y reducir la incertidumbre en proyectos desarrollados bajo la metodología BIM se presenta como un elemento clave en la gestión de proyectos. La gestión tradicional de proyectos no se adapta bien a las nuevas exigencias del sector, especialmente con la integración de tecnologías como BIM y la Inteligencia Artificial.

Esta comunicación explora cómo se implementan metodologías ágiles para mejorar la planificación, minimizar los riesgos y aumentar la calidad de los proyectos. La investigación desarrolla dos casos prácticos de planificación de proyectos. Abarca desde el análisis inicial de tareas hasta el cierre del proyecto, pasando por todos los procesos intermedios que requiere la gestión ágil.

Este artículo pretende compartir experiencias y resultados de dos empresas del sector AECO con distintos enfoques. Ambas empresas usan metodologías ágiles para la gestión de proyectos BIM, con objetivos diferenciados y consiguiendo en ambos casos mejoras en la productividad y calidad de los proyectos.

***Palabras clave:** BIM, Building Information Modeling, Agile Management, Scrum, AI, Planning.*

 BY-NC-SA

Introducción

Scrum es una metodología ágil para la gestión y desarrollo de proyectos que permite a los equipos trabajar de manera colaborativa e iterativa. Se basa en ciclos de trabajo cortos llamados Sprints, donde los equipos interfuncionales y autoorganizados entregan incrementos de valor del producto. El proceso de Scrum se guía por principios como la transparencia, inspección y adaptación, y utiliza roles definidos como el **Scrum Master**, el **Product Owner** y el **Equipo Scrum** para optimizar la entrega del producto y fomentar la mejora continua (Sutherland & Sutherland, 2014).

La metodología BIM es una **forma de trabajo colaborativa** apoyada en estándares y tecnologías que permite el intercambio de información entre todos los agentes que intervienen en el ciclo de vida de un edificio o construcción. BIM permite centralizar en un modelo digital toda la **información de un activo**, desde la fase de diseño, construcción, gestión, hasta la de mantenimiento y/o demolición, lo que facilita una gestión más eficaz en los procesos de diseño, construcción y operación de los activos, proporcionando una base confiable para la toma de decisiones. Su uso contribuye así mismo a disminuir el impacto de la construcción en el medio ambiente al reducir el volumen de residuos y los costes de su gestión (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2025)

Ambas son metodologías de trabajo, y ambas son forma de trabajo colaborativo, en BIM debe existir un intercambio de información entre los agentes, y scrum organiza cuando y quien dirige ese intercambio de información. Son dos sistemas de trabajo que se complementan. Ambos **promueven la colaboración y el trabajo en equipo**, pero mientras Scrum define equipos multidisciplinares e interfuncionales que se organizan de forma autónoma para generar “Incrementos de Valor de Producto”, BIM hace hincapié sobre el intercambio de información como vehículo de coordinación a través del Entorno Común de Datos (CDE).

Otro elemento común es **la iteración y la mejora continua**, aunque en Scrum esta se produce en ciclos cortos (sprints), mientras que en BIM es la propia actualización e incremento de la información en el modelo la que vehicula esta mejora continua. Ambas metodologías **se enfocan en mejorar procesos y eficiencia**, Scrum optimiza flujos de trabajo y reduce desperdicios, y BIM centraliza la información, reduciendo errores y eliminando retrabajos. En las dos metodologías **se definen roles y herramientas**, en este caso, en Scrum estos roles están encaminados a fomentar la autonomía, mientras en BIM están orientados a delimitar funciones, este es uno de los puntos donde las metodologías pueden converger menos, aunque veremos en los ejemplos reales que la divergencia puede ser enriquecedora.

El **enfoque en la toma de decisiones informada es otro de los puntos de encuentro**, en Scrum esto se hace mediante la inspección y la transparencia (dos de los tres pilares,) mientras que en BIM se hace a través de la centralización de la información. Por último, también ambas están **orientadas a reducir riesgos**, Scrum mediante entregas incrementales, y BIM mediante el avance orientado a datos.

Estudios recientes destacan sinergias potenciales entre ambos sistemas. Chai et al. (2023) identifican que la naturaleza iterativa de Scrum complementa los flujos de actualización continua de BIM, permitiendo una gestión dinámica de modelos complejos. Examinaron los puntos en común entre Agile Scrum (AS) y Building Information Modeling (BIM) y exploraron la posibilidad de integrar BIM en el marco Agile Scrum, llamado BIM-Scrum. Sugieren ajustes y mejoras específicas para permitir la adaptación de BIM a Scrum.

El trabajo de Santín Sica (2023) propone la integración entre la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción y los estándares de la guía de buenas prácticas para la dirección de proyectos PMBOK® de PMI®. Identifica la existencia de deficiencias en algunos de los procedimientos entre BIM y la gestión mediante PMBOK®, como son los procesos de costes, riesgos y adquisiciones. Se ha podido comprobar que BIM complementa algunos espacios vacíos que deja PMBOK®. Como resultado, se da un modelo que estructura ambas metodologías capaces de adaptarse a cualquier proyecto del sector de la AEC. La generación de mapas de flujo de trabajo permite ayudar a todos los interesados a ser capaces de desarrollar los procesos de manera efectiva y contribuir a un proyecto exitoso.

Shim et al. (2024) proponen una metodología de gestión de proyectos de construcción basados en BIM apoyada en un enfoque de control de procesos empíricos. La metodología de gestión proporcionó prácticas

 BY-NC-SA

específicas basadas en el marco Scrum, y el modelo se construyó y validó a través de la metodología exCPM (Extended Collaborative Process Modeling).

La convergencia entre Building Information Modeling (BIM) y metodologías ágiles como Scrum se ha posicionado como un enfoque innovador para abordar los desafíos de planificación, colaboración y gestión de riesgos en proyectos del sector AECO (Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operaciones). Este trabajo presenta dos estudios de caso que muestran cómo la integración de estas metodologías optimiza los procesos, reduce tiempos de ejecución y mejora la calidad de los entregables. Los resultados evidencian una reducción del 30,5% en horas de trabajo en un entorno con equipos técnicos especializados y una mejora del 30,0% en los tiempos de ejecución con equipos técnicos multidisciplinares, respaldando la viabilidad de este enfoque híbrido en contextos complejos.

1. Metodología y recursos

La gestión tradicional de proyectos de construcción presenta limitaciones para absorber cambios frecuentes y coordinar equipos multidisciplinares en entornos BIM. Este estudio analiza dos estrategias de integración metodológica:

1. **Enfoque de implementación con equipos técnicos especializados**: Optimización de flujos de trabajo en cadena con roles de equipos técnicos especializados.
2. **Enfoque de implementación con equipos técnicos multidisciplinares**: Gestión ágil de equipos técnicos con competencias transversales.

El objetivo principal es cuantificar el impacto de estas estrategias en indicadores clave de desempeño (tiempos, calidad, satisfacción del equipo) y proponer un marco de referencia para su implementación.

1.1. Diseño del estudio

Se adoptó una metodología mixta que combina:

- **Análisis cuantitativo**: Mediciones temporales comparativas pre/post-implementación.
- **Evaluación cualitativa**: Entrevistas semiestructuradas a participantes.
- **Modelado predictivo**: Uso de algoritmos de IA para optimización de cargas de trabajo.

1.2. Estudio de Caso 1: Enfoque de implementación con equipos técnicos especializados

Consiste en realizar un proceso de gestión de tareas para integrarlo en el procedimiento de trabajo colaborativo basado en un modelo de **entregas iterativas**, en el que se combinan **entregas parciales** con **entregas finales**. El flujo de trabajo se organiza en cadena, asegurando que las tareas completadas por un miembro del equipo sirvan de base para el siguiente, optimizando la eficiencia del proceso. Además, el sistema debe considerar la existencia de tareas especializadas que solo pueden ser ejecutadas por ciertos perfiles, lo que añade la necesidad de una planificación estratégica de recursos. Se desarrolla en por la Empresa 1.

El contexto operativo del estudio de caso incluye los recursos reflejados en la Fig. 1 y que se detallan a continuación:

- **Equipo**: 18 especialistas (ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica, directores de proyecto, coordinadores BIM y coordinadores de planos).
- **Plazos**: 3 semanas en la fase de proyecto fase básico y de 12 a 16 semanas en la fase de proyecto de ejecución. Se establecen entregas semanales en ambos casos.
- **Herramientas**:
    - Planificador visual con integración BIM.
    - Sistema de balanceo de carga semanal.
    - Modelo de promoción interna con mentorías técnicas.

BY-NC-SA

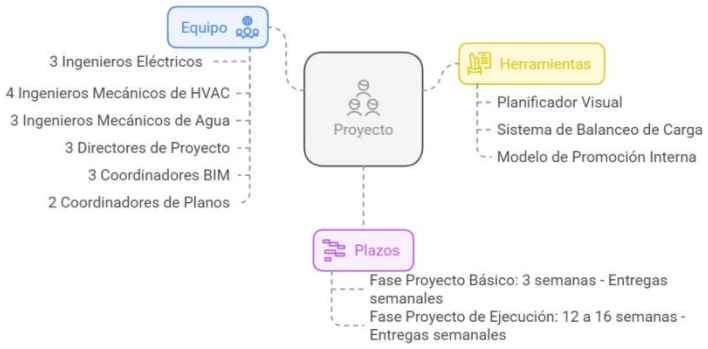


Fig. 1 Recursos operativos del estudio de caso. Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de los proyectos sigue una planificación definida en función de su complejidad y según se detalla en la Tabla 1, en función de la fase del proyecto. Se establecen entregas semanales. Cada **entrega parcial** permite validar avances, mitigar riesgos y realizar ajustes antes de la entrega final.

Tabla 1. Plazos y entregas del Estudio de Caso 1. Fuente: Elaboración propia

Fase de Proyecto	Duración total	Entregas parciales
Fase de proyecto básico	3 semanas	Semanales
Fase de proyecto de Ejecución	12-16 semanas	Semanales

1.2.1. Implementación

La implementación del estudio se lleva a cabo con los siguientes recursos:

1. **Mapeo de procesos**: Diagrama de Gantt multivariable por especialidad.
2. **Sincronización BIM-Scrum**:
    a. Definición de las entregas parciales
    b. Reuniones de planificación vinculadas a actualizaciones del CDE (Common Data Environment).
3. **Monitorización**: Tableros Kanban físicos/digitales y sistema de alertas tempranas basado en análisis de progreso de modelos.

1.3. Estudio de Caso 2: Enfoque de implementación con equipos técnicos multidisciplinares

Este estudio consiste en la ejecución de 8 proyectos interrelacionados dentro de un plazo limitado establecido por el cliente de 18 meses, abarcando 14.337,51 m^2 de edificación y 26.827,81 m^2 de urbanización, y con un presupuesto de ejecución total de 38.221.388,57 €. Se desarrolla por la Empresa 2.

El contexto operativo del estudio de caso se detalla a continuación:

1. **Equipo**: Equipo multidisciplinar formado por 4 arquitectos, 2 Ingenieros Industriales y 1 Arquitecto Técnico dedicados al 100% al proyecto.
2. **Plazos**: La planificación estimada con un esquema tradicional de gestión de proyectos ascendía a 30 meses. El cliente solicita ajustar a 18 meses totales.

1.3.1. Estrategia Ágil

Para hacer frente a estos desafíos, se implementaron metodologías ágiles, combinando los principios de Lean, Kanban y Scrum. La estrategia incluyó:

- **Fragmentación de alcance.** División del proyecto en entregas incrementales. En lugar de gestionar cada proyecto como un bloque monolítico, se dividieron los proyectos en partes más pequeñas, que

 BY-NC-SA

podían completarse y entregarse progresivamente al cliente. Con esta política de entregas parciales se pretende la mejora de la retroalimentación y reducir los retrabajos.

- **Uso de tableros Kanban:** uso de un sistema visual que clasifique las tareas en cuatro estados: Pendiente, En Progreso, Bloqueado y Hecho. Esto permite identificar cuellos de botella o distribución poco equitativa de las cargas del equipo, y, por tanto, la rápida reasignación y reajuste de tareas.
- **Realización de reuniones diarias (Scrum diario):** Todos los miembros del equipo reportan diariamente el estado de sus tareas respondiendo a las preguntas clave del scrum "¿Qué hice ayer?", "¿Qué voy a hacer hoy?", "¿Qué me bloquea?".
- **Flexibilidad en la asignación de tareas**: En lugar de asignar tareas a personas, se asignan a perfiles funcionales: arquitectura, ingeniería, edificación, general. Esto permite que cualquier miembro del equipo disponible pueda tomar la siguiente tarea prioritaria.

2. Resultados

2.1. Estudio de Caso 1: Enfoque de implementación con equipos técnicos especializados

2.1.1. Problemas Identificados

La Tabla 2 refleja los problemas identificados y las soluciones aportadas en el Estudio de Caso 1, clasificados en distintos ámbitos del proyecto.

Tabla 2. Problemas identificados y soluciones aportadas en el Estudio 1. Fuente: Elaboración propia

Ámbito	Problema	Solución
Engranaje entre Proyectos y Distribución de Carga	Sobrecarga de perfiles clave debido a tareas especializadas	- Uso de herramientas de planificación visual. - Implementación de un sistema de balanceo de carga con revisión semanal. - Distribución de tareas menos críticas entre perfiles en formación (promoción interna).
Promoción Interna y Desarrollo de Habilidades	Integrar la formación y crecimiento profesional dentro de la planificación sin afectar la productividad	- Asignación progresiva de tareas especializadas con apoyo de perfiles senior. - Implementación de un sistema de mentoría interna. - Evaluación trimestral del desarrollo de competencias
Organización del Trabajo en Cadena	Para garantizar un flujo de trabajo eficiente, la planificación debe asegurar que cada fase dependa de la entrega de la anterior, evitando bloqueos.	Este esquema requiere: - Definición clara de dependencias entre tareas. - Priorización de entregas según su impacto en fases posteriores. - Sincronización de recursos especializados, evitando sobrecarga en perfiles clave

2.1.2. Solución adoptada

Como propuesta de soluciones para abordar los problemas encontrados se decide desarrollar un flujo en varias fases (Fig. 2): (1) enfoque por especialidades del proyecto, (2) desarrollar un proyecto tipo y (3) desarrollar un proceso de planificación semanal.

 BY-NC-SA

Fig. 2 Procesos adoptados. Fuente: Elaboración propia.

- **Estudio de especialidades:** se estudiaron todas las especialidades, analizando los roles que intervienen, las pausas por dependencia de otras especialidades y los tiempos de desarrollo de cada subtarea. Con esto se pretende disponer de una línea de tiempo de desarrollo por especialidad con tiempos de ejecución aplicados, y roles de intervención. La Fig. 3 refleja, a modo de ejemplo, el estudio de una de las especialidades, la electricidad.

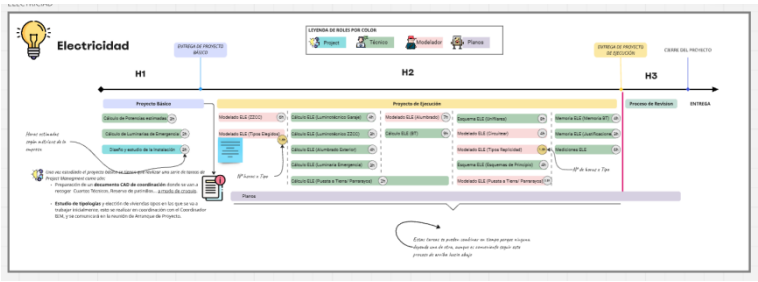


Fig. 3 Estudio por especialidades. Fuente: Elaboración propia.

- **Desarrollo de proyecto tipo:** estudiadas cada una de las especialidades, se desarrolla un proyecto tipo donde se combinan todas las subtareas de cada especialidad, de esta forma analizamos una línea de tiempo por proyecto y por fase. En esta línea de tiempo se detalla el tiempo total mínimo que se necesita para el desarrollo de cada fase. El estudio supone una situación ideal, donde no existen incertidumbres ni retrasos (Fig. 4).
- **Desarrollo de proceso de planificación semanal**: se plantea un sistema para tener disponible una pila de tareas y, semanalmente, liberar una serie de tareas hasta completar la disponibilidad de cada técnico en cada especialidad, trabajando con la cartera completa de proyectos.

La Fig. 5 detalla el flujograma del proceso de planificación semanal del proyecto. A continuación, se reflejan los detalles más importantes de las actividades propuestas, que se resumen en la Fig. 6.

BY-NC-SA

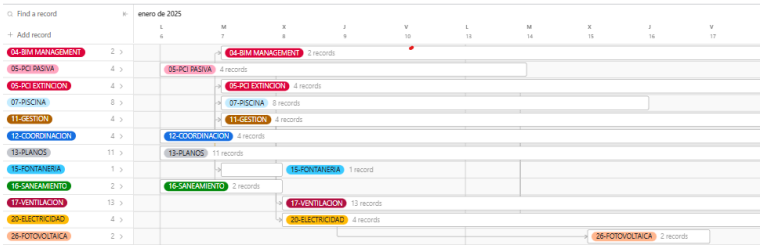


Fig. 4 Gantt de Proyecto completo. Fuente: Elaboración propia.

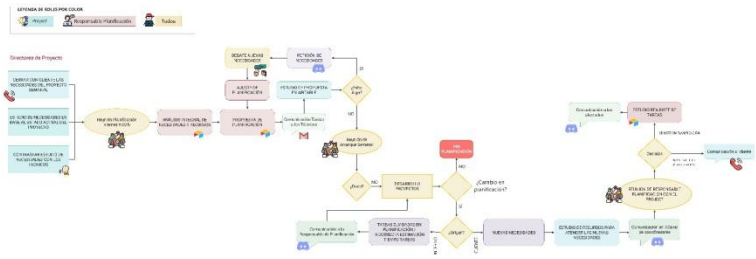


Fig. 5 Flujograma del proceso de planificación semanal. *Fuente: Elaboración propia.*

1. **Reunión semanal con directores de proyectos (viernes).** Consiste en una reunión semanal, normalmente los viernes, con los directores de cada proyecto. Se marcan las necesidades / objetivos de cada proyecto que está en marcha en la empresa, incluyendo las modificaciones, revisiones… Estas necesidades pueden ser obligatorias (compromiso de entrega) o avances.

2. **Asignación de tareas por el gestor de planificación.** Después de la reunión semanal, se realiza por el responsable de la planificación ("scrum master") una asignación de tareas (recordamos que ya tienen tiempos asignados) y perfil, hasta completar su tiempo disponible. Esta planificación está disponible cada semana en el correo de cada empleado.

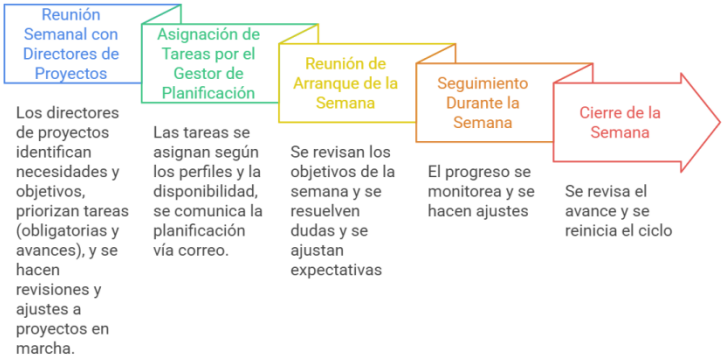


Fig. 6 Actividades destacadas del proceso de planificación semanal. *Fuente: Elaboración propia.*

3. **Reunión de arranque de la semana (lunes).** El lunes por la mañana se realiza una reunión de arranque de la semana, donde se explican los objetivos de la semana y se plantean dudas sobre las tareas asignadas, alcances, errores, ajustes, etc. Esta reunión no se realiza a primera hora de la mañana, ya que previamente los directores de proyecto revisan y validan esa planificación. Además, de esta manera, todos los integrantes pueden disponer de tiempo para revisar y plantear dudas en la reunión.

4. **Seguimiento durante la semana.** Se monitoriza el progreso y se hacen ajustes en caso de que surjan problemas.

5. **Cierre de la semana (viernes).** Se revisa el avance y se reinicia el ciclo**.** En este proceso es necesario que el responsable **de planificación tenga autoridad** para negociar fechas y

 BY-NC-SA

comunicarse con clientes. Esto es fundamental para garantizar una planificación realista y gestionar expectativas de manera efectiva. Se revisa el avance y se reinicia el ciclo.

La implementación generó mejoras significativas que se detallan a continuación:

1. **Reducción del tiempo total de ejecución:** Se disminuyeron las horas reales de trabajo de 12.113,91 horas a 8.422,69 horas, representando una reducción del 30,47%. El resultado procede la comparativa de horas empleadas para el desarrollo de proyecto de ingeniería, antes y después de la implementación de scrum. Para que esta comparativa fuese lo más real posible se han considerado las mismas condiciones de registro de horas. (Tabla 2)
2. **Mayor claridad en la distribución de tareas:** Cada miembro del equipo conoce su planificación con dos meses de anticipación.
3. **Reducción del estrés laboral:** La organización estructurada ha disminuido la carga de trabajo excesiva y la incertidumbre en los plazos de entrega.
4. **Mejoras en la calidad del producto final:** Se han integrado controles de calidad dentro del ciclo de trabajo, permitiendo validaciones antes de las entregas finales.
5. **Uso de motores predictivos:** Se está probando la implementación de modelos predictivos en la asignación de tiempos, con un índice de acierto del 90%. La incorporación de la IA a nuestro día a día, hace que muchas herramientas de gestión de datos integren este tipo de aplicaciones. Resultando más fácil realizar análisis de información, errores en la toma de datos, resultando una información mucha más estructura y facilitando el uso de **motores predictivos** para el análisis a futuro de cargas de trabajo, ayudando a la toma de decisiones tales como aumentar el equipo, aceptar una oferta…
6. La implementación de un enfoque basado en **bloques de trabajo**, junto con un **sistema de gestión visual y balanceo de carga**, permitirá optimizar la planificación y mejorar la eficiencia operativa. Además, la integración de un modelo de promoción interna asegurará la sostenibilidad del equipo en el tiempo.

Tabla 2. Comparativa de indicadores pre/post-implementación. Fuente: Elaboración propia

Indicador	Pre-Implementación	Post-Implementación	Variación
Horas totales empleadas	12,113.91	8.422,69	30,47%

2.2. Estudio de Caso 2: Enfoque de implementación con equipos técnicos multidisciplinares

2.2.1. Problemas Identificados

Entre los principales problemas detectados se destacan los siguientes:

- **Ineficiencia en la asignación de recursos:** El equipo estaba compuesto por siete técnicos (arquitectos, ingenieros industriales y arquitectos técnicos), cuya asignación era del 100%, lo que dificulta la distribución equitativa de tareas, generando períodos de inactividad en algunos miembros mientras otros estaban sobrecargados
- **Gestión de cambios:** Las constantes modificaciones solicitadas por el cliente durante el desarrollo de los proyectos generaban retrasos difíciles de absorber con un enfoque rígido de planificación.
- **Limitaciones en la coordinación BIM:** La falta de un sistema ágil de comunicación y gestión de tareas ralentizaba la coordinación entre disciplinas.
- **Problemas de coordinación en equipos multidisciplinares:** No todos los miembros del equipo dominaban el BIM, lo que complicaba aún más, la distribución equitativa de las tareas.

 BY-NC-SA

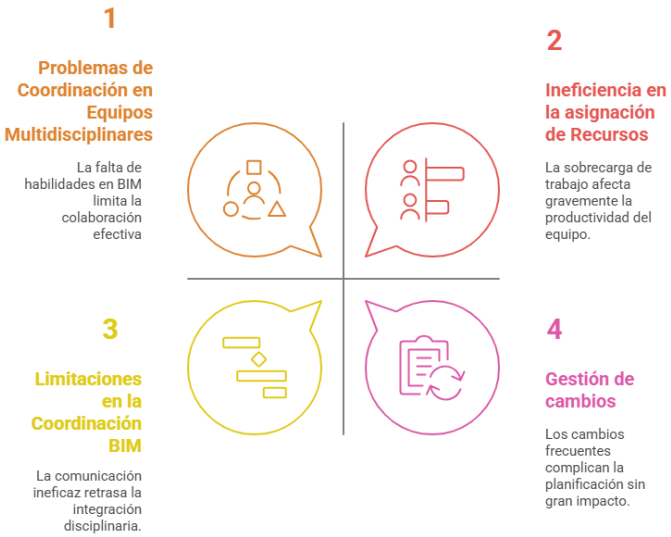


Fig. 7 Problemas identificados en el Estudio de Caso 2. *Fuente: Elaboración propia.*

2.2.2. Solución adoptada

Para hacer frente a estos desafíos, se implementaron metodologías ágiles, combinando los principios de Lean, Kanban y Scrum. La estrategia incluyó:

- **División del proyecto en entregas incrementales**: Se realizaron entregas parciales análogas a Anteproyecto, Proyecto Básico y Proyecto de Ejecución para cada uno de los proyectos. Sin embargo, como el objetivo era entregar valor y no documentación, estas entregas se hicieron con maquetas virtuales aumentando nivel de detalle y cantidad de elementos en cada iteración. Esto tenía por objeto asegurar que se solicitaran los cambios en los momentos iniciales, disminuyendo así el coste del cambio.
- **Uso de tableros Kanban:** Se emplea un sistema visual que permite que el equipo esté siempre atento al avance, al estar las tareas priorizadas en la primera columna, cuando un miembro del equipo termina la tarea en la que está inmerso, acude al tablero y, por prioridad y capacidad, elige la siguiente.
- **Realización de reuniones diarias (Scrum diario):** Las reuniones diarias son clave tanto para la gestión de cambios como para evitar bloqueos entre tareas.
- **Flexibilidad en la asignación de tareas**: Al inicio de cada sprint, los miembros del equipo indican días de trabajo y dedicación. Mediante una sencilla hoja, se calcula la disponibilidad de horas/perfil, lo que permite elegir las tareas que formarán parte del sprint .

Tabla 3. Tabla de cálculo de tiempos disponibles por sprint. Fuente: Elaboración propia

							DURACIÓN SPRINT (d)	21	
		SPRINT	01	02	03			SPRINT	04
			días	días	días		7-abr. 28-abr.	12	días
TELET.						Ausencias	días dedicación	total	
-	MBB					1	12 0,3	2,6	
M	JRS						12 1	12	
L	SCC						12 0,8	9,6	
L	ROS					5	12 1	7	
L	PFM						12 1	12	
M	RTC					2	12 0,8	7,6	
M	JRC						12 1	12	
						total			62,80
		G	General-Sin especializacion			G			2,60
		A	Arquitectura			A			28,60
		I	Ingeniería			I			12,00
		A.Tec	Edificación			0			19,60

BY-NC-SA

2.2.3. Resultados obtenidos

La aplicación de la metodología **logra una reducción significativa de los tiempos de ejecución**, consiguiendo finalizar el proyecto en 21 meses en lugar de los 30 meses inicialmente estimados. Los principales logros fueron:

- **Reducción del tiempo total de entrega**. El cliente requería una duración máxima de 18 meses. Aunque no se alcanzó el objetivo, se entregó en 21 meses y, además, la entrega progresiva de los proyectos permitió gestionar mejor las expectativas, y evitó cambios en momentos avanzados de los proyectos. En la etapa final de Proyecto de Ejecución solo se produjeron solicitudes de cambio en uno de los proyectos.
- **Mayor eficiencia en el uso del tiempo del equipo**.
    - Se eliminaron los tiempos muertos gracias a la división de tareas por perfiles, y especialmente a la inclusión de tareas generalistas aptas para cualquiera de ellos.
    - Se trabaja simultáneamente en diferentes partes de los proyectos, y en diferentes proyectos, evitando bloqueos por falta de información o disponibilidad de personal.
- **Mejor coordinación en equipos multidisciplinares**:
    - La comunicación diaria mejora la coordinación entre disciplinas y facilita la detección temprana de problemas.
    - Se generan sinergias que facilitaron la comunicación entre disciplinas.
- **Mayor capacidad de adaptación ante cambios**:
    - Los cambios del cliente se absorben en los sucesivos sprints, evitando retrasos por retrabajos, y eliminando el estrés del grupo producido cuando hay constantes cambios.
    - Se realizan entregas parciales, promoviendo validaciones tempranas y reduciendo, también, la necesidad de retrabajos.

3. Conclusiones

La aplicación de **metodologías ágiles** en la gestión de proyectos en el sector AECO realizados con **BIM** ha demostrado ser una forma eficiente de **optimizar tiempos, reducir la carga laboral, mejorar calidad y facilitar la planificación**.

La incorporación de herramientas como **Scrum, Kanban, y Lean** permite una gestión más eficaz, flexible y enfocada en la entrega de valor.

Queda demostrado que con el registro de tiempos asignados a tareas y estructurando la información podemos generar **modelos predictivos** que facilitan el estudio de carga de trabajo a largo plazo, pudiendo realizar estimaciones de producción incluso a 6 meses vista.

El estudio con un enfoque con equipos técnicos especializados demostró que la implementación de herramientas de planificación ágiles y el estudio de las cargas de trabajo y los procesos redujeron la incertidumbre en la asignación de tareas críticas. Se logró una reducción del 30,47% en horas totales de trabajo. Este enfoque resulta efectivo en proyectos con fases bien delimitadas, donde la especialización funcional actúa como multiplicador de la eficiencia.

En contraste, el estudio con enfoque con equipos técnicos multidisciplinares reveló que la flexibilidad en la asignación de tareas generó buenos resultados operativos. La capacidad de reasignar recursos en tiempo real mediante metodologías ágiles parece permitir absorber variaciones en la carga de trabajo sin afectar los hitos críticos. Este modelo demostró superior adaptabilidad en entornos con requisitos cambiantes y necesidad de coordinación transversal entre disciplinas.

 BY-NC-SA

La integración entre las metodologías ágiles y BIM se consolida como una estrategia óptima para la gestión de proyectos complejos en el sector AECO. Los resultados obtenidos refuerzan la necesidad de continuar explorando metodologías innovadoras en la industria AECO, al objeto de lograr proyectos **más eficientes, más sostenibles y mejor coordinados** en el futuro.

Referencias

CHAI, C., TANG, J. T., CHAN, S., LEE, C. K., & GOH, K. (2023). BIM Integration in Agile Scrum During The Design Phase. Journal of Engineering Science and Technology, Special Issue 4, 302-316.

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA. (2025). Comisión Interministerial BIM. https://cibim.transportes.gob.es/

SANTÍN SICA, S. B. (2023). Integración de la metodología BIM en la gestión de los proyectos de construcción [Universitat Politècnica de Catalunya]. https://upcommons.upc.edu/handle/2117/383340

SHIM, J.-H., HAM, N.-H., & KIM, J.-J. (2024). Collaborative BIM-Based Construction Coordination Progress Modeling Using Extended Collaborative Process Modeling (exCPM). Buildings, 14(2), Article 2. https://doi.org/10.3390/buildings14020358

SUTHERLAND, J., & SUTHERLAND, J. V. (2014). Scrum: The Art of Doing Twice the Work in Half the Time. Crown Currency.

 BY-NC-SA

EXPLORING BIM CAPABILITIES FOR LIFE CYCLE ASSESSMENT IN STRUCTURAL PROJECTS: A VALENCIAN BARRACA CASE STUDY FOR SUSTAINABLE MATERIAL CHOICES

Selfa i Perona, Òscar; Lakhera O'Shea, Kieran; McAuley, Barry.
School of Surveying and Construction Innovation Technological University Dublin, Ireland, D23129283@mytudublin.ie; School of Transport and Civil Engineering. Technological University Dublin, Ireland, kieran.lakheraoshea@tudublin.ie; School of Surveying and Construction Innovation Technological University Dublin, Ireland, barry.mcauley@tudublin.ie.

Abstract

The construction sector significantly contributes to greenhouse gas (GHG) emissions, resource consumption, and waste generation, with structural materials accounting for up to 40% of embedded carbon. This study investigates the integration of Building Information Modelling (BIM), Finite Element Analysis (FEA), and Life Cycle Assessment (LCA) tools to promote sustainable structural design. Using a BIM model of a Valencian barraca, three scenarios were evaluated: traditional materials (adobe and wood), concrete with steel, and concrete with Cross-Laminated Timber (CLT). Results show that natural materials generate lower impacts, while steel and concrete exhibit higher emissions. This work proposes a workflow integrating BIM, FEA, and LCA to incorporate sustainability metrics, ensure regulatory compliance, and support informed decision-making. Key recommendations include improving Environmental Product Declarations (EPDs), developing structure-specific benchmarks, and achieving real-time BIM-LCA interoperability.

***Keywords**: BIM, LCA, structural design, sustainability, sustainable materials, carbon footprint, benchmarks*

Resumen

El sector de la construcción es responsable de importantes emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), consumo de recursos y generación de residuos, con los materiales estructurales representando hasta el 40% del carbono embebido. Este estudio investiga la integración de Building Information Modelling (BIM), el análisis de elementos finitos (FEA) y herramientas de Análisis de Ciclo de Vida (LCA) para promover diseños estructurales sostenibles. Usando un modelo BIM de una barraca valenciana, se evaluaron tres escenarios: materiales tradicionales (adobe y madera), hormigón con acero y hormigón con madera contralaminada (CLT). Los resultados muestran que los materiales naturales generan menores impactos, mientras que el acero y el hormigón representan mayores emisiones. Este trabajo propone un flujo de trabajo que integra BIM, FEA y LCA para incorporar métricas de sostenibilidad, cumplir normativas ambientales y fomentar elecciones informadas. Se recomienda mejorar las Declaraciones Ambientales de Productos (EPD), desarrollar referencias específicas para estructuras y lograr una interoperabilidad BIM-LCA en tiempo real.

***Palabras clave:** BIM, LCA, diseño estructural, sostenibilidad, materiales sostenibles, huella de carbono, referencias*

BY-NC-SA

Introduction

Natural disasters are becoming more intense and frequent, all life on the planet is suffering from adverse human activity. The construction sector is a major contributor to global climate change due to its high energy consumption, intensive use of raw materials, and extensive greenhouse gas (GHG) emissions, which are the primary drivers of global warming (Win, 2021). Furthermore, the emergency need for accommodation will lead to a rise in the number of houses constructed in the coming years (Valencia et al., 2021). Given that structures are a significant part of the building industry, which accounts for approximately 35-40% of the embedded carbon footprint (Bartolomé, 2024), the material characteristics are pivotal to reaching sustainability targets like the landmark Paris Agreement goal of limiting the temperature increase to 1.5°C above pre-industrial levels, which requires at least a 43% reduction of the GHG emissions by 2030 (Arce Romero, 2024).

The Life Cycle Assessment (LCA) methodology evaluates the environmental impacts associated with all stages of a product's lifecycle, from raw material extraction to disposal. Specifically, the extraction, manufacturing, transport, or use of materials in construction processes embodies CHG emissions (British Standards Institution, 2021). Also, buildings or infrastructure release additional GHG emissions during the operational phase due to the energy use and resources consumed (National Standards Authority of Ireland (NSAI), 2011). Accordingly, researchers quantify embodied and operative GHG emissions using the metric of equivalent carbon dioxide (CO_2e), a quantitative representation of the GHG sent out for each process, commonly referred to as the carbon footprint. Therefore, this enables structural design teams to make informed, data-driven decisions prioritizing material sustainability.

Eastman states, "*Models that contain 3D data only and no object attributes can only be used for graphic visualizations and have no intelligence at the object level"* (Eastman et al., 2008). As a result, raising BIM maturity is essential to maximize its benefits for sustainability purposes in structural design (Succar, 2009).

This study investigates the integration of BIM and LCA for structural design. It begins with reviewing the benefits of combining LCA methodologies with BIM workflows and examines current tools for implementing LCA in BIM environments. Finally, the author proposes a systematic workflow for embedding LCA into structural design using BIM.

Literature Review

BS-EN 15643:2021 defines sustainability in construction as the ability to assess the environmental, social, and economic performance of buildings using quantitative indicators. This standard emphasizes that sustainability must meet present needs without compromising those of future generations (British Standards Institution, 2021). The notation $kgCO_2e$ (kilograms of CO_2 equivalent) is introduced to compare greenhouse gases with different Global Warming Potentials (GWP) by converting their impacts into an equivalent amount of CO_2 (Adams and Goggins, 2024).

A critical aspect of sustainability in construction is embodied energy, defined as the energy consumed during the extraction, manufacture, and transportation of materials. The United Nations Environment Programme (2024) report highlights that construction accounts for approximately 37% of global energy consumption, including operational energy during a building's life and the energy embedded in construction materials. This report also states that materials like cement and steel, essential for most structures, are carbon and energy intensive.

According to the 2023 Global Status Report for Buildings and Construction, operational CO_2 emissions reached a record high of 9.8 gigatonnes in 2022, surpassing the pre-pandemic peak of 2019. Alarmingly, this figure is 40% above the baseline needed to align with the 2030 reduction targets set by the Paris Agreement (United Nations Environment Programme, 2024). Global and regional initiatives have emerged to combat these trends, such as the EU's Fit for 55, which aims to reduce GHG emissions by 55% by 2030, and the European Green Deal, which targets climate neutrality by 2050. Despite these goals, national initiatives remain limited. However, programs like the American SE 2050 Commitment allow structural engineers and

 BY-NC-SA

companies to pledge to reduce the carbon footprint of their projects (SE 2050 Challenge - Carbon Leadership Forum).

The construction industry's demand for natural resources further complicates sustainability. It is responsible for extracting up to 50% of global raw materials, generating 35% of solid waste, and using 20% of water. Additionally, the sector occupies 10% of urban land and produces around 30% of total waste from human activities (Woodea, 2024).

The superstructure of a conventional building accounts for 35–40% of the total embedded carbon footprint. Consequently, reducing emissions in this domain is critical for addressing the broader environmental impact of the Architecture, Engineering, Construction, and Operations (AECO) industry. Given the longevity of structural elements, it is essential to prioritize materials that, despite high initial energy costs, offer durability and recyclability (BIMrras, 2022; Bartolomé, 2024; Woodea, 2024). National Standards Authority of Ireland (NSAI), vol. (2011, vol. EN 15978) divides a lifecycle into modules:

- A1–A3: material extraction and manufacturing.
- A4–A5: transportation and construction activities.
- B1–B7: operational impacts such as maintenance and energy use.
- C1–C4: demolition and waste processing.
- D: circular economy benefits, such as material reuse or recycling.

Through these stages, EN 15978 offers a comprehensive framework for identifying specific areas where environmental impacts can be mitigated (RIB Software GmbH, 2024). As buildings become more energy-efficient and renewable energy replaces fossil fuels, operational emissions will significantly decline. Early-stage decisions can considerably reduce a building's lifecycle carbon footprint, emphasizing the need for initiative-taking sustainable material selection (Soust-Verdaguer, 2023).

Functioning as Type II ecolabels, Environmental Product Declarations (EPDs) are grounded in LCA methodology and evaluate critical environmental aspects such as GHG emissions, natural resource usage, water consumption, and waste generation. Importantly, third parties verify EPDs to ensure their accuracy and transparency (Woodea, 2024). The Environmental Product Declarations system has evolved to include 24 official indicators.

Aparecido Lopes Silva et al. (2017) highlight the significance of parametric LCA BIM tools focusing on operational and embodied energy perspectives, indicating a practical approach to enhancing sustainability through BIM-LCA integration. In the same way, Bernardette Soust-Verdaguer et al. (2024) emphasize the importance of using BIM to reduce embodied energy in construction.

The size of structural elements impacts not only their direct carbon footprint but also the entire building. For instance, a 1 cm increase in slab depth adds 25 kg/m² in weight and 2.36 kg CO_2e/m² (Bartolomé, 2024). Structural analysis must include carbon footprint assessments using LCA and BIM to evaluate scenarios (Building Information Model Creation Guidelines for Model Use with One Click LCA).

Databases such as Eco Platform and OpenLCA provide access to sustainability information, but they often present problems of consistency and coverage. Consequently, ISO 22057 establishes guidelines for structuring sustainability data in BIM models, improving consistency and accessibility, although the full implementation of these standards still faces technical and regulatory barriers (BIMrras, 2022). Another setback is that the units of measurement may not coincide with the functional units of the EPDs (Woodea, 2024). Additionally, to have real and homogeneous results of LCAs and EPDs is essential to establish benchmark values for carbon emissions throughout a building's life cycle (B Soust-Verdaguer et al., 2024; Rey-Álvarez, Soust-Verdaguer and García-Martínez, 2024).

The eLCA tool, developed by the Federal Institute for Research on Building, Urban Affairs, and Spatial Development in Germany, facilitates the evaluation of the environmental impact of building materials and technical systems throughout a building's life cycle. BIM2SIM project, involving the Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate and the Institute of Energy Efficiency and Sustainable Building at

 BY-NC-SA

RWTH Aachen University, Germany, along with ROM Technik GmbH, developed an interface to connect IFC files with the eLCA tool. This integration allows for the automated transfer of key data from IFC files (Jansen et al., 2021).

Morsi et al. (2022) effectively demonstrate how BIM tools can quantify LCA metrics for residential buildings by comparing structural systems to evaluate embodied carbon and environmental impacts. Similarly, Lobos et al. (2024) emphasize the integration of BIM in wood construction, highlighting its potential for reducing carbon footprints and optimizing workflows.

The World Green Building Council (2023) report provides insights into policy-driven applications of whole-life carbon assessments, while Valencia et al. (2021) outline strategies for decarbonization in the construction sector in Chile. Similarly, Woodea (2024) published a corporate report comparing three low-impact industrialized construction cases.

1. Primary Research

1.1. Overview

The chosen primary research method for conducting analyses and drawing conclusions later is a case study on which the different workflows and tools will be tested by integrating BIM, FEA, and LCA processes. This will provide quantitative data for further analysis and qualitative data from the user's point of view.

The BIM model chosen for the case study is an architectural model in Autodesk Revit 2023.1, consisting of a traditional farmer's house known as a "barraca" located in Valencia (Spain). It is a detached single-family house with two floors: the ground floor and the first floor as an attic under a gabled roof. The total usable area is 88.44 m2, approximately 104.00 m2 built.

1.2. Structural System and Scenarios

The structural model is created with the required Level of Information Need (LoIN), corresponding to RIAI Stage 3: Developed Design (RIAI, 2022), using Autodesk Revit 2023.1. The structural system comprises eight trusses supported on lateral load-bearing walls whose foundations will be continuous footings. The ground level is a floor resting on the ground and partially on its perimeter on the foundations of the load-bearing side walls. In contrast, the first floor will be a light framework supported on the lower chords of the triangular trusses that constitute eight parallel frames. Using the native tool that Revit provides for this purpose, the structural model has three material design options that will be the scenarios that will be used later to compare its carbon footprints using LCA. One of these scenarios will use traditional materials,the second will be with concrete and steel, and the third will be with wood.

The structural system and general volumetry are maintained in all scenarios, varying the structural materials as indicated in Table 1. For scenario 1, the traditional materials and dimensions of the structural elements are respected. In scenarios 2 and 3, the materials of the elements are changed, but the dimensions of scenario 1 are maintained. Basic structural analysis is carried out with the finite element tool to check the structural feasibility of the scenarios and the integration of the FEA tools in the workflow. Still, it is not intended to optimize the quantities of structural materials because design is not the object of this study.

Table 1 Structural Materials for Each Scenario

	Foundations	Floor	Walls	Beams
Scenario 1	Adobe bricks and stone	Rammed earth	Adobe bricks	Wood
Scenario 2	Concrete	Concrete	Concrete	Steel
Scenario 3	Concrete	Wood (CLT)	Wood (CLT)	Wood

BY-NC-SA

1.3. **Tools and Workflow**

For the structural analysis, the author has based his knowledge and availability of the use of licenses to choose the FEA tools. This means that Autodesk Robot 2023 and Dlubal RFEM 6.07 have been used, with a direct link to Revit via plugins. The Revit plugin has also been used to export to Tekla Structural Designer. However, the main purpose was not the structural analysis but to obtain a carbon report using the tool that Trimble incorporates natively for the A1-A3 modules of the life cycle, Cradle to Gate. That is only the carbon embodied in the structure's materials by production, not the carbon emitted in transport, construction, or operation. It is important to note that although Tekla SD offers a link with One Click LCA for the complete life cycle analysis, it is not used in this study as it is not included in the educational license obtained.

Figure 1 illustrates an integrated workflow combining BIM, FEA, and LCA. Starting with structural modelling in Revit, it transitions through structural analysis (Robot, RFEM) and life cycle assessment (Tally, One Click LCA, Tekla Structural Designer). Iterative feedback optimizes structural integrity and environmental performance, informing sustainable design.

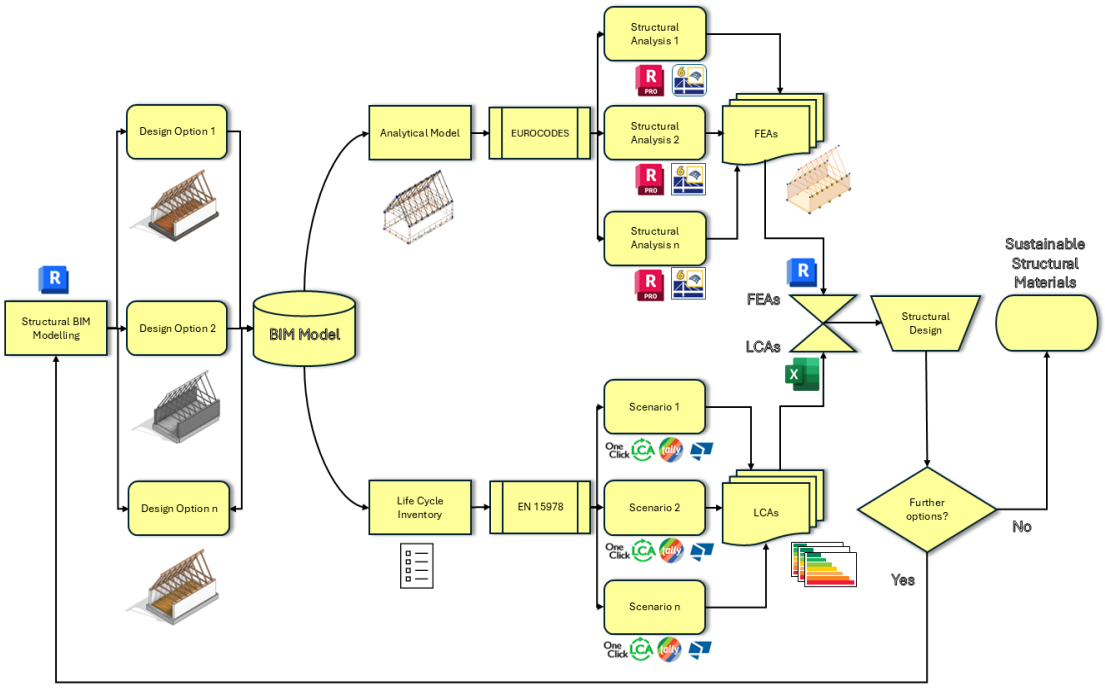


Fig. 1 BIM/FEA/LCA Structural Project Workflow and Tools. Source: Own elaboration (2024)

Although the proposed workflow supports iterative feedback loops between structural design, BIM modelling, and LCA analysis, as shown in Figure 1, this particular case study did not include such iterations, since the primary focus was evaluating interoperability among BIM, FEA, and LCA tools.

1.4. **Life Cycle Assessment Methodology**

The author has utilized international standards to ensure a structured and coherent Life Cycle Assessment (LCA) implementation. The objectives and scope of the LCA are established according to the international standard I.S. EN ISO 14040, with further definitions provided by I.S. EN ISO 14044. In this case study, the objectives and scope are defined as follows

Objective:

To support decision-making in the selection of materials for structural design.

BY-NC-SA

1.4.1. Scope:

Functional Unit: The assessment focuses on a structure of approximately 104.00 m² built area (88.44 m² usable area) over a 60-year calculation period divided between the ground floor and the first floor.

System Boundaries: A Cradle to Grave analysis is performed, encompassing all life cycle stages according to the I.S. EN 15978 standard. This involves utilizing the One Click LCA Cloud tool by analyzing the BIM model. Additionally, a Cradle to Gate analysis is conducted using the Tally and One Click LCA tools for Revit and Tekla Structural Designer.

Data for this study will be sourced from Environmental Product Declarations (EPDs) available in databases such as One Click LCA. Transport and construction data (A4-A5) will be based on averages derived from typical scenarios provided by the tools, which include material transport distances as well as electricity, energy, and water consumption on-site.

No estimates will be made for the consumption associated with the repair, replacement, or rehabilitation modules (B3-B5), as it is anticipated that the lifespan of any structural element will be less than 60 years (Woodea, 2024). While it is acknowledged that changes in energy sources can impact emissions over time due to the decarbonization of the electricity mix (García, 2004), this study applies the current emission factor of the grid multiplied by the building's energy consumption over its life cycle, utilizing average consumption data published by the Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, n.d.).

For this study, it is estimated that the structure accounts for 37.5% of the total work (Bartolomé, 2024), and this percentage will be applied to water and energy consumption in both operational and subsequent phases. Lastly, only the Global Warming Potential (GWP) will be analyzed among the sustainability indicators outlined in the ISO 21931 standard.

Specific considerations:

The author has located and learned about the tools used to study LCA, with a special focus on those that allow integration with BIM models directly, through a plugin, with an exchange file, or with a link through a cloud application. Finally, three have been chosen, following criteria of availability of academic licenses that allow their evaluation, as well as functionalities offered and the author's knowledge or learning possibilities within the time of this study. Table 2 summarizes these tools.

Table 2 LCA Tools Used in the Case Study. Source: Own elaboration (2024)

	Type	Comments
One Click LCA	Revit plugin and Cloud	Green Buildings 2020/2022 tool for Cradle to Grave
One Click LCA	Cloud	Only modules A1-A3. Cradle to Gate (Production)
Tally	Revit plugin	Whole life cycle, Cradle to Grave
Tekla Structural Design	Native tool	Only modules A1-A3. Cradle to Gate (Production)

1.4.2. BIM modelling and limitations:

BIM models will be developed with a LoIN suitable for Developed Design (IS EN ISO 19650-1, 2018; IS EN ISO 196502, 2021), which may limit accuracy in certain detailed calculations in later phases. That is why the LCA needs to be repeated as the model's level of development and information increases (Soust-Verdaguer, 2023).

It is also important to note the limitations regarding the BIM modelling tool, its version, and the compatibility of the LCA plugin, as this affects this case study. For example, it is modelled in Revit 2023.1 since Tally is not compatible with the 2025 version as One Click LCA is. Regarding openBIM options, the options are

 BY-NC-SA

limited in process automation and the use of EPD databases, so they have been discarded in this case study.

Tally is based on EPDs from the US market. Therefore, although it is possible to refine aspects such as the transport distances of the materials, the results are conditioned by the data used at the end of the process. Due to the educational characteristics of the project and its fictitious location, the author considers the distances proposed by the different tools that, in the case of Tally, should be adjusted in a real project. Still, in the case of One Click LCA, they are quite realistic as they are based on the country of origin of the EPD of each product.

The Benchmark charts offered by One Click templates are unrepresentative as they are not intended for structural projects. However, they serve as a basis for making estimates, as described in the results analysis section.

1.5. **Implementation of the Workflow**

Depending on the types of tools involved, a different workflow is required, although the goal is always to seek the best interoperability from a BIM point of view for each step. The process aims to obtain the necessary data to evaluate the sustainability of structural materials. Although this case begins with the modelling of the structure in Revit based on the architectural model, it is not an essential requirement. The Revit design options tool was used for the case study to recreate the scenarios described. For the modelling, materials from the Revit library were assigned to the structural elements in scenarios 2 and 3. Still, since equivalent standard materials were unavailable, the author manually created the traditional materials of scenario 1.

Next, an analytical model has been created from the physical model, including loads and combinations, for export to structural analysis tools. At this point, basic structural analysis is carried out using the materials of each scenario by the FEA method, using the Robot Structural Analysis and Dlubal RFEM 6 tools to integrate into the workflow. The analytical model has also been exported from Revit to Tekla Structural Designer to obtain the Cradle to Gate (A1-A3) carbon footprint report.

Subsequently, the Life Cycle Inventory (LCI), as shown in Table 3, was carried out. As inputs for each scenario, the measurements of the materials used will be extracted from the BIM model.

Table 3 Life Cycle Inventory (LCI). Structural materials (m3). Source: Own elaboration (2024)

Scenario	Earth	Gravel	Stone	Adobe Bricks	Concrete	Steel	Wood
Scenario 1	9.81	4.54	3.41	26.27	-	-	4.27
Scenario 2	-	-	-	-	47.32	0.27	-
Scenario 3	-	-	-	-	16.61	-	28.67

Note. This table is based on Revit materials scheduling.

To complete the process, using One Click LCA, Tally and Tekla Structural Designer, the quantities of materials from the BIM model were imported and mapped by their equivalent materials in the EPD databases. The author then enters the rest of the data, such as the proportional part of energy and water used during production, transport, construction, and operations. The calculation performed leads to the Life Cycle Impact Assessment (LCIA), which quantifies environmental impacts using indicators such as GWP, primary energy consumption, water consumption or waste generation. Finally, the results were integrated into the full LCA framework to assess comparative sustainability across scenarios.

BY-NC-SA

2. Findings and Analysis

2.1. Findings

2.1.1. Quantitative Results:

Each scenario was assessed using three LCA tools: Tally, Tekla Structural Designer, and One Click LCA. Table 4 shows the GWP for each scenario involving the embodied carbon of the structural materials emitted for the production phase:

Table 4 Global Warming Potential (GWP) in Kg CO_2eq/m2. Cradle to Gate (A1-A3). Source: Own elaboration (2024)

	Tally	Tekla SD	One Click LCA plugin
Scenario 1 (traditional)	162.6	164.03	36
Scenario 2 (concrete + steel)	259.3	282.37	179
Scenario 3 (concrete + wood)	166.1	300.88	83

Notes. Biogenic carbon is included when available on EPDs for One Click LCA.

Scenario 1 showed the lowest GWP. Scenario 2 had significantly higher emissions, whereas scenario 3 demonstrated the potential of wood in carbon sequestration.

The discrepancies observed in Scenario 3 results from Tekla Structural Designer compared to Tally and One Click LCA arise due to differences in the EPDs databases used by these tools and the varying treatment of biogenic carbon criteria, which were not consistently applied across the tools. Specifically, Tekla Structural Designer's native database might differ significantly in emissions factors or might exclude biogenic carbon sequestration, impacting comparative results significantly.

Table 5 shows the global warming intensity of each material participating in one or more scenarios during the production phase.

Table 5 GWP Intensities (A1-A3) in KgCO_2e/Kg. Source: Own elaboration (2024)

Material	Tally	Tekla SD	One Click LCA
Adobe bricks and stone	N/A	0.150	N/A
Rammed earth	N/A	N/A	N/A
Concrete (cast-in-place)	0.150	0.150	0.150-0.180
Structural steel (hot-rolled)	1.580	1.580	~1.5-1.6
Reinforcement bars (loose)	1.960	1.960	~1.960
Timber (CLT)	0.437	0.437	~0.437

Notes. Some traditional materials do not have detailed GWP data in the tools used.

2.1.2. Qualitative Insights:

Directly extracting material quantities from the BIM model facilitated accurate LCA inputs. One Click LCA and Tally effectively linked with Revit for streamlined data exchange (*Case study: How Page uses BIM LCA & Revit tools | One Click LCA*, 2024). Keeping the physical elements correctly linked to their analytical equivalent was found to be particularly difficult in larger projects (Moret, 2021).

Autodesk Insight utilizes the EC3 database, similar to Tally, but encountered challenges in creating an Embodied Carbon Assessment Model (EAM) due to issues like unsupported elements, design configurations, and missing components, most notably when applied to open structural spaces, which prevented valid EAM generation (Autodesk Insight | Building Performance Analysis Software, n.d.). In contrast, One Click LCA offers the most comprehensive integration with Building Information Modelling (BIM)

BY-NC-SA

and localized Environmental Product Declaration (EPD) databases, providing direct access to third-party verified EPDs to evaluate environmental impacts such as carbon footprint, energy, and water consumption, while adjusting calculations to local standards (EN 15804) and accounting for transportation and production (Short Guide to BIM Modelling for LCA Automation – One Click LCA Help Centre, n.d.). Tally, while effective for real-time analysis, is restricted by its dependence on EPDs from the US market for calculating environmental impacts and does not support the import of external EPDs; moreover, parameters like transport distances and material equivalences must be manually adjusted to local conditions, whereas its design options comparison feature effectively aids in assessing the embodied carbon footprint (Tally | About | Overview, n.d.). Lastly, Tekla Structural Designer relies on predefined Embodied Carbon Factors (ECFs) or manual inputs, with limited capability for integrating external databases, and it often requires manual corrections for errors in total area calculations, underscoring the necessity for improved automation and accuracy in output results (García, 2004)

Analysis

The study highlighted that BIM integration with LCA tools is feasible but dependent on several factors. BIM Maturity Stage 2 or higher is essential to harness the full potential of sustainability assessments (McAuley, Hore and West, 2019). Limitations in interoperability were noted, particularly when integrating multiple plugins and exporting analytical models, not only among those of different developers but also with plugins to be used within Revit. For example, Beacon | Thornton Tomasetti plugin is only available for Revit 2018-2022, or the Tally plugin is not compatible with Revit 2025.

Concerning interoperable formats, structural modelling uses mostly IFC. The BIM2SIM initiative even provides an interface between IFC and the German eLCA Tool (Jansen et al., 2021). In turn, the Autodesk Green Building Studio tool has a gbXML file as the format accepted in its specifications. Another option to overcome interoperability problems is Speckle, a tool that hosts the models in the Cloud and delivers them converted to the format of each desktop tool, allowing synchronization.

Generating analytical elements in Revit 2023 highlights the complexity of maintaining model consistency across scenarios (Coya Piñeiro, 2022). It is necessary to ensure the correct link between each physical and structural element and its corresponding analytical element before it is exported for the structural analysis software. Despite having multiple design options with varied materials in Revit, they all share a single analytical model that can only store one material, so each design option change must be accompanied by an update to the analytical model, either using Dynamo or manually.

2.1.3. Critical Analysis of Benchmarks

The lack of standardized benchmarks for structural projects hindered comparative analyses (Soust-Verdaguer, 2023). To address this issue, the author designed a tool to isolate structural contributions by adapting building-level benchmarks. The structural contribution is determined by applying a customizable reduction percentage to the range values of kg CO_2e/m² that determine the ranges of GWP. It enables users to input general benchmarks and provides adjusted ranges for structures. Figures 2, 3 and 4 show the benchmarks calculated with the tool based on 37.5% (Bartolomé, 2024) of the ranges of Spain all building types - 2023 Q3 according to the GWP values of the Tekla Structural Designer reports.

The benchmarking tool was developed as an Excel-based spreadsheet. Its workflow consists of the following steps: first, the user inputs known benchmark values (in kg CO_2eq/m²) corresponding to building categories (ranges from A to G). Next, the spreadsheet applies a predefined percentage to each benchmark range to isolate the structural contribution. Finally, the user enters the calculated Global Warming Potential (GWP) value obtained from the LCA tools (expressed in kg CO_2eq/m²), and the spreadsheet automatically identifies and indicates the corresponding sustainability range (from A to G).

 BY-NC-SA

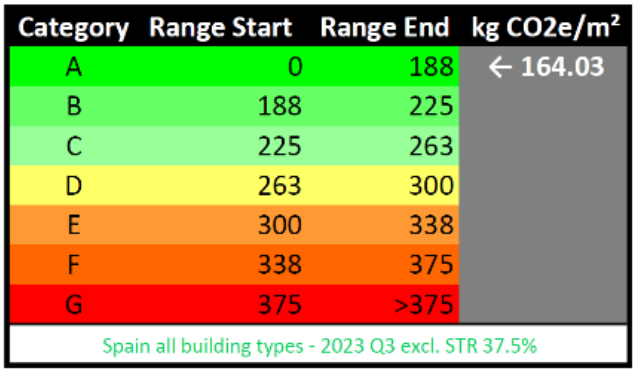


Figure 2 Scenario 1. Source: Own elaboration (2024)

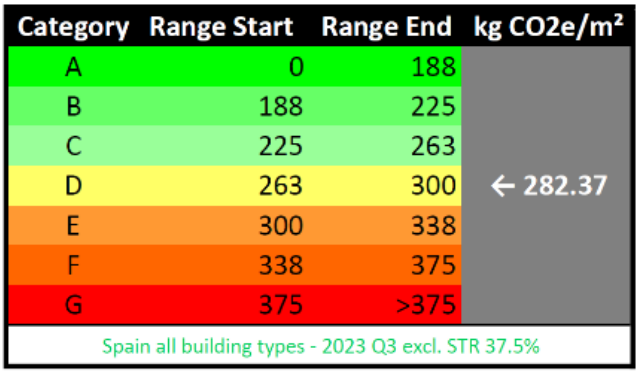


Figure 3 Scenario 2. Source: Own elaboration (2024)

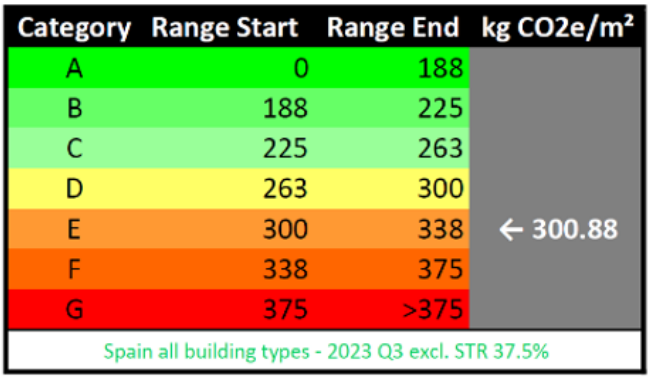


Figure 4 Scenario 3. Source: Own elaboration (2024)

2.1.4. Discussion on Sustainability Metrics:

For the modules of the construction phase product sub-phase (A1-A3), the impact is established using information from the environmental indicator through their EPDs. However, to calculate the effects of transport (A4), the NSAI (2011) establishes local, regional, national, and international scopes to make estimates of the transport of materials from the factory to the site. BIMrras (2022) 106-episode states that scopes generate controversy regarding the limits of these areas and that transportation could be calculated accurately using geographical information. For example, the maximum distance for transporting wood, A4 is < 4,500 Km (Woodea, 2024). Finally, work items could be assigned using a budgeting tool, and thus, the water and energy consumption of the machinery used in the construction installation sub-phase could be obtained (A5).

BY-NC-SA

Biogenic carbon is a significant factor for materials explained in international standards such as ISO 21930 and EN 15804 + A2 (Woodea, 2024). It accounts for temporary carbon sequestration during growth. Tally and One Click LCA incorporate it, but their approaches differ. Meanwhile, Tally allows users to include or exclude biogenic carbon in the report based on project requirements. One Click LCA automatically accounts for it if specified in the EPDs of materials.

There is an inconsistency between the data offered by the sustainability databases, such as ECO Invent, Open LCA, Open DAP and cost banks, such as those of Centro Online or Cype. They publish data collected by third parties and do not homogenize or process the samples (BIMrras, 2022). The inconsistency in units used across different EPDs or EPD databases presents significant challenges for conducting accurate and comparable LCAs. Mixing data from sources using imperial and metric adds further complexity, as unit standardization requires additional calculations or conversions, increasing the risk of errors. Moreover, discrepancies in temporal or geographical scopes between EPDs can create inconsistencies when comparing materials.

3. Conclusions

The findings from this case study highlight the significant role of BIM in enhancing decision-making processes by streamlining data extraction. However, qualitative feedback has also revealed challenges, including interoperability issues and inconsistencies in data across various LCA tools. By adopting workflows that incorporate sustainability assessments early in the design phase, compliance with environmental regulations can be achieved more effectively.

The benchmarking tool proposed in this study offers a flexible approach for generating structure-specific benchmarks, helping to address the current lack of standardized data. Future research should focus on integrating real-time data between BIM and Environmental Product Declaration (EPD) databases within LCA tools and promoting standardization of EPDs to minimize inconsistencies. Furthermore, investigating the potential of traditional materials, such as timber, in developing scalable and sustainable housing solutions for global emergencies or natural disasters is also recommended. Overall, these efforts can contribute to advancing sustainable design practices and improving our built environments' resilience.

References

ADAMS, T. y GOGGINS, J. (2024). *The What and Why of a Carbon Footprint Examples & Case Studies*. Galway. Disponible en: https://www.caro.ie/knowledge-hub/general-information/science-of-climate-change/greenhouse-gases.

APARECIDO LOPES SILVA, D., APARECIDA DA SILVA MORIS, V., MORO PIEKARSKI, C., DIOGO APARECIDO LOPES SILVA, U., OLIVEIRA NUNES, A. y OLIVEIRA RODRIGUES, T. (2017). "How important is the LCA software tool you choose? Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto" en *CILCA*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/318217178.

ARCE ROMERO, A. (2024). *1.5 °C alignment target*, *Futureproofed*. Disponible en: https://help.futureproofed.com/en/articles/6151497-1-5-c-alignment-target.

Autodesk Insight | *Building Performance Analysis Software* (s.f.). Disponible en: https://www.autodesk.com/products/insight/overview.

BARTOLOMÉ, C. (2024). "Recomendaciones para minimizar la huella de carbono de los forjados de edificación con el nuevo código estructural" en *CIC Arquitectura y Sostenibilidad Versys Ediciones Técnicas* [Preprint], (594). Disponible en: https://issuu.com/grupotp/docs/cic-594/72.

Beacon | *Thornton Tomasetti* (s.f.). Disponible en: https://www.thorntontomasetti.com/capability/beacon [Consulta: 24 de diciembre de 2024].

BIMRRAS (2022). *106 Sostenibilidad. La sexta dimensión del BIM, cálculo de huella carbono*, *BIMrras Podcast*. Disponible en: https://www.bimrras.com/episodio/106-sostenibilidad-la-sexta-dimension-del-bim/.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION (2021). *Sustainability of construction works - Framework for assessment of buildings and civil engineering works.* BS EN 15643:2021. London: BSI.

Building Information Model Creation Guidelines for Model Use with One Click LCA (s.f.) *One Click LCA Help Centre*. Disponible en: https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360016337560-Building-Information-Model-Creation-Guidelines-for-Model-Use-with-One-Click-LCA.

 BY-NC-SA

CARROLL, A. (2024). *Case study: How Page uses BIM LCA & Revit tools | One Click LCA*. Disponible en: https://oneclicklca.com/en/resources/case-studies/page-bim-lca-case-study.

COYA PIÑEIRO, J.C. (2022). *21a Reunión GuBIM Galicia 08.01.2022: Metodología BIM en estructuras*, *GuBIM Galicia*. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=0aIyu0uCYdU .

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R. y LISTON, K. (2008). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. Edición 2011. Editado por Inc. John Wiley & Sons. Nueva Jersey.

Environmental Performance Indicators | EPD International (s.f.). Disponible en: https://www.environdec.com/resources/indicators .

GARCÍA, C. (2004). *Cálculo de huella de carbono en edificaciones con Tekla Structural Designer y One Click LCA*.

Governments and construction sector in three European countries launch EU building data project to drive full decarbonization (2023) *World Green Building Council*. Disponible en: https://worldgbc.org/article/indicate-launch/.

Green Building Studio (s.f.). Disponible en: https://gbs.autodesk.com/gbs [Consulta: 24 de diciembre de 2024].

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2010). *Sustainability in building construction - Framework for methods of assessment of the environmental performance of construction works.* ISO 21931:2010. Geneva: ISO.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2022). *Building information modelling (BIM) - Data templates for attributes of manufactured and engineered construction products.* ISO 22057:2022. Geneva: ISO.

JANSEN, D., MEHRFELD, P., MÜLLER, D., FICHTER, E., RICHTER, V., BARZ, A., BRUNKHORST, J., DAHNCKE, M., JAHANGIRI, P., WARNECKE, C., MEHRFELD, P., FRISCH, J., VAN TREECK, C. y BRUNO LÜDEMANN, B.L. (2021). "BIM2SIM - Development of semi-automated methods for the generation of simulation models using Building Information Modeling" en *17th IBPSA Conference*. Brujas, pp. 1244-1245. Disponible en: https://doi.org/10.26868/25222708.2021.30228.

LOBOS, D., MATA, R., CORREA, C., NUÑEZ, E., BUSTAMANTE, G., CAICEDO, N., BLANCO-FERNANDEZ, D., DÍAZ-HUENCHUAN, M., PULGAR-RUBILAR, P. y ROA, L. (2024). *Implementation of BIM Technologies in Wood Construction: A Review of the State of the Art from a Multidisciplinary Approach*. Preprints.org. Disponible en: https://doi.org/10.20944/preprints202401.1670.v1.

MCAULEY, B., HORE, A. V y WEST, R.P. (2019). *A Study of BIM Maturity and Diffusion in Ireland*.

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (s.f.). *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. Disponible en: https://idae.es/ .

MORET, S. (2021). *Manual Imprescindible - Revit 2022*. Anaya..

MORSI, D.M.A., ISMAEEL, W.S.E., EHAB, A. y OTHMAN, A.A.E. (2022). "BIM-based life cycle assessment for different structural system scenarios of a residential building" en *Ain Shams Engineering Journal*, 13(6), p. 101802. Disponible en: https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2022.101802.

NATIONAL STANDARDS AUTHORITY OF IRELAND (2006). *Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework.* I.S. EN ISO 14040:2006. Dublin: NSAI.

NATIONAL STANDARDS AUTHORITY OF IRELAND (2006). *Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines.* I.S. EN ISO 14044:2006. Dublin: NSAI.

NATIONAL STANDARDS AUTHORITY OF IRELAND (2012). *Sustainability of construction works -- Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products.* EN 15804:2012. Dublin: NSAI.

NATIONAL STANDARDS AUTHORITY OF IRELAND (NSAI) (2011). *Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*. I.S. EN 15978:2011. Dublin: NSAI.

NATIONAL STANDARDS AUTHORITY OF IRELAND (2018). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Concepts and principles.* I.S. EN ISO 19650-1:2018. Dublin: NSAI.

NATIONAL STANDARDS AUTHORITY OF IRELAND (2021). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Delivery phase of the assets.* I.S. EN ISO 19650-2:2021. Dublin: NSAI.

REY-ÁLVAREZ, B., SOUST-VERDAGUER, B. y GARCÍA-MARTÍNEZ, A. (2024). "The INDICATE Project: A co-creation approach to obtain benchmark values for whole-life carbon emission of the building sector in Spain" en *Vitoria-Gasteiz*. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/382194918.

RIAI (2022). *RIAI BIM Pack 2 : BIM Update with ISO 19650 Series & BIM Guide for SMEsWhats On | News | RIAI.ie (The Royal Institute of the Architects of Ireland)*, *RIAI.ie (The Royal Institute of the Architects of Ireland)*. Disponible en: https://www.riai.ie/whats-on/news/riai-bim-pack-2-update-iso-19650-series-and-bim-guide-for-smes .

 BY-NC-SA

RIB SOFTWARE GMBH (2024). *Huella de carbono y otros indicadores ambientales Sostenibilidad, metodología de cálculo, etapas del ciclo de vida, indicadores ambientales, fuentes y referencias y utilización de los resultados*.

SE 2050 Challenge - Carbon Leadership Forum (s.f.). Disponible en: https://carbonleadershipforum.org/se-2050-challenge/ .

Short Guide to BIM Modelling for LCA automation -- One Click LCA Help Centre (s.f.). Disponible en: https://oneclicklca.zendesk.com/hc/en-us/articles/360015040039-Short-Guide-to-BIM-Modelling-for-LCA-automation .

SOUST-VERDAGUER, B. (2023). "La huella de carbono que generan los edificios. Principales desafíos y aprendizajes de su cálculo desde la fase de proyecto en BIM" en *Libro de Actas EUBIM203*. Valencia: EUBIM 2023 - BIM International Conference / 12o Encuentro de Usuarios BIM, pp. 14-23. Disponible en: https://doi.org/10.4995/EUBIM2023.2023.16863.

SOUST-VERDAGUER, B., ANTONIO, J., MORENO, G., CAGIGAS, D., HOXHA, E. y LLATAS, C. (2024). "Supporting sustainability assessment of building element materials using a BIM-plug-in for multi-criteria decision-making". Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.110818.

SOUST-VERDAGUER, B., GARCÍA-MARTÍNEZ, A., REY-ÁLVAREZ, ; B, DE DIEGO, B., DE LA FUENTE, A., FERNÁNDEZ GÁLVEZ, M.D., TORRES, L.C., RÖCK, M., GARCÍA GONZÁLEZ, L., JULIÁN GARCÍA, M., FERNÁNDEZ, P., SICRE ÁLVAREZ, G., CUBERO CRUZ, M. y DORADO, A. (2024). "Developing a Data Infrastructure to obtain reference values, baselines, and benchmarks for the Whole Life Carbon implementation in buildings in Spain: INDICATE project" en *Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. IOP Publishing, p. 12009. Disponible en: https://doi.org/10.1088/1755-1315/1363/1/012009.

SUCCAR, B. (2009). "Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders" en *Automation in Construction*, 18(3), pp. 357-375. Disponible en: https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2008.10.003.

Tally | About | Overview (s.f.). Disponible en: https://choosetally.com/overview/ .

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2024). *2023 Global Status Report for Buildings and Construction. Beyond foundations. Mainstreaming sustainable solutions to cut emissions from the buildings sector*. Disponible en: https://doi.org/10.59117/20.500.11822/45095.

VALENCIA, P., DE VIVIENDA, M., BÁRBARA, U., MINISTERIO, R., MARÍA, E., AGUIRRE, F., GREEN, C., COUNCIL, B., NARVÁEZ, R., DESARROLLADOR, E., VILLASEÑOR, M., CHILE, E., BORREGAARD, N., BOBADILLA, M. y ESPINOZA, A. (2021). *Estrategia Nacional de Huella de Carbono en el Sector Construcción*. Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

WIN, T.L. (2021). *We can't tackle the climate change crisis without changing construction. Here's why*, *World Economic Forum*. Disponible en: https://www.weforum.org/agenda/2021/01/planet-warming-emissions-buildings-construction-climate-goals-risk/ .

WOODEA (2024). *Construcción Industrializada de Bajo Impacto. Análisis comparativo. 3 casos en 3 dimensiones: Agua, Residuos y Carbono (Corporate Report)*. Disponible en: https://woodea.es/downloads/construccion-industrializada-de-bajo-impacto/ .

 BY-NC-SA

USO DE TECNOLOGÍAS BIM PARA AGILIZAR EL PROCESO DE DESARROLLO Y CERTIFICACIÓN DE PROYECTOS DEL FONDO SOLIDARIO DE ELECCIÓN DE VIVIENDA SERVIU

Velozo San Martín, Daniela I.
Arquitecta, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad Católica de la Santísima Concepción, dvelozo@ucsc.cl

Abstract

Chile faces a housing crisis that translates into a deficit of more than 650,000 homes (estimated as of 2022). The Housing Emergency Plan aims to build about half of what is required before the end of G. Boric's term. But the application and certification process for social housing is slow and requires the participation of many professionals. In addition, these laws that authorize the regulation and financing of social housing change every year, so a long-term project cannot be developed. One of the proposed strategies is to promote the development of industrialized housing, which reduces construction time, although it faces logistical and cost challenges. Traditional construction companies are also necessary, especially in hard-to-reach areas.

The Housing Choice Solidarity Fund is the main subsidy program, financing the majority of subsidized housing in Chile, but its process is slow, and can take from 5 to 20 years. This worsens the housing deficit, as demand grows faster than supply. Strategies are proposed to streamline certification processes, such as simplifying procedures, improving coordination between entities, training professionals, periodically evaluating processes and using technology. The research seeks to develop a methodology that integrates these strategies with new technologies to facilitate subsidized housing developments (DS49).

***Keywords**: BIM, social housing, energy evaluation, sustainability*

Resumen

Chile enfrenta una crisis habitacional que se traduce en un déficit de más de 650.000 viviendas (estimadas al 2022). El Plan de Emergencia Habitacional pretende construir cerca de la mitad de lo requerido antes del término del mandato de G. Boric. Pero el proceso de postulación y certificación de viviendas sociales es lento y requiere de la participación de muchos profesionales. Además, estas las leyes que autorizan el reglamento y el financiamiento de las viviendas sociales cambian todos los años, por lo que no se puede desarrollar un proyecto a largo plazo. Una de las estrategias propuestas es impulsar el desarrollo de la vivienda industrializada, que reduce el tiempo de construcción, aunque enfrenta desafíos logísticos y de costo. Las empresas constructoras tradicionales también son necesarias, especialmente en áreas de difícil acceso.

El Fondo Solidario de Elección de Vivienda es el principal programa de subsidio, financiando la mayoría de viviendas subsidiadas en Chile, pero su proceso es lento, pudiendo tomar de 5 a 20 años. Esto agrava el déficit habitacional, ya que la demanda crece más rápido que la oferta. Se proponen estrategias para agilizar los procesos de certificación, como simplificar trámites, mejorar la coordinación entre entidades, capacitar profesionales, evaluar procesos periódicamente y usar tecnología. La investigación busca desarrollar una metodología que integre estas estrategias con nuevas tecnologías para facilitar la certificación de viviendas de subsidio DS49.

***Palabras clave:** BIM, vivienda social, evaluación energética, sustentabilidad.*

 BY-NC-SA

Introducción

En Chile, aproximadamente dos de cada tres viviendas se construyen con intervención estatal (Lopicich, 2016), lo que representa una inversión anual superior a los $2.000 millones. Pero esta inversión resulta insuficiente si no se acompaña de capacidades humanas y tecnológicas que permitan desarrollar proyectos al ritmo del crecimiento poblacional. En respuesta a esta situación, se implementó el Plan de Emergencia Habitacional, el cual busca aumentar la producción de viviendas sin comprometer su calidad.

Uno de los principales mecanismos de acceso a la vivienda subsidiada en el país es el Fondo Solidario de Elección de la Vivienda (FSEV), que permite postulaciones tanto individuales como colectivas. Sin embargo, la aprobación de proyectos depende en gran medida de las capacidades técnicas de los equipos formuladores, lo que puede generar retrasos en los procesos de certificación. En este contexto, la metodología Building Information Modeling (BIM) ha cobrado relevancia como una herramienta clave para mejorar la productividad, eficiencia y sustentabilidad del sector. Su implementación ha sido promovida desde el ámbito público a través de iniciativas como PlanBIM, enmarcada en la estrategia nacional Construye2025. Aunque esta iniciativa se encuentra actualmente suspendida, permitió capacitar a más de 1.500 profesionales, actualizar mallas curriculares en instituciones de educación superior y establecer estándares nacionales para el uso de BIM en proyectos de infraestructura pública (Construye2025, 2024).

La incorporación de BIM en proyectos de vivienda social ha sido objeto de diversos estudios que destacan sus beneficios operativos y económicos, especialmente en vivienda colectiva. Contreras Varas (2024) analizó su implementación en una empresa inmobiliaria chilena que desarrolló un conjunto habitacional de diez viviendas, concluyendo que BIM mejoró la eficiencia operativa, la coordinación entre áreas y la toma de decisiones. En una línea similar, Valdés Indo (2014) evidenció que el uso de esta metodología en proyectos habitacionales en altura permitió reducir hasta un 40 % de los imprevistos en obra y aumentar la rentabilidad en un 13 %.

El uso de software como Autodesk Revit y Graphisoft ArchiCAD ha facilitado la modelación tridimensional y la planificación detallada de obras. Ramírez Palma (2022) aplicó estas herramientas en el diseño de una vivienda de dos plantas, logrando detectar interferencias en etapas tempranas, lo que generó ahorros en tiempo y costos. A pesar de estos avances, aún persisten desafíos significativos, como la resistencia al cambio, la escasa capacitación técnica y la falta de normativas estandarizadas (Loyola Vergara & Urrutia Beiza, 2012). No obstante, se han propuesto estrategias para superar estas barreras, como la elaboración de estándares nacionales y la promoción de la colaboración interdisciplinaria.

En términos de proyección, la Encuesta Nacional BIM 2022 (FAU, 2022) evidenció un crecimiento sostenido en la adopción de esta metodología en Chile, especialmente en áreas relacionadas con la gestión de datos, la comunicación entre equipos y la planificación de obras. De igual forma, un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo (Cathles et al., 2023) destacó los avances del país en la transformación digital del sector construcción, posicionando a BIM como una herramienta clave para reducir la huella de carbono y mejorar la calidad de las edificaciones.

En conjunto, estos antecedentes evidencian un creciente interés por integrar BIM en la planificación y diseño de viviendas sociales en Chile. Si bien persisten desafíos, la experiencia acumulada y las políticas públicas implementadas hasta la fecha han generado una base sólida para avanzar hacia una construcción más eficiente, colaborativa y sustentable, en concordancia con los objetivos del Plan de Emergencia Habitacional y del programa Construye2025.

1. Objetivos

El objetivo principal es revisar una metodología de trabajo que optimice la propuesta de precalificación energética mediante la integración de herramientas digitales y tecnología BIM en proyectos de construcción. Esta metodología estará enfocada en mejorar la calidad de la toma de decisiones, reducir el tiempo de ejecución en la fase de diseño y aumentar la satisfacción de los clientes finales a través de soluciones más eficientes y sostenibles. A continuación, se describen los objetivos específicos que busca la investigación:

BY-NC-SA

a. Analizar las tecnologías BIM disponibles para la creación de modelos virtuales que faciliten el análisis energético, permitiendo una evaluación más precisa y rápida de diferentes alternativas de diseño antes de la ejecución.

b. Establecer un protocolo de toma de decisiones que utilice datos obtenidos a través de la tecnología BIM para priorizar soluciones de diseño que maximicen la eficiencia energética, asegurando una alineación entre los objetivos del proyecto, tales como, la Calificación Energética de Viviendas.

c. Revisar y adaptar el estándar BIM para proyectos públicos y su aplicación en el desarrollo de proyectos de vivienda social, asegurando que la metodología propuesta cumpla con los requisitos normativos y mejore la propuesta para la precalificación energética en estos proyectos.

2. **Metodología**

La presente investigación se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica exhaustiva enfocada en la evaluación energética utilizando software de Modelado de Información de Construcción (BIM). El objetivo fue identificar y analizar las capacidades y limitaciones de las herramientas BIM en el contexto de proyectos de vivienda social en Chile. Este enfoque metodológico se seleccionó para proporcionar una comprensión integral de las aplicaciones actuales y potenciales de BIM en la mejora de la eficiencia energética.

Para la recolección de datos, se realizó una búsqueda sistemática de literatura en bases de datos académicas y científicas reconocidas, incluyendo pero no limitándose a Scopus, Web of Science y Google Scholar. Se utilizaron palabras clave específicas como "BIM", "evaluación energética", "vivienda social" y "Chile", combinadas mediante operadores booleanos para refinar los resultados. La selección de artículos se basó en criterios de inclusión y exclusión predefinidos: se incluyeron estudios publicados en los últimos diez años que abordaran el uso de software BIM para la evaluación energética en el contexto de la construcción de viviendas, mientras que se excluyeron aquellos que no proporcionaban datos empíricos o que no estaban disponibles en inglés o español.

El proceso de revisión implicó varias etapas. Inicialmente, se realizó una lectura preliminar de los títulos y resúmenes para descartar estudios irrelevantes. Posteriormente, los artículos seleccionados fueron sometidos a una revisión detallada del texto completo, donde se extrajeron datos específicos sobre las características del software BIM utilizado, los métodos de evaluación energética aplicados, y los resultados obtenidos en términos de eficiencia y sostenibilidad.

Una vez revisada la bibliografía seleccionada, se realizó la comparación de los software mencionados y que a su vez sean de uso masivo en Chile; se revisaron las ventajas y desventajas de realizar la simulación energética con ellas y sus ventajas para interoperar con otras herramientas en un entorno BIM.

3. **Adopción y uso de BIM/BEP en Chile**

El desarrollo del BIM en Chile ha avanzado gradualmente, comenzando en arquitectura y extendiéndose a la coordinación digital, especialmente en infraestructura hospitalaria. Desde 2009, su uso es requerido en licitaciones de hospitales públicos, mostrando beneficios en coordinación y reducción de costos al prever errores. La Universidad de Chile realiza la Encuesta Nacional BIM desde 2013 para evaluar su progreso en conocimiento y adopción en el sector de la construcción. En 2013, la encuesta reflejó que BIM ya no era una novedad y era conocido por ingenieros y arquitectos. Las herramientas más usadas son Autodesk REVIT, Autodesk NAVISWORKS y Graphisoft ARCHICAD, predominando esta última entre arquitectos.

La Encuesta Nacional BIM de los años siguientes mantuvo su interés en conocer las herramientas más empleadas y sus usos, pero no siempre con la misma conceptualización, lo que evidencia que cada año los usos de herramientas BIM se han diversificado. A lo largo de los años, se ha mantenido la tendencia de quelos software que mayor uso entre los profesionales se mantiene entre Autodesk REVIT, Autodesk NAVISWORKS, Graphisoft ArchiCAD y Tekla Structures.

 (cc) BY-NC-SA

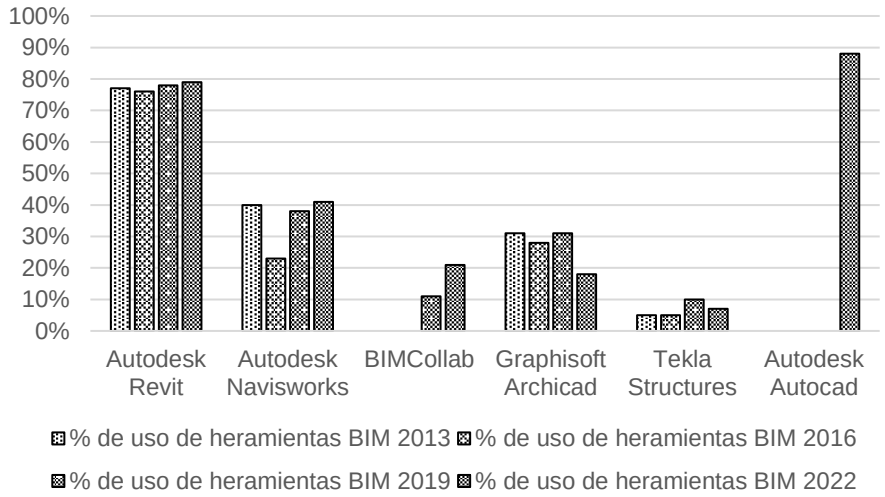


Gráfico 1: Herramientas BIM más empleadas registradas en la Encuesta Nacional BIM entre 2013 a 2022 . El gráfico muestra además que hay un alto uso aún de software Autocad, pero la encuesta no cuestiona en el uso que se le da al software.

En las encuesta también se consideran los usos que se le dan a las herramientas BIM. Desde 2013, el mayor uso ha sido para la etapa de diseño, considerando visualización y desarrollo de planimetría. Al comparar las diferentes encuestas disponibles, se detecta que se han adoptado nuevos usos para estas herramientas, lo que va alineado a los avances mismos de cada software. En la encuesta del 2019, se identificó por primera vez el uso de herramientas BIM para análisis energético, que se puede inferir que es un uso aplicado con software ARCHICAD, que implementa esta característica desde su versión 17 del año 2013 y Autodesk REVIT lo incorpora desde su versión 2020.

Si bien existe un avance en la adopción de BIM y de herramientas de eficiencia energética (BEM), estas suelen desarrollarse de manera independiente y por diferentes tipos de profesionales. La tendencia es a separar la arquitectura de la ingeniería (Tkeshelashvili, 2021) y los aspectos asociados a eficiencia energética se revisan en etapas tardías del diseño. Otros aspecto relevante es que los arquitectos carecen de conocimientos en simulación, y no hay tiempo o incentivos para que se involucren (Paryudi, 2015), y el caso de Chile no es la excepción. Además, las herramientas de simulación existentes no son consideradas amigables para los arquitectos, lo que hace que no sea considerado dentro del proyecto o bien sea delegado a otros profesionales.

Otro factor relevante es que los modelos de simulación energética son requeridos cuando los proyectos consideran uso de equipos HVAC, una situación que no necesariamente aplica al diseño de viviendas sociales, donde los esfuerzos deben estar enfocados en soluciones pasivas y que la nueva vivienda no se convierta en un gasto adicional para las familias beneficiadas.

Cabe mencionar que, aunque en Chile hay profesionales arquitectos dedicados a esta materia, son invitados a participar de la revisión de proyectos cuando estos ya están en etapas avanzadas, y rara vez se realiza una etapa de rediseño basado en recomendaciones, pues implica un aumento en la carga de trabajo del diseño que suele estar en etapas muy avanzadas. En el caso de la vivienda social, cualquier modificación realizada al diseño o solución constructiva tiene un impacto directo en los costos del proyecto, un aspecto que no es modificable ya que está vinculado al presupuesto presentado por Ley.

4. Aplicación de BIM/BEP para vivienda social por tipología

El programa Fondo Solidario de Elección de Vivienda, vigente desde 2011, es gestionado por SERVIU y EGIS para facilitar a familias vulnerables el acceso a viviendas nuevas o usadas. Existen dos formas de postulación: en grupo, donde varias familias presentan solicitudes conjuntas para proyectos de 10 a 160 viviendas o pequeños condominios de 2 a 9 unidades; y en grupo o individual para construir en terreno propio o densificar parcelas existentes. Las evaluaciones han evolucionado, incorporando criterios como el

BY-NC-SA

tamaño y características del grupo familiar, priorizando a adultos mayores, padres solteros, discapacitados, y menores de edad. Las viviendas deben cumplir con un mínimo de 48m2 y estándares detallados en el Cuadro Normativo del Ministerio de Vivienda. Los Prestadores de Asistencia Técnica (PSAT) siguen un proceso estándar para cada diseño propuesto, basándose en la composición familiar y necesidades específicas, completando los proyectos con especialidades como estructuras y servicios básicos, asegurando la coherencia entre las partes antes de finalizar el diseño.

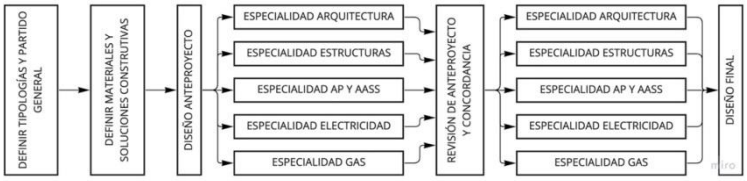


Figura 1: Flujo lineal de trabajo; metodología aplicada actualmente al desarrollo de un diseño de proyecto para FSEV en trabajo con profesionales independientes, a partir de un encargo.

El diseño propuesto debe cumplir con las normativas vigentes relacionadas con estructuras, resistencia al fuego, resistencia térmica y aislación acústica, y deben presentarse certificados de cumplimiento. Es crucial que todas las soluciones constructivas sean coherentes; por ejemplo, si se usa lana mineral para la resistencia al fuego, el mismo material debe usarse para la aislación térmica. Además, la solución constructiva debe acordarse entre arquitectura y estructuras, que definen la materialidad y dimensiones. Luego, se revisa el Listado Oficial de Comportamiento al Fuego, se determina el espesor del aislante para certificar su resistencia térmica según NCh1973, y se verifica que no haya riesgo de condensación superficial o intersticial. Si no se cumple este requisito, se debe considerar otra solución del listado o una acreditada por IDIEM o DICTUC.

Figura 2: Requisitos y metodología para determinar la solución constructiva adecuada para un proyecto y dar cumplimiento técnico a un proyecto postulado a FSEV. Es vital que cada paso sea coherente con las demás soluciones técnicas, o se deberán realizar las modificaciones respectivas, lo que demora el proceso de certificación.

El proceso de diseño de una vivienda es lento y se enfrenta a revisiones constantes de diseño, presupuesto y cumplimiento normativo. Si surge un problema, es necesario revisar todo el proyecto, lo que puede afectar la factibilidad técnica o el cumplimiento de normas de construcción. Los conflictos comunes incluyen cambios en la solución constructiva, que pueden alterar el presupuesto y requerir modificaciones en permisos; cambios en la distribución de recintos, que impactan en el proyecto de estructuras; y cambios en elementos de fachada, que afectan el presupuesto y la eficiencia térmica debido a mayores aperturas.

Este decreto es actualizado todos los años y con cada modificación que se realiza, se añaden nuevos requisitos con el fin de mejorar el estándar de habitabilidad. Estos cambios son indicados en cada Resolución Excenta que llama al proceso de selección y otorgamiento del subsidio. En la Resolución Excenta 217, del año 2022, aplicado al DS Nº 49 (V. y U.) de 2011, “La necesidad de dar pronta solución habitacional a las familias que forman parte del Registro de Familias del Programa de Asentamientos Precarios del Ministerio de Vivienda y Urbanismo” (Ministerio de Vivienda y Urbanismo, 2022),considera el cumplimiento del Confort Higrotérmico, el cual debe demostrarse a través de la Calificación Energética de Viviendas (CEV).

Para obtener la Pre-Calificación Energética, es necesario contar con un diseño final, y la información respecto de los materiales, geometrías y cumplimiento de normas de edificación.

BY-NC-SA

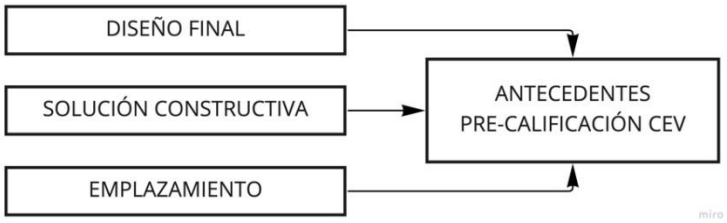


Figura 3: Síntesis de antecedentes requeridos para una pre-calificación energética CEV. Cualquier cambio en diseño, solución constructiva o emplazamiento, afecta el resultado de la pre-calificación energética.

Considerando que el principal problema al diseñar y certificar proyectos es el tiempo que se requiere para desarrollarlos, es que se deben buscar estrategias que permitan un flujo de trabajo más expedito. Para esto, se deberían considerar nuevas metodologías de trabajo que aprovechen la tecnología disponible actualmente en el mercado, que permitan agilizar el desarrollo de cada etapa requerida.

La metodología BIM presenta un avance tecnológico para el rubro de la construcción. No constituye una tecnología en sí misma, pero si permite diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual (PlanBIM, 2019).

Uno de los pilares definidos en PlanBIM es la tecnología. Este pilar está orientado a que se deben aprovechar las tecnologías disponibles para el desarrollo de proyectos. Esto, sumado a una buena estrategia, capacitación de personas y procesos, permitirían una buena base BIM para la etapa de diseño de un proyecto.

En Chile, el Estándar BIM para proyectos públicos constituye una herramienta fundamental para implementar la metodología en el desarrollo de cualquier tipo de proyecto de edificación o infraestructura. Con el apoyo de Corfo, PlanBIM no sólo ha concretado la publicación del estándar, además ha capacitado a más de 1.500 profesionales en Introducción al BIM, y generado redes académicas para garantizar que la educación en BIM esté disponible en liceos técnicos, institutos profesionales y universidades.

Los Usos BIM son “métodos de aplicación de BIM durante el ciclo de vida de una edificación o infraestructura para alcanzar uno o más objetivos específicos (Messner, 2013). PlanBIM desarrolló el Estándar BIM para Proyectos Públicos (EBPP) en el que se definene la aplicacipon de la metodología BIM en diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto en Chile.

4.1. **Objetivos BIM:**

Cuando se aplica la metodología BIM, es importante considerar primero cuáles son los objetivos que queremos abordar. Para el caso de una evaluación energética para vivienda social, no todos los Usos BIM definidos en el EBPP tendrán un impacto significativo para resolver dicho objetivo, y es importante ser selectivos con aquellos que podrían ser relevantes. En esta investigación, se definieron los siguientes Objetivos BIM:

- Definir los elementos del entorno que pueden influir en el comportamiento energético de la edificación.
- Incorporar la información no gráfica asociada al comportamiento térmico de la envolvente en los modelos BIM.
- Estandarizar la información contenida en los Modelos BIM.

4.2. **Usos BIM:**

De lo anterior, se desprende que es relevante considerar los Usos BIM que están en la etapa de Planificación y Diseño, que además tienen relación con las variables definidas en la Calificación Energética de Vivienda en un proyecto:

BY-NC-SA

Uso BIM 1: Levantamiento de condiciones existentes: Este Uso BIM debe considerarse para el modelamiento del entorno respecto del emplazamiento de la vivienda. Los elementos que debe contener son los definidos por la CEV como obstrucciones: cualquier tipo de edificación permanente y accidentes geográficos, tales como cerros, laderas, situados en el entorno cercano a la vivienda en análisis (Minvu, Manual de procedimientos Calificación Energética de viviendas en Chile, 2019).

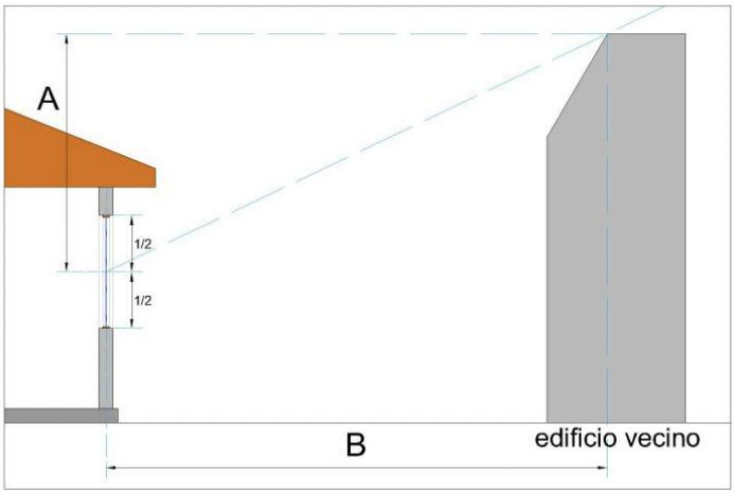


Figura 4: Definición de FAR al determinar de A y B. Este FAR inicial se debe hacer con cada obstrucción (considerar las 5 más relevantes) por cada ventana con igual orientación. Al final, se obtendrá un factor para todos los elementos remotos que afecten dicha orientación. (Manual CEV, 2019)

Estas obstrucciones son consideradas a una distancia de 50m desde el centro horizontal del vano a revisar, y abarcan un cono de visión de 90° perpendicular a la ventana (ver Figura 4).

Tanto en plano vertical como horizontal, se deben considerar los elementos que afectan el factor de accesibilidad de elementos remotos (FAR), los cuales generan sombra y disminuyen la ganancia solar.

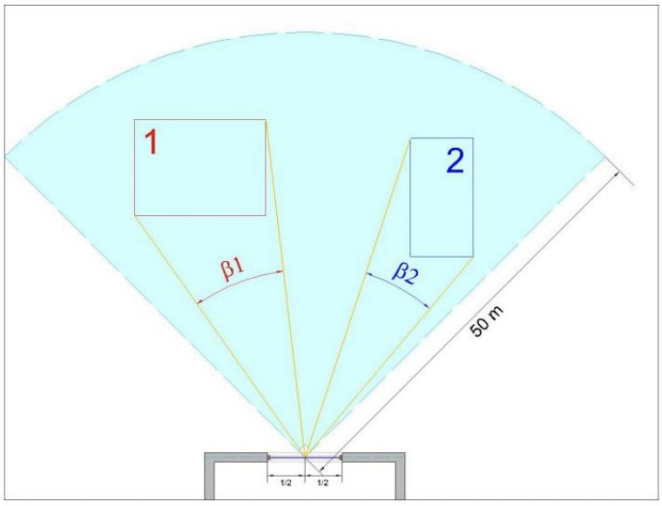


Figura 5: Definición de obstrucciones en un plano horizontal. Tanto en plano vertical como horizontal, se deben considerar los elementos que afectan el factor de accesibilidad de elementos remotos (FAR), los cuales generan sombra y disminuyen la ganancia solar. (Manual CEV, 2019)

Es importante que con el fin de realizar un buen modelo estandarizado del sitio, se deberían considerar todas las posibles obstrucciones con un distanciamiento de 50m desde cada uno de los deslindes. De este

BY-NC-SA

modo se podrían analizar diferentes alternativas de emplazamiento sin necesidad de volver a modelar cada una de ellas.

Uso BIM 4: Análisis del cumplimiento del programa espacial (zonificación): Proceso de utilización de uno o más modelos BIM para evaluar si el diseño cumple de manera eficiente y exacta con las áreas incluidas en los requerimientos del proyecto, tomando en cuenta las regulaciones y normas establecidas. Esto es relevante ya que el FSEV tiene requerimientos mínimos en cuanto a superficie de recintos y cabida de mobiliario, según cuadro normativo.

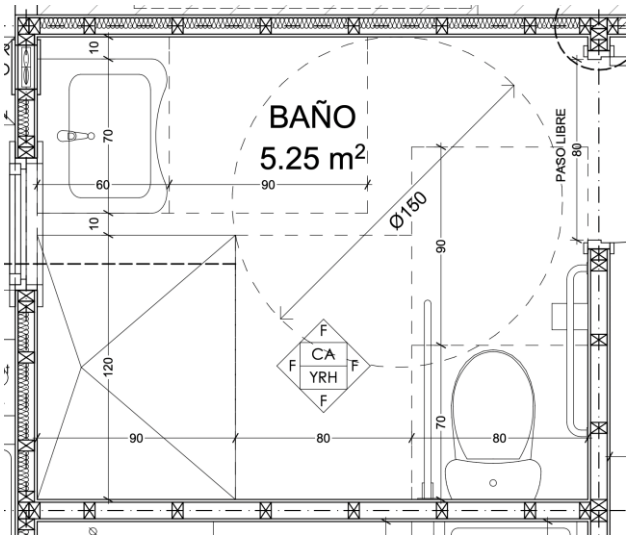


Figura 6: Ejemplo de espacios mínimos requeridos para un recinto (baño accesible). El decreto indica para cada recinto de la vivienda, un espacio mínimo para artefacto o mobiliario, y su espacio de uso. En los modelos BIM esta información se puede incorporar en el software de modelación nativo.

Uso BIM 5: Análisis de ubicación : Este Uso BIM debe considerar todos los aspectos relacionados con la ubicación geográfica del modelo, es decir, latitud, longitud, altura respecto al nivel del mar, y por supuesto definir la orientación del proyecto en el modelo.

Además es relevante ya que tiene relación con el uso de un modelo que consideraría todos los elementos a una distancia de 50m desde los deslindes del lote donde se proyecta la vivienda. Si se incorpora la revisión de este antecedente, se podría determinar el mejor lugar para emplazar la vivienda, independiente si se encuentra en una zona parcialmente urbanizada o rural. Un modelo de sitio completo permitiría analizar diferentes alternativas de emplazamiento sin necesidad de volver a modelar cada una de ellas.

Uso BIM 11: Análisis energético: Este último Uso BIM tiene la finalidad de entregar información respecto del comportamiento energético de la edificación. En los casos más básicos, se podría evaluar a partir de un modelo de la edificación y sólo considerar la información geométrica y no geométrica (resistencia térmica, transmitancia, reflectancia, etc.) de un proyecto en un entorno omitido. Un modelo que incorpore más información sobre el entorno, permitiría que estos resultados fuesen más asertivos, e incluso permitirían modificaciones en etapa de anteproyecto que tuviesen impacto en un mejor desempeño energético de la vivienda.

La CEV en etapa de pre-calificación, considera que según el porcentaje de ahorro de energía kW/m2 respecto de un caso base, es lo que la considera una vivienda más o menos eficiente (empleando el sello a través de una letra de la “A” a la “G”, donde “A” es más eficiente y “G” es lo menos eficiente).

4.3. **Modelos y Niveles de Información**

Los Niveles de Información o NDI son los grados de profundidad que puede tener tanto la información geométrica como no geométrica contenida en las entidades de los modelos BIM, según el Estado de

BY-NC-SA

Avance de la Información de los Modelos en que se requiera. Esta información puede cambiar y/o aumentar a medida que el proyecto avanza. Los NDI están directamente relacionados con los TDI. (PlanBIM, 2019). Esto es muy relevante, ya que al existir un orden en el desarrollo de los modelos, se va a aumentando la complejidad de los mismos al incorporar información geométrica más detallada o bien información no geométrica que puede tener incidencia en las diferentes especialidades abordadas en un proyecto FSEV.

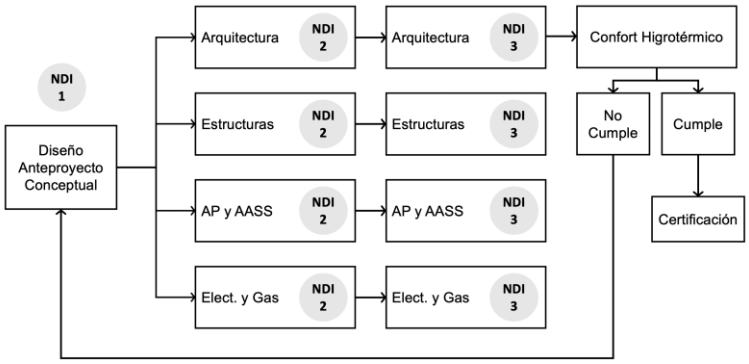


Figura 7: Flujo de trabajo tradicional para diseño de proyecto FSEV, asociado a Nivel de Información según EBPP. Se representa que aún cuando se llega a una etapa NDI-3 aún pueden surgir cambios que impacten desde etapas más tempranas al proyecto.

5. **Conclusiones**

Si bien el Ministerio de Vivienda y Urbanismo planea aplicar la metodología BIM a la presentación y revisión de proyectos de subsidio, también debería ser considerada su aplicación desde el inicio del proyecto, para que el resultado no sea sólo “un modelo BIM verificable” según el decreto. Las empresas prestadoras de servicios podrían también desarrollar distintos tipos de modelos BIM que entreguen información pertinente a las demás acreditaciones involucradas.

Un error detectado en el flujo de trabajo tradicional es considerar el “anteproyecto de arquitectura” como un proyecto final. Cuando se habla de anteproyecto, en metodología BIM, no hay un nivel de información tan alto como un proyecto de arquitectura. Debe entenderse que tiene trazados preliminares y que aún es susceptible de modificaciones, como las que podrían solicitar los especialistas. Es prudente entonces considerar dentro del flujo de trabajo que utilice BIM, que los demás especialistas sean colaborantes de un proyecto integrado, pero para eso se debe promover la adopción de conocimientos por parte de todos los profesionales.

En alguno países, como el caso revisado de España y HULC, existen aproximaciones a una metodología que permita rescatar información sobre desempeño energético desde modelos BIM. Sin embargo, hasta ahora, estos modelos aún deben ajustarse mucho para poder entregar información certera. Una forma más eficiente de trabarlos sería tal vez generando filtros o capas secundarias de modelo para evitar el proceso de “ajustar” un modelo.

Un modelo BIM que se pueda analizar en su desempeño energético en etapas tempranas permitiría el desarrollo de un diseño más eficiente, sin sacrificar el tiempo de desarrollo del proyecto técnico. Si previamente a la evaluación CEV se consiguen valores menores en kWh/m2, sería esa opción más eficiente la que podría someterse al cálculo de pre-calificación energética y ya contar con un mayor ahorro respecto del caso base. Esto aseguraría la puntuación para la certificación del proyecto, tanto del uso de BIM como del confort higrotérmico respaldado por la CEV.

Además, la herramienta BIM empleada permite generar un modelo energético de “línea base”, similar a lo que hace la herramienta CEV, lo que permite comparar la eficiencia de la vivienda en comparación con otra que cumple sólo el estándar mínimo.

Basado en lo revisado, es importante redefinir el flujo de trabajo y los Niveles de Información considerados según el avance del proceso. La figura 8 muestra una propuesta de metodología de trabajo para un equipo

 BY-NC-SA

que realice su primera propuesta de proyecto como equipo, ya que todos los aspectos deben estar coordinados. En adelante si el equipo de trabajo se mantiene, se podrían realizar mejoras sobre el mismo flujo propuesto.

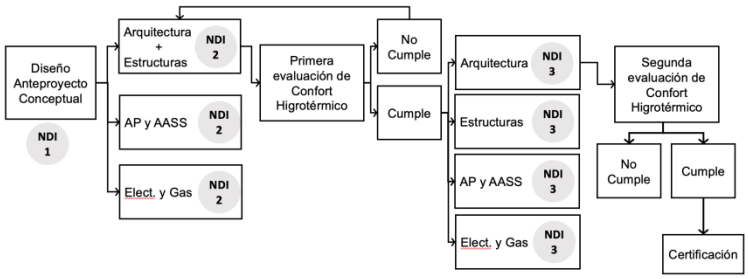


Figura 8: Propuesta de Metodología de trabajo para optimizar los procesos asociados a la CEV desde un modelo BIM, a partir de las definiciones de EBPP: Niveles de Desarrollo y Tipos de Información.

Otros hallazgos de la investigación proponen mejorar el flujo de trabajo a través de:

- No limitar la aplicación de este tipo de metodologías a determinados software. Hoy en el mercado existen varios software BIM que podrían apoyar este proceso, especialmente aquellos que operan en entornos abiertos “OpenBIM”.
- Estandarización de soluciones constructivas: al estandarizar las soluciones constructivas, se puede disminuir los cambios a las soluciones de envolvente, y con ello ajustar a las soluciones más eficientes por un menor costo a largo plazo.
- Precaución con el diseño de la vivienda: ya que a ciertas salientes volumétricas podrían generar obstrucción en las ventanas. Esto es crucial en el diseño de viviendas en zonas de climas más fríos, donde se debe considerar una buena aislación y una envolvente más “compacta”.
- Creación de plantilla de trabajo: la creación de una plantilla de trabajo permitiría disminuir los tiempos de ejecución de un proyecto, ya que una plantilla contiene definiciones de preferencia como colores definiciones de secciones y alzado, objetos, láminas, etc.

Referencias

Lopicich, B. (2016). *Políticas públicas en el sector vivienda en Chile*. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

Ministerio de Hacienda, Chile. (2023). Ley N°21.516, *Ley de Presupuestos del Sector Público 2023*. Santiago.

Ramírez Palma, J. (2022). *Modelación BIM en vivienda unifamiliar: caso práctico con Revit.*

Valdés Indo, C. (2014). *Viabilidad del uso de BIM en proyectos habitacionales en altura*.

Loyola, M. (2013). *Encuesta Nacional BIM 2013: Informe de resultados*. Departamento de Arquitectura, Universidad de Chile.

Loyola, M. (2016). *Encuesta Nacional BIM 2016: Informe de resultados*. Departamento de Arquitectura, Universidad de Chile.

Loyola, M. (2019). *Encuesta Nacional Bim 2019: Informe de resultados*. Departamento de Arquitectura, Universidad de Chile.

Loyola, M. (2022). *Encuesta Nacional Bim 2022: Informe de resultados*. Departamento de Arquitectura, Universidad de Chile.

Cathles, L., Márquez, M., Ospina, D., & de Simone, F. (2023). *La transformación digital del sector de la construcción en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo.

Contreras Varas, M. (2024). *Aplicación de BIM en empresa inmobiliaria chilena: estudio de caso*.

Construye2025. (2024). *Plan BIM: Informe de resultados y proyecciones*. Santiago, Chile.

Loyola Vergara, R., & Urrutia Beiza, F. (2012). *Barreras y oportunidades para la implementación de BIM en Chile.*

Messner, R. G. (2013). *The uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses, Versión 0*.9. . Pennsylvania: The Pennsylvania State University.

 BY-NC-SA

Succar, B. (2008). *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*. Elsevier, 19.

Kusuda, T. (1971). *Use of computers for environmental engineering related to buildings*. Maryland: National Bureau of Standards.

Paryudi, I. (2015). *Architects And Energy Simulations Tool 4, 3*.

Oh, S. (agosto de 2013). *Origins of analysis methods in energy simulation programs used for high performance commercial buildings*. Texas, Estados Unidos.

Feldman, S. J., & Merriam, R. L. (1979). *Building Energy Analysis Computer Programs With Solar Heating and Cooling System Capabilities*. EPRI.

Kota, S., & Haberl, J. S. (2009). *Historical Survey of Daylighting Calculations Methods and Their Use in Energy Performance Simulations*. ESL.

Yin, R. (2018). *Estudio de caso: investigación y aplicaciones: diseño y métodos*. Sage. Arquitectura, Universidad de Chile.

Tkeshelashvili, M. (2021). *BIM to BEM: Development of integrated workflow from Archicad to Energy Evaluation*. Malmö, Scandinavia: Lund University.

Ministerio de Desarrollo Social. *Fondo Solidario de Elección de Vivienda DS49* https://bips.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/programa/147508 [Consulta: 13 de Mayo 2022]

Calificación Energética de Viviendas, MINVU. *¿Qué evalúa la Calificación Energética?* https://www.calificacionenergetica.cl/que-evalua-la-calificacion-energetica-de-viviendas/ [Consulta: 10 de Mayo 2022]

PlanBIM. (2019). *Estándar BIM para Proyectos Públicos*. Santiago.

Chile, Res. Exenta 7712, 17 de junio de 2017, Cuadro normativo y tabla de espacios mínimos para el mobiliario para proyectos del programa de Fondo solidario de Elección de Vivienda DS N°49, Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen ChatGPT en la plataforma <https://chatgpt.com/ >para mejorar de redacción y resumir de ideas contenidas en el documento original que dio origen a esta publicación.

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación.

BY-NC-SA

ARCHIVOS IFC, BC3 Y CSV PARA MEDICIONES Y CERTIFICACIONES CON OPENBIM

Martínez Gómez, David Carlos; Alarcón López, Iván José
david@ibim.es; ivan@ibim.es;

Abstract

The article "IFC, BC3 and CSV Files for Measurements and Certifications with OpenBIM" addresses the integration of data exchange standards in construction projects based on BIM (Building Information Modeling) methodologies. It focuses on the use of IFC (Industry Foundation Classes), BC3 (Building Cost Information System), and CSV (Comma-Separated Values) files to facilitate the management of measurements and certifications in the OpenBIM environment.

The study explores how these formats allow interoperability between different BIM platforms, facilitating effective communication and collaboration between construction professionals. The advantages of each format are highlighted in terms of precision in measurements, efficiency in the certification of works, and the ability to store crucial information for decision making.

The article contributes to the advancement of the implementation of BIM methodologies by providing clear guidelines on how to use IFC, BC3 and CSV files in an integrated manner in construction projects. This approach promotes standardization and improved efficiency in data management in the construction space, supporting the continuous evolution of OpenBIM practices.

Keywords: *OpenBIM, IFC, BC3, CSV, BIM Quantities.*

Resumen

El artículo "Archivos IFC, BC3 y CSV para Mediciones y Certificaciones con OpenBIM" aborda la integración de estándares de intercambio de datos en proyectos de construcción basados en metodologías BIM (Building Information Modeling). Se centra en la utilización de archivos IFC (Industry Foundation Classes), BC3 (Building Cost Information System), y CSV (Comma-Separated Values) para facilitar la gestión de mediciones y certificaciones en el entorno OpenBIM, es decir utilizando programas y formatos de código abierto.

El estudio explora cómo estos formatos permiten la interoperabilidad entre diferentes plataformas BIM, facilitando la comunicación y colaboración efectiva entre los profesionales de la construcción. Se destacan las ventajas de cada formato en términos de precisión en las mediciones, eficiencia en la certificación de obras, y la capacidad de almacenar información crucial para la toma de decisiones. Se hace una contribución práctica mediante una propuesta de mejora del formato BC3.

El artículo contribuye al avance de la implementación de metodologías BIM al proporcionar pautas claras sobre cómo utilizar archivos IFC, BC3 y CSV de manera integrada en proyectos de construcción. Este enfoque promueve la estandarización y la mejora de la eficiencia en la gestión de datos en el ámbito de la construcción, respaldando la evolución continua de prácticas OpenBIM.

Palabras clave: OpenBIM, IFC, BC3, CSV, Mediciones BIM, Certificaciones BIM.

 BY-NC-SA

Introducción

En los últimos años, la metodología **BIM** ha impulsado la digitalización en la construcción, requiriendo **interoperabilidad** entre múltiples herramientas y actores. Para lograr esta interoperabilidad se apoyan estándares **OpenBIM** de código abierto como BCF, IDS, COBie, bSDD, etc. En relación con las mediciones y certificaciones nos centraremos en:

- **IFC (Industry Foundation Classes)**: fue desarrollado en la década de 1990 por la International Alliance for Interoperability (hoy buildingSMART International) para facilitar el intercambio de modelos BIM. La **primera versión de IFC se publicó en 1997** y desde entonces se han sucedido múltiples revisiones; la versión actual IFC4.3 (ADD2) fue publicada como estándar ISO en 2024 (UNE-EN ISO 16739-1:2020)
- **BC3 (FIEBDC):** estándar español para el intercambio de datos de presupuestos y bases de datos de construcción. Introducido en los años 90 y mantenido por la Asociación FIEBDC, ha tenido varias revisiones (2004, 2007, 2012, 2016) (FIEBDC-3/2020) , y su versión más reciente (FIEBDC-3/2020) ha incorporado la posibilidad de **enriquecer modelos BIM con datos de presupuesto en formato BC3** • (Pizarro, M. 2022).
- **CSV (Comma-Separated Values)**., es utilizado como medio sencillo para exportar listados de mediciones desde modelos BIM hacia hojas de cálculo.

A lo largo de este artículo se describe la evolución de IFC, BC3 y CSV, su estado del arte, beneficios y desafíos en mediciones y certificaciones, las herramientas disponibles y casos de uso, con el fin de ofrecer recomendaciones para mejorar la interoperabilidad en proyectos de construcción.

A nivel nacional de España, el Plan BIM en la Contratación Pública fue aprobado por Consejo de Ministros. Se define un calendario de implantación gradual y progresivo desde 2024 hasta 2030 atendiendo al valor estimado del contrato, y los Niveles BIM a alcanzar: preBIM, inicial, medio, avanzado e integrado. Establece requisitos mínimos para la utilización de modelos digitales en licitaciones públicas, basados en estándares abiertos como IFC y BC3, fomentando la interoperabilidad entre plataformas y agentes.

	Fecha de solicitud obligatoria			
Umbrales del valor estimado	1 abril 2024	1 octubre 2025	1 octubre 2027	1 abril 2030
Igual o superior a 5.382.000 €.	inicial	medio	avanzado	integrado
Inferior a 5.382.000 € e igual o superior a 2.000.000 €.	recomendado inicial	inicial	medio	avanzado

Ilustración 1. El 1 de octubre de 2025 se implementan los niveles medio e inicial en los contratos públicos de la AGE. BOE Orden PCM/818/2023, de 18 de julioFig. 1 El 1 de octubre de 2025 se implementan los niveles medio e inicial en los contratos públicos de la AGE. BOE Orden PCM/818/2023, de 18 de julio

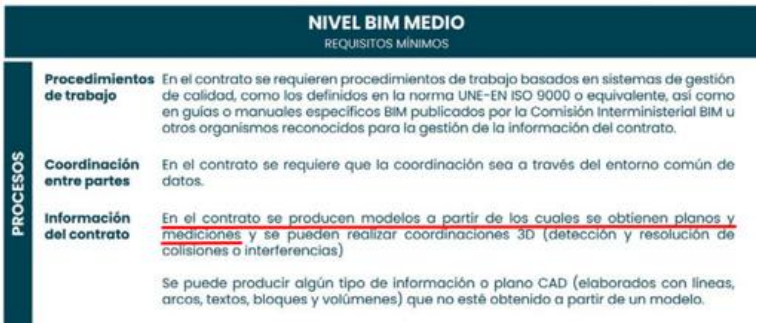


Ilustración 2. El Nivel BIM Medio fija como requisitos mínimos la producción de modelos en el contrato para la obtención de mediciones. BOE Orden PCM/818/2023

1. Normativas y estándares internacionales

IFC está respaldado por organismos de estandarización internacionales. Además de la ISO 16739, iniciativas europeas como buildingSMART y el **OpenBIM Forum** promueven su uso. De hecho, buildingSMART define IFC como un estándar abierto y libre de licencias para representar datos de edificios e infraestructuras (EN ISO 16739-1:2020). La Unión Europea, a través del **EU BIM Task Group**, impulsa la

BY-NC-SA

adopción de **openBIM** en proyectos públicos, reconociendo que solo mediante el uso obligatorio de estándares abiertos se alcanzará la interoperabilidad y eficiencia esperada en la construcción digital (Stanton, J 2024). En cuanto a BC3, aunque es un estándar originado en España, se ha convertido en formato de facto para el intercambio de presupuestos en países hispanohablantes. Algunas normativas nacionales referencian la necesidad de aportar presupuestos en formato FIEBDC-3 (.bc3) para asegurar la compatibilidad entre agentes (arquitectos, ingenieros, constructores, administraciones) que puedan usar distintos programas de presupuestos. Ambos estándares, IFC y BC3, son complementarios: **IFC** como "modelo digital" de la obra y **BC3** como "modelo económico" de la misma.

1.1 **Importancia de la interoperabilidad en BIM**

La interoperabilidad - es decir, la capacidad de diferentes sistemas y herramientas de compartir información sin pérdida de significado- es un pilar del BIM colaborativo. En entornos tradicionales, los datos de proyecto suelen fragmentarse entre planos, tablas de mediciones y documentos de certificación elaborados en distintas aplicaciones. Esto provoca redundancias y errores de coordinación. La adopción de formatos abiertos solventa este problema al permitir un **flujo de información continuo**.

En resumen, el **OpenBIM,** junto con el formato BC3, aporta independencia de herramienta, colaboración efectiva y longevidad de los datos más allá de la vida útil de un software específico.

2. **Enfoque teórico y estudios de caso**

Beneficios de IFC, BC3 y CSV en mediciones y certificaciones:

- Utilizar modelos BIM en formato IFC como base de las **mediciones** permite automatizar el cálculo de cantidades con gran precisión y rapidez, reduciendo drásticamente las tareas repetitivas y el error humano.
- Al enlazar las mediciones a un modelo, se logra **trazabilidad**: es posible identificar qué elemento del modelo origina cada línea de medición y viceversa.
- **Actualización dinámica** ante cambios: si el proyecto sufre modificaciones de diseño, un nuevo IFC exportado puede recalcular las mediciones y actualizar el presupuesto de forma mucho más ágil que rehacer mediciones manualmente. (Pizarro, M. 2022).
- El uso de formatos abiertos **elimina la dependencia de un único proveedor de software**, permitiendo que cada agente use su aplicación preferida sin perder capacidad de intercambio (Pizarro, M. 2022)..

3. **Desafíos y consideraciones**

A pesar de sus ventajas, la implementación de IFC/BC3 conlleva retos:

- la **calidad y preparación del modelo BIM**. El modelo debe estar correctamente elaborado, con todos los elementos modelados y clasificados adecuadamente, para obtener el máximo de las mediciones de un IFC (no todos los objetos del modelo IFC se miden, ni el 100% de las mediciones que forman el presupuesto se obtienen de los modelos como por ejemplo partidas de gestión de residuos o de EPIs de seguridad). Los objetos BIM deben incluir propiedades de cuantificación estándar, conocidas como *BaseQuantities* (longitud, área, volumen, etc.), pues son la base para calcular las cantidades (Pizarro, M. 2022). Por ello, se requiere una **colaboración temprana** entre modeladores y responsables de presupuestos para definir criterios de modelado orientados a mediciones (p.ej. aplicar estructuras de descomposición o códigos de partidas en los objetos).
- la **curva de aprendizaje y cambio cultural**. Muchos profesionales de la medición han trabajado tradicionalmente en 2D o con listas de Excel, y deben adaptarse a revisar un modelo 3D y confiar en él. Al principio, puede haber reticencias por dudas sobre si el modelo refleja todo lo ejecutado. Ligado a esto está el tema del **Nivel de Desarrollo (LOD)** del modelo: un modelo incompleto o esquemático (LOD bajo) no servirá para extracciones precisas de cantidades (Cassandro, J. *et al,*

 BY-NC-SA

2024) Por tanto, se debe planificar el detalle del modelado acorde con los usos 5D desde la fase de proyecto.

- Aunque IFC es un estándar, **no todas las aplicaciones exportan/importan IFC con la misma fidelidad**. Problemas de interoperabilidad pueden surgir por distintas implementaciones (ej.: un software que no exporta correctamente ciertas propiedades, o diferencias entre versiones IFC2x3 vs IFC4). En el caso de BC3, un reto identificado es la falta de alineación total con IFC: actualmente IFC posee clases para costes (IfcCostItem, IfcCostSchedule), pero en la práctica muchas veces se **incorporan datos de presupuesto al propio modelo IFC mediante propiedades adicionales**, pero expertos señalan que duplicar la información (en IFC y BC3) puede ser ineficiente (Pizarro, M. 2022).

Otros desafíos se dan en la fase de **certificación de obra:** el mantenimiento de modelos *"de seguimiento de obra"* en IFC que reflejan los cambios de obra y los elementos ejecutados en cada fase. Una vez obtenidas las reglas de medición del proyecto, las certificaciones mensuales se generan aplicándolas al modelo de seguimiento de obra, obteniendo el presupuesto global con los cambios del modelo, y la certificación actual. Identificar desviaciones respecto al presupuesto inicial permite tomar decisiones con anticipación.

En resumen, los desafíos principales son: asegurar modelos BIM "medibles", coordinar estándares de clasificación, capacitar a los profesionales, y depurar flujos de trabajo para minimizar trabajo duplicado.

4. Medición en modelos nativos frente a modelos en IFC

Antes de la adopción de IFC/BC3, la práctica común de mediciones con BIM frecuentemente recurría a complementos específicos de ciertos softwares. Por ejemplo, en la etapa inicial de BIM, proliferaron **plug-ins "ad-hoc"** como Cost-It (Presto) o el complemento de CYPE para Revit, que permitían extraer mediciones directamente desde el modelo nativo (Pizarro, M. 2022). Estas soluciones cumplen el objetivo de obtener el presupuesto 5D, pero crean **dependencia de un entorno cerrado**. Además, un proyecto, puede tener modelos que se generen en distintos programas nativos. Frente a ello, el uso de IFC y BC3 propone una **metodología abierta y multiplataforma**. Esto da mayor flexibilidad para elegir herramientas y favorece la colaboración cuando distintas empresas usan programas diferentes. En comparación con la medición tradicional sobre planos impresos o CAD 2D, el enfoque BIM 5D con IFC/BC3 ha demostrado **mayor eficiencia y exactitud**. Estudios (Baldrich Aragó et al., 2021) han encontrado que BIM reduce tiempos y errores en comparación con métodos convencionales, al permitir la extracción directa de cantidades de objetos identificables en el modelo (Cassandro, J. *et al,* 2024).

5. Casos de aplicación reales

Existen experiencias documentadas que validan la eficacia de IFC+BC3 en obra. El Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña (ITeC) ha presentado casos de uso de su herramienta **TCQ** en proyectos reales, donde a partir de **varios modelos IFC de distintas disciplinas** se pudo obtener el presupuesto completo de un proyecto de forma colaborativa (Pizarro, M. 2022). Esto incluyó federar modelos arquitectónicos, estructurales y de instalaciones en IFC y vincularlos a una base de precios común, logrando integrar toda la información 5D. En el sector público español, la Infraestructura del **Museo de Colecciones Reales** en Madrid se cita a menudo como proyecto donde se utilizaron estándares OpenBIM para el control 5D, permitiendo a la Administración evaluar propuestas en IFC/BC3 de forma transparente.

Software para IFC, BC3 y CSV en certificación: Hoy en día existe un ecosistema maduro de aplicaciones que soportan IFC y BC3, cubriendo desde la extracción de mediciones hasta la gestión de certificaciones de obra. A continuación, se mencionan las herramientas más destacadas: **Presto + Presto IFC), (RIB Spain):** (Presto Sofware, 2025), **TCQ (ITeC):**. (TCQ Software. 2025), **Primus-IFC (ACCA Software)** (ACCA Software 2023), **Open BIM Quantities (CYPE)** (OpenBimQuantities Software 2025), **BIM Vision + plugins (Datacomp)** (BIM Vision Sofware 2025), **Mamba (BimMate)** (Mamba Software 2025),

BY-NC-SA

- **Otras herramientas:** Existen muchas más (usadas internacionalmente): por ejemplo, **Solibri**, **CostX** , **Navisworks** (con el módulo de Quantificación) importan IFC para cuantificación y planificación, aunque son propietarios. En entornos de código abierto, librerías como **IfcOpenShell** permiten a desarrolladores construir scripts en Python para leer IFC y generar exportaciones CSV a medida, aportando flexibilidad en proyectos con necesidades especiales. Adicionalmente, plataformas de gestión como **Bexel, Synchro, Vico** , **Vircore, Trimble connect** integran 4D/5D y suelen aceptar IFC para interoperar con modelos externos. En cuanto al formato **CSV**, la mayoría de las soluciones mencionadas permiten exportar listados de mediciones a CSV/Excel para intercambio rápido cuando no se requiere todo el detalle semántico (por ejemplo, un jefe de obra puede exportar a Excel un cómputo para hacer pequeños ajustes manuales). Sin embargo, siempre se recomienda mantener el **BC3** como referencia maestra del presupuesto para no perder información (descripciones, códigos, unidades) en el traspaso a CSV.

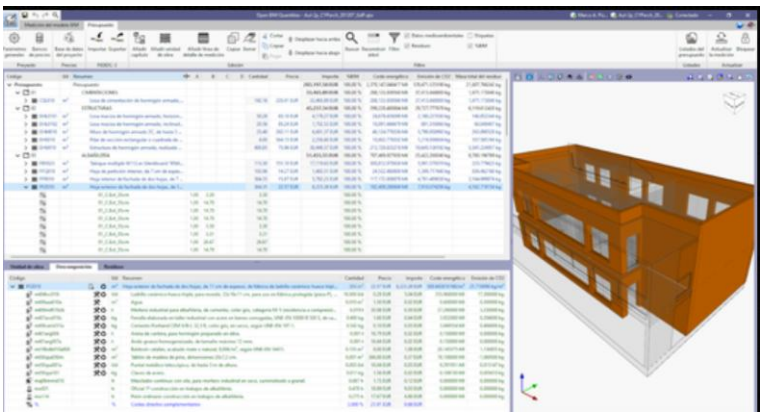


Ilustración 3.Ejemplo de interfaz de un software de presupuesto OpenBIM (Open BIM Quantities de CYPE), mostrando el modelo IFC 3D integrado con el listado de partidas y mediciones (formato BC3) Fuente buildingsmart.es e-zigurat.com..

6. Plataformas colaborativas y fotos 360°

Además del software de mediciones/presupuestos, las **plataformas BIM colaborativas** juegan un rol en la gestión de la documentación de obra. Herramientas como BIM 360 (Autodesk), Trimble Connect, Bentley ProjectWise o **usBIM** (ACCA) permiten centralizar modelos, planos, informes y también **material gráfico como fotografías 360º** vinculados al proyecto. La incorporación de **fotos 360°** y recorridos virtuales está revolucionando la forma de documentar y verificar la ejecución al añadir contexto visual inmersivo que facilita el diálogo entre oficina técnica y obra.

7. Propuesta actualización formato BC3

Debemos felicitarnos por tener en España un estándar que permita interoperar entre programas de mediciones desde los años 90. El estándar permite intercambiar presupuestos y mediciones y además: cuadros de precios (con precios paramétricos), especificaciones técnicas, propiedades técnicas, listas de proveedores, etc. Impulsar una propuesta de mejora conlleva el reto de equilibrar las expectativas de los usuarios con los objetivos de los desarrolladores de software y los gestores de bancos de precios.

Si bien se han ido añadiendo mejoras en estos últimos años, se propone una renovación, que permita:

- Alineación funcional con OpenBIM. Creación de reglas que definan la relación inequívoca entre elementos del modelo y líneas de medición. El enriquecimiento de las líneas de medición con propiedades de los elementos del modelo o personalizadas (de manera desatendida gracias a las reglas), además del identificador GUID, permite reducir barreras para la adopción de BIM, por parte de usuarios no BIM (no especializados en BIM).
- Claridad y separación del esquema frente al formato. Se propone diferenciar de forma explícita el esquema de datos (definiciones, propiedades, relaciones) del formato de codificación. El formato actual puede resultar ambiguo, ya que combina diversos separadores como \, [, {, |, cuya

BY-NC-SA

interpretación depende tanto de la posición como del carácter opcional u obligatorio del contenido. Esta complejidad puede derivar en interpretaciones divergentes entre plataformas.

- Mantener al máximo la estructura principal del esquema, los grupos de registros tipo y las definiciones y propiedades dentro de los registros tipo: PROPIEDAD Y VERSION, COEFICIENTES, CONCEPTO, DESCOMPOSICION, MEDICIONES, ARCHIVO BIM, AÑADIR DESCOMPOSICION, DESCOMPOSICIÓN DE RESIDUOS, TEXTO, DESCRIPCION PARAMETRICA, CAMBIO DE CODIGO, ENTIDAD, DOCUMENTO ADJUNTO, CLAVES, RELACIÓN COMERCIAL, INFORMACIÓN TÉCNICA, ÁMBITO GEOGRÁFICO, PLIEGOS etc

Hacer un análisis minucioso del estándar actual y definir en su totalidad la nueva versión, excede la capacidad permitida en este artículo. A continuación, se realizan algunas propuestas para mejorar el formato BC3 y alinearlo con OpenBIM

7.1 **Formato tipo JSON-XML.**

Es un formato más en concordancia con bases de datos no relacionales,

Aportación: una definición inequívoca de cada propiedad y su jerarquía, además de ofrecer la posibilidad de incorporar propiedades personalizadas fuera del esquema original, respetando la extensibilidad y compatibilidad.

7.2 **Propiedades personalizadas:**

Añadir al esquema propiedades personalizadas ya sea en conceptos, líneas de medición, etc. Una propiedad estaría formada por 4 campos: Nombre, Formato (Texto, número), Valor y Descripción. Cada programa puede elegir despreciar las propiedades no estándar del formato bc3, o permitir un mapeo a propiedades propias. Incluso se puede indicar el origen del programa utilizado y reimportar prácticamente sin pérdida. También permite poder incorporar propiedades del IFC: IfcProject, IfcSite, IfcBuilding, IfcBuildingStorey. IfcGlobalId.), IfcClass (clase del elemento), IfcName, ObjectType, …para identificar, posicionar y clasificar los objetos

Aportación: las propiedades personalizadas permiten enriquecer con comentarios las líneas de medición, y crear vistas o agrupaciones del presupuesto diferentes a la clásica de Capítulo y partida. Por ejemplo, puedo crear vistas agrupados por niveles, edificios, etc y posteriormente por capítulos y partidas, o directamente por partidas.

7.3 **Añadir un identificador de línea de medición.**

Incluir un campo identificador único en cada línea de medición.

Aportación: controlar cambios en un presupuesto en sucesivas exportaciones.

7.4 **Añadir un identificador en Conceptos.**

Incluir un campo identificador único en cada concepto.

Aportación: identificación de conceptos y mapeado entre diferentes bases de datos.

7.5 **Crear un campo fórmula para la línea de medición.**

Ahora para introducir una fórmula en una línea de medición hay que crear una línea solo rellenada en el campo reservado para el comentario con la fórmula. A partir de esa línea, al resto de líneas, se aplica la fórmula indicada, hasta que se encuentre otra con una fórmula nueva.

Aportación: evitar confusión al incluir en cada línea de medición el campo fórmula.

BY-NC-SA

7.6 **Crear campo número certificación en línea de medición**

El estándar, hasta ahora, solo contempla definir, en el registro tipo Propiedad y Versión, si el archivo BC3 corresponde a una Base de datos (precios), a una medición, a una certificación, o una Actualización de base de datos, con el campo “TIPO INFORMACIÓN”. Si es valor es “2” corresponde a un Presupuesto, y si el valor es “3” a una Certificación a origen. Se complementa con 2 campos optativos adicionales, “NÚMERO CERTIFICACIÓN” y “FECHA CERTIFICACIÓN”

Se propone incluir el campo “NÚMERO CERTIFICACIÓN” dentro de cada línea de medición. Si la línea de medición tiene completado el campo, además de indicar la medición, indicará que se ha certificado en ese número de certificación. Se completará con un campo “PORCENTAJE PARCIAL”, correspondiente al porcentaje de la cantidad de la línea de medición certificada, con el campo “COMENTARIO CERTIFICACIÓN”, correspondiente a comentarios a incluir en esa certificación. Se puede analizar incluir otros métodos de certificación como Certificar por cantidad.

Para estos cambios sería necesario quitar como valor posible el “3” del campo “TIPO INFORMACIÓN”, del registro tipo Propiedad y Versión, e incluir un nuevo registro “CERTIFICACIONES” que será un array del objeto “CERTIFICACIÓN” con los datos generales de cada certificación: “CÓDIGO”, “COMENTARIO”, “FECHA”, y cualquier otro campo a considerar.

Aportación: facilitar exportaciones de certificaciones a origen, parciales, incluyendo mediciones.

7.7 **Nuevo registro tipo, Referencias.**

Incluir un nuevo registros tipo de REFERENCIAS. Completa el registro tipo Descomposición (objeto descomposición) indicando como actúa un concepto dentro del árbol del presupuesto, en cada una de sus apariciones.

Tabla 1. Posibles referencias. Fuente propia. (2025)

CONCEPTO	REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
Raíz	R_Raíz .	Nivel principal de la obra. Como es único coincide con el concepto
Capítulo	R_Capítulo	Cada uno de los grupos de partidas. Depende del Raíz o de otro capítulo (subcapítulos) Como es único coincide con el concepto
Partida	R_Partida	Alzada o con descomposición. Depende de capítulos o subcapítulos. No del Raíz. Definir si una partida puede depender de otra partida.
Partida	R_PartidaAuxiliar	Alzada o con descomposición. Depende de otra partida. Definir si el estándar admite esta situación
Descompuesto	R_Descompuesto	Simple (sin descomposición) o Auxiliar (con descomposición) Depende de una partida
Descompuesto	R_Descompuesto2	Simple (sin descomposición) o Auxiliar (con descomposición) Depende de un descompuesto auxiliar

Aportación: Realizar comprobaciones del estándar (ver punto 8.7) .Al realizar líneas de medición con toda la información asociada asegura el cálculo de los importes parciales, y permite obtener líneas de medición por cada descompuesto de la partida. (ver punto 8.9)

7.8 **Aclaraciones del estándar**

En este apartado se plantean algunas dudas al estándar, a consensuar:

- una partida puede depender, o no, del capítulo raíz
- una partida puede ser, o no, el descompuesto de otra partida.
- un descompuesto puede depender de un capítulo.

BY-NC-SA

- un capítulo tener una cantidad distinta de 1
- cómo actuar cuando difiere el total de medición con la suma de los parciales de sus líneas
- cómo actuar cuando el campo precio de un concepto Capítulo difiere del obtenido por la suma de sus partidas o subcapítulos

Aportación: evitar confusión.

7.9 **Propuesta de tabla de contenido automatizada. Trazabilidad de líneas de medición.**

Incluir un nuevo registros tipo de TABLA DE CONTENIDOS. La tabla de contenidos define las reglas con que se está midiendo un modelo BIM.

Una posible definición de la tabla de contenido (o conjuntos de reglas) puede ser:

Tabla 2. Campos a incluir en la tabla de contenidos. Fuente propia. (2025)

CAMPO	DESCRIPCIÓN
1. Proyecto	Nombre del conjunto de reglas
2. REGLAS MEDICIÓN	Array del objeto regla, con el conjunto de reglas de medición.
2.1 SELECCIONES	Array de Objeto “SELECCIÓN” que determina que elementos del modelo conforman la regla
2.1.1 PROPIEDAD	Nombre del Pset +”/” + Nombre de Propiedad
2.1.2 VALOR	Valor que debe cumplir “PROPIEDAD” según “CONDICIÓN”
2.1.3 CONDICIÓN	Valores posibles para “CONDICIÓN”: Es igual a, no es igual a, empieza por, no empieza por, termina por, no termina por, contiene, no contiene, tiene un valor, no tiene ningún valor, es mayor que, es mayor o igual que, es menor que, es menor o igual que, expresión regular
2.2 ASIGNACIONES	Array de Objeto “ASIGNACIÓN”. Cada “SELECCIÓN” puede contener varias asignaciones a partidas. Cada “ASIGNACIÓN” determina como se miden los elementos seleccionados.
2.2.1 A, B, C, D	Si es un texto será el Pset y propiedad que determina ese valor, si es un número real es una constante. Si alguna magnitud no existe será null o no se pondrá.
2.2.2 FÓRMULA	Expresión algebraica a evaluar según estándar BC3. Si es null será la expresión por defecto a*b*c*d
2.2.3 CÓDIGO CAPÍTULO	Capítulo de la partida asignada
2.2.4 CÓDIGO PARTIDA	Partida asignada a los elementos seleccionados
2.2.5 COMENTARIO	Conjunto de constantes o propiedades que conforman el comentario.
2.2.5.1 CONSTANTE	Si es true valor indica una cadena de texto literal a colocar. Si es false representa el pset y propiedad que determina ese valor
2.2.5.2 VALOR	Literal o Pset +”/” + Propiedad del elemento

Aportación: exportar/importar reglas entre programas y verificar por externos las mediciones aportadas, midiendo de nuevo el modelo. El proceso de medición una vez definidas las reglas es automático y desatendido.

7.10 **Trazabilidad líneas de medición basadas en formato CSV**

Cada línea de medición procedente de un modelo BIM tiene asociado un elemento del modelo. El uso del formato CSV, extraído a partir del formato bc3, permite realizar comprobaciones del ejemplar asociado a la línea de medición con el modelo. El formato mínimo requiere

Tabla 3. Campos a incluir en el formato csv de una línea de medición. Fuente: propia (2025)

CAMPOS
Comentario de la línea de medición
Id BIM del elemento del modelo
Unidades. Columna A
Largo. Columna B

BY-NC-SA

Ancho. Columna C
Alto. Columna D
Total de medición. De la línea de medición
Precio Parcial. Multiplicar el precio de la partida por total de medición de la línea
Precio de la partida
Código de la partida
Capítulo de la partida

Los programas de mediciones han heredado la forma de hacer mediciones manuales: se realizan redondeos de números para simplificar operaciones y las líneas de medición no tienen importe solo operan mediciones. Al tratar el presupuesto desglosando importes (medición por precio partida) en cada línea de medición, se generan unos ligeros desfases por ajustes de esos redondeos, no coincidiendo la suma de los importes con el total de la partida calculando la suma de las mediciones y multiplicándolo por el precio de la partida. De hecho, ya se producen desajustes por redondeos si se calcula el total de un presupuesto cambiando las definiciones de los decimales a utilizar. Esto no debe ser un problema y se podrán consensuar y estandarizar.

Código CAPÍTULOS	Resumen	Cant	Importe 1 (redondeo final)	Importe 2 (redondeo por partida)	DIFERENCIA
D	Demoliciones	1	42.41 €	42.40 €	0.01 €
F	Fábricas	1	48,120.58 €	48,123.24 €	- 2.66 €
L	Carpinterías	1	21,550.60 €	21,551.28 €	- 0.68 €
N	Aislamientos	1	2,516.09 €	2,514.72 €	1.37 €
R	Revestimientos	1	11,596.87 €	11,596.06 €	0.81 €
S	Equipamientos	1	3,409.60 €	3,409.64 €	- 0.04 €
G	Gestión de residuos	1	576.80 €	576.80 €	- €
RAÍZ (TOTAL)	**EjemploPresupuesto**	**1**	**87,812.94 €**	**87,814.14 €**	- 1.20 €

Ilustración 4. Ejemplo de desajuste por redondeos

En la siguiente imagen se muestra como el visor Periscoope (desarrollado por *ibim*) relaciona un archivo BC3 con un modelo, sin que el modelo tenga ningún parámetro específico. En el estándar BC3, en la línea de medición, en el comentario, cuando la línea proviene de un ejemplar del modelo se añade # ID_BIM. En el caso concreto de IFC, ese identificador es el GUID. Periscoope crea datos extendidos, sin modificar el IFC, asociando a cada ejemplar del IFC, los datos de las líneas de medición (comentario, columnas a, b, c, d, medición parcial, importe parcial, etc), y los datos de la partida correspondiente, a partir del código de partida de esa línea de medición (código de medición, unidad, resumen, descripción, importe, etc), que tengan en el campo # ID_BIM el mismo GUID en el modelo IFC. Este registro se almacena en una lista, permitiendo que un elemento del modelo este asociado en múltiples partidas. El modelo no tiene ningún dato relacionado con la medición, lo que permite, reasociar mediciones al modelo (por primera vez o cuando hay un cambio en las mediciones) sin modificar el modelo. Es la línea de medición quien tiene la información.

BY-NC-SA

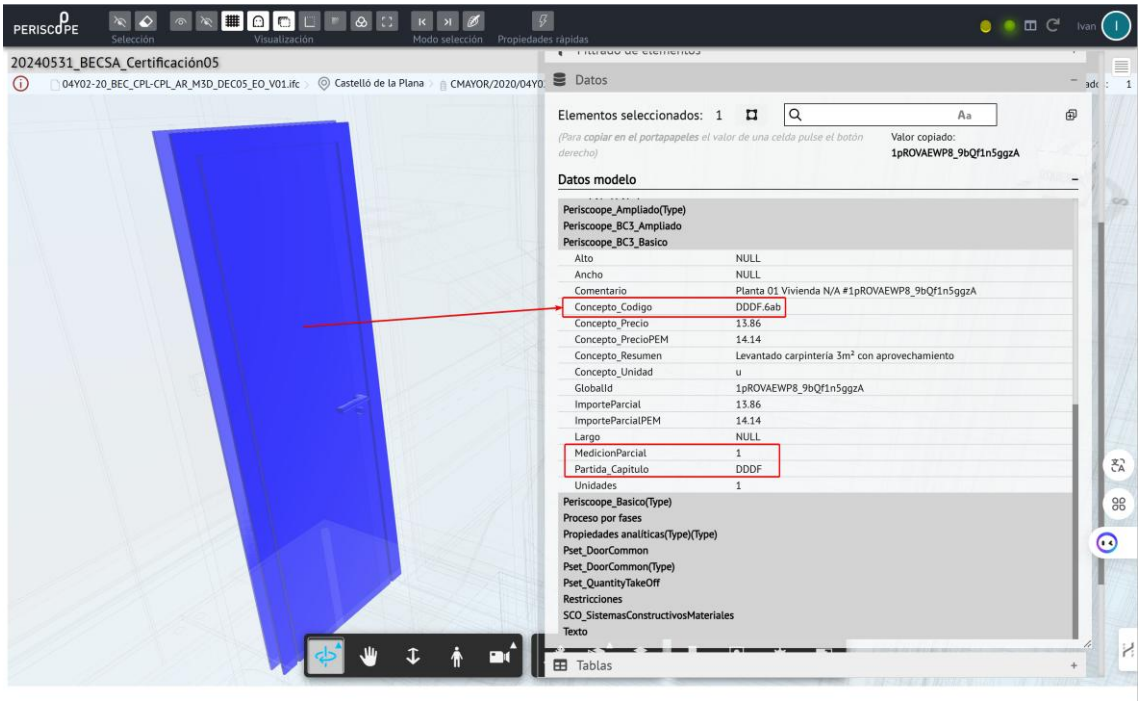


Ilustración 5. Relación de elementos del modelo con BC3. Fuente propia.

El programa VisualCost de ITeC, es un visor gratuito de escritorio que visualiza presupuestos en formato BC3. Una de sus funcionalidades es obtener la trazabilidad del modelo con el presupuesto. En la imagen inferior muestra ese cuadro con gráficos tipo tarta con los porcentajes, respecto al total de líneas o al importe, de líneas y de partidas con #GUID. Tiene una limitación y es que no comprueba si lo que hay detrás del "#" se corresponde con un GUID de IFC (22 caracteres).

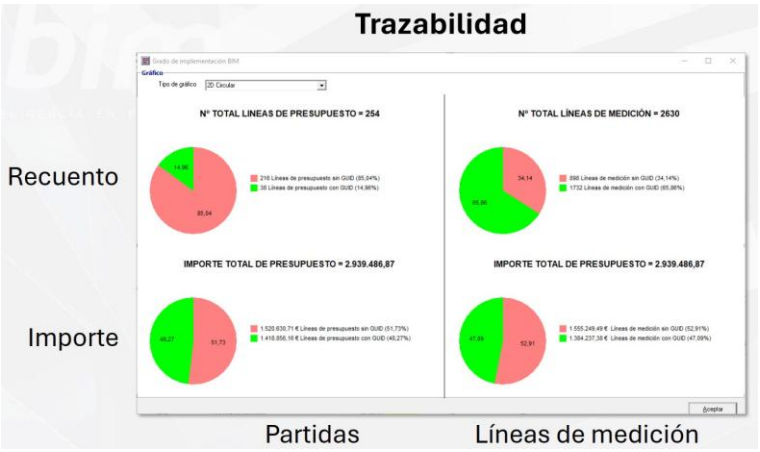


Ilustración 6. Gráfico de trazabilidad. Fuente propia, con gráficos del programa VisualCost

Se puede dar otro paso y duplicar las líneas de medición por capa descompuesto de la partida asociada a esa línea, y obtener mediciones y precios de los materiales que intervienen en la partida.

8. Conclusiones y recomendaciones

La integración de los formatos IFC, BC3 y CSV en entornos OpenBIM ofrece un **marco potente para la gestión de mediciones y certificaciones** en proyectos de construcción. La sinergia entre ambos habilita flujos **BIM 5D** verdaderamente interoperables, mejorando la eficiencia, la exactitud y la transparencia en la elaboración de presupuestos y la certificación de obra. Además, el apoyo de tecnologías complementarias como la fotografía 360° enriquece el proceso al facilitar la validación visual del avance. A continuación, se plantean **estrategias y recomendaciones** para maximizar la interoperabilidad y la eficacia de estos procesos en futuros proyectos:

BY-NC-SA

- **Adopción temprana de estándares abiertos:** Es crucial que los contratos y planes de ejecución BIM (BEP) de los proyectos **exijan el uso de formatos OpenBIM (IFC/BC3)** desde el inicio, pensando en la interoperabilidad.
- **Coordinación entre plataformas BIM:** Para mejorar la interoperabilidad, las diferentes plataformas deben "entenderse" mejor. Es recomendable que las empresas realicen **pruebas de intercambio** al inicio de un proyecto: por ejemplo, exportar un modelo de su software de autoría a IFC y luego importarlo en la aplicación de mediciones, verificando que toda la información (tipos, propiedades, cantidades) se conserva. Utilizar **propiedades estándar** y estructuras de clasificación conocidas (por ejemplo, OmniClass, Uniclass, sistemas nacionales) facilitará la conexión con bases de datos de costes. Además, permitirá tener reglas de medición estandarizadas, realizar comparativos y análisis entre obras, facilitar el trabajo en el presupuesto por los distintos agentes en distintas obras, etc.
- **Enriquecer el modelo con información mínima necesaria:** Aunque es tentador cargar el modelo IFC con todos los datos de coste, la estrategia óptima es **mantener separados modelo y presupuesto vinculados**, en lugar de fusionarlos de forma rígida. Se recomienda utilizar identificadores comunes (ej. códigos de partida o GUID de objetos) para relacionar IFC y BC3, pero dejando que cada uno contenga la información para la que fue diseñado.
- **Capacitación y protocolos claros:** La implementación exitosa de OpenBIM 5D requiere capacitar a los equipos. Todos los involucrados (modeladores, calculistas, jefes de obra) deben conocer al menos los fundamentos de IFC y BC3. Es recomendable impartir talleres internos sobre *"buenas prácticas de modelado para mediciones"*, y definir un **protocolo de mediciones BIM**: estableciendo reglas de medición consensuadas (qué se mide y cómo: superficies netas vs brutas, longitudes con/descontar huecos, etc.)
- **Uso combinado de herramientas especializadas:** Ninguna herramienta por sí sola cubre todo el ciclo, por lo que conviene aprovechar lo mejor de cada una. Por ejemplo, se puede emplear una aplicación de referencia (como Revit, ArchiCAD o Allplan) para la **autoría del modelo BIM**, luego pasar por un software dedicado de **mediciones (Open BIM Quantities, Cost-it, etc.)** para extraer cantidades y vincular con partidas, y finalmente refinar el presupuesto/certificación en un programa de **gestión económica (Presto, Arquímedes, TCQ)**.
- **Incorporación de 360º y verificación in situ:** Se aconseja complementar el proceso con **documentación fotográfica 360° periódica** durante la obra, integrada en la plataforma común. Esto sirve como evidencia objetiva del estado de la construcción en cada fase. La recomendación es establecer puntos fijos de toma de fotos 360 y capturar imágenes en cada visita de supervisión, que estarán disponibles para todos los agentes para realizar comprobaciones de elementos construidos y certificados.
- **Mejora continua y estándares futuros:** Por último, se recomienda participar en la mejora de estos estándares aportando experiencia de campo. Los profesionales pueden involucrarse en capítulos de buildingSMART o comités de normalización para impulsar ampliaciones de IFC que cubran mejor ciertos casos (por ejemplo, elementos de infraestructura o detalles de certificación).

En conclusión, la integración IFC+BC3, reforzada con formatos auxiliares como Json o CSV y con documentación 360, constituye una **buena práctica** para gestionar mediciones y certificaciones de obra de forma eficiente y transparente, aprovechando al máximo estas tecnologías OpenBIM. La transición hacia un flujo de trabajo 5D plenamente abierto requiere compromiso de todas las partes: estándares sólidos, herramientas compatibles y profesionales capacitados.

BY-NC-SA

Referencias

Normativas y Estándares

UNE EN-ISO 16739-1:2020. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema. International Organization for Standardization (ISO). Disponible en https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/10755a4c-7554-4735-92c2-27a57d2b2a79/en-iso-16739-1-2020?srsltid=AfmBOogrJyOdObDn8szmIBtS6clPZy13wqnVWgv67JRxoPk5l0Hz5L9U#:~:text=The%20Industry%20Foundation%20Classes%2C%20IFC%2C,data%20schema%20is%20defined%20in [Consulta: 1 de marzo de 2025].

FIEBDC-3/2020. *Formato de Intercambio Estándar para Bases de Datos de Construcción (BC3)*. Asociación FIEBDC, España. Disponible en: https://www.fiebdc.es/formato-fiebdc/ [Consulta: 1 de marzo de 2025].

Artículos Científicos y Estudios

Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2018). *Building Information Modeling: Technology Foundations and Industry Practice*. Springer.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. John Wiley & Sons.

Pizarro, M. (2022). *Mediciones y presupuestos desde IFC*. Píldora BIM, buildingSMART Spain.. Disponible en https://www.buildingsmart.es/2022/03/04/mediciones-y-presupuestos-desde-if. [Consulta: 2 de marzo de 2025].

Jiménez, P. (2022). *Herramientas OpenBIM 5D: VisualCost, TCQ, Presto y su interoperabilidad con IFC y BC3*. BuildingSMART Spain.

Stanton, J (2024). A manifesto for openBIM. Disponible en https://www.bimplus.co.uk/a-manifesto-for-openbim/. [Consulta: 3 de marzo de 2025].

Cassandro, J., Farina, A., Mirarchi, C., Pavan, A. (2024). Cost estimation practices: a comparative analysis of traditional. Disponible en https://itc.scix.net/pdfs/w78-2024-paper_116.pd. [Consulta: 4 de marzo de 2025].

Libros y Manuales Técnicos

Besada, D. (2023). *Medición y presupuesto de modelos IFC en proyectos de edificación*. Zigurat Engineering.

buildingSMART International (2020). *IFC Overview and Implementation Guide*. Disponible en: https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ [Consulta: 1 de marzo de 2025].

Casos de Estudio y Aplicaciones

ITeC (2022). *Implementación de OpenBIM en proyectos de infraestructura en España*. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC).

FARO Technologies (2023). *Uso de fotografía 360° para certificaciones de obra en entornos OpenBIM*. FARO Whitepaper. Disponible en: https://www.faro.com [Consulta: 1 de marzo de 2025].

ACCA Software (2023). *Integración de modelos BIM y presupuestos con Primus-IFC*. Web oficial. Disponible en: https://www.accasoftware.com/primus-ifc [Consulta: 1 de marzo de 2025].

Garau Ingenieros (2021). *Fotografías 360° en proyectos de ingeniería y construcción*. Blog de Garau Ingenieros.

Presto Software (2025) Disponible en https://www.rib-software.es/presto. [Consulta: 1 de marzo de 2025].

TCQ Software. (2025) Disponible en https://itec.es/programas/tcqi/ [Consulta: 1 de marzo de 2025].

OpenBimQuantities Software (2025). Disponible en https://info.cype.com/es/producto/open-bim-quantities/ [Consulta: 5 de marzo de 2025].

BIM Vision Software (2025). Disponible en https://store.bimvision.eu/home/viewplugin/0302e3f5-3cf5-49d2-bc04-e5b33fd5b639:

Mamba Software (2025), Disponible en https://mamba.bimmate.es/

Recursos Web y Documentación Adicional

buildingSMART International. *IFC Documentation & Implementation*. Disponible en: https://technical.buildingsmart.org [Consulta: 1 de marzo de 2025].

EU BIM Task Group (2020). *Handbook for the implementation of BIM in the European Union*. Disponible en: https://www.eubim.eu [Consulta: 1 de marzo de 2025].

FIEBDC España (2020). *Documentación oficial sobre BC3 y su uso en presupuestos de construcción*. Disponible en: https://www.fiebdc.es [Consulta: 1 de marzo de 2025].

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen, concretamente ***ChatGPT-4*** *(OpenAI, versión GPT-4-turbo) a través de la plataforma* ***https://chat.openai.com****, con el objetivo*

BY-NC-SA

específico de ***apoyar en la redacción, revisión lingüística y estructuración de contenidos, así como en la generación de ejemplos explicativos y la mejora del estilo académico del texto****.*

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación.

BY-NC-SA

INCORPORACIÓN DE BIM EN LA ENSEÑANZA DE DIBUJO ARQUITECTÓNICO EN LOS PRIMEROS AÑOS DE ARQUITECTURA TÉCNICA

García Valldecabres, Jorge; López González, Mª Concepción; Ariel Escudero, Pablo.
Departamento de Expresión Gráfica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Valencia, España
jgvallde@egaupv.es; mlopez@ega.upv.es; pabes@upv.es

Abstract

This study explores the integration of innovative methodologies, such as Building Information Modeling (BIM), into the Architectural Drawing I course of the bachelor's degree in Technical Architecture at the Universitat Politècnica de València (UPV), with the aim of modernizing teaching and aligning it with current professional demands. The research analyzes how the transition from CAD to BIM can foster a more collaborative, interactive, and data-driven learning experience, especially following the forced adaptation to digital tools.

The programs of three Spanish universities are compared, highlighting their approaches to teaching digital tools. UPV's proposal aims to gradually integrate BIM principles, using accessible software and promoting projects.

It is observed that the integration of BIM in the early stages of training is viable and beneficial, as long as it is adapted to the training level of the students, balancing the use of digital tools with the preservation of traditional skills that include comprehensive personal improvement through the professional's own critical thinking. The importance of a progressive approach is emphasized, allowing students to understand the fundamentals of BIM without overwhelming their learning, ensuring that future professionals are well-prepared for the challenges of the architectural industry.

***Keywords**: drawing, architecture, BIM, processes, knowledge, analysis*

Resumen

Este estudio explora la integración de metodologías innovadoras, como el Modelado de Información de la Construcción (BIM), en la asignatura Dibujo Arquitectónico I del Grado en Arquitectura Técnica de la Universitat Politècnica de València (UPV), con el objetivo de modernizar la enseñanza y alinearla con las demandas profesionales actuales. La investigación analiza cómo la transición del CAD al BIM puede fomentar un aprendizaje más colaborativo, interactivo y basado en datos, especialmente tras la adaptación forzada a herramientas digitales.

Se comparan los programas de tres universidades españolas, destacando sus enfoques en la enseñanza de herramientas digitales. La propuesta de la UPV busca integrar principios BIM de manera gradual, utilizando software accesible y promoviendo proyectos.

Se observa que la integración de BIM en etapas tempranas de la formación es viable y beneficiosa, siempre que se adapte al nivel formativo del alumnado, equilibrando el uso de herramientas digitales con la conservación de las habilidades tradicionales en las que se incluye el perfeccionamiento integral personal a través del pensamiento crítico propio del profesional. Se destaca la importancia de un enfoque progresivo que permita a los estudiantes comprender los fundamentos del BIM sin sobrecargar su aprendizaje, asegurando que los futuros profesionales estén bien preparados para los desafíos de la industria arquitectónica.

***Palabras clave:** dibujo, arquitectura, BIM, procesos, conocimientos, análisis*

 BY-NC-SA

Introducción

La finalidad de esta contribución es explorar en qué medida la incorporación de un enfoque renovado en la asignatura *Dibujo Arquitectónico I* ha podido favorecer una mejora en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Este cambio metodológico parte de la inquietud por adaptar la docencia a las necesidades actuales del alumnado, fomentando su implicación activa y promoviendo una mayor responsabilidad sobre su propio proceso formativo. Aunque los resultados obtenidos hasta el momento son parciales y están en continua revisión, las primeras evidencias sugieren que este planteamiento puede contribuir a una participación más consciente del estudiante en su aprendizaje, en línea con los principios de la educación centrada en el alumno (Benito & Cruz, 2005; Poumay et al., 2017). Más que ofrecer conclusiones cerradas, esta aportación busca abrir un espacio de reflexión sobre nuevas formas de abordar la enseñanza del dibujo en el contexto universitario.

Durante el curso 2020/21, en plena pandemia de COVID-19, se incorporaron metodologías como el *Flipped Classroom* y el *Blended Learning* (Goñi Zabala, 2005), las cuales sentaron las bases para una evolución pedagógica significativa. Este contexto impulsó la necesidad de adaptar la enseñanza del dibujo arquitectónico a medios digitales, facilitando la introducción de herramientas como el Diseño Asistido por Computadora (CAD) y, posteriormente, la metodología del Modelado de Información de la Construcción (BIM). La experiencia adquirida durante este periodo resultó crucial para afrontar desafíos posteriores, como la necesidad de llevar a cabo una docencia *online* con motivo de la DANA que afectó a Valencia en 2024. Esta serie de circunstancias adversas pusieron en evidencia la necesidad urgente de adaptar los programas y estrategias docentes para garantizar la continuidad educativa mediante plataformas digitales. En respuesta, se fortaleció la integración de tecnologías digitales en la asignatura para la enseñanza *online* de CAD, y se fomentó la adquisición de la visión de conjunto en el proceso de la representación mediante los distintos medios.

A partir de esta propuesta, surgió la pregunta que guía este trabajo: ¿Es posible implantar algunos de los principios de la metodología BIM en la asignatura de *Dibujo Arquitectónico I* del Grado en Arquitectura Técnica en la Universitat Politècnica de València?

En este contexto, la incorporación de los principios de BIM en el ámbito educativo se plantea como una estrategia transformadora capaz de renovar y enriquecer los enfoques tradicionales de enseñanza, fomentando un aprendizaje más dinámico, colaborativo y estrechamente vinculado con las demandas reales del sector de la construcción y la arquitectura. Esto asegura que los futuros profesionales estén mejor preparados para afrontar los retos de la industria actual y futura. Las actividades que se desarrollan en esta asignatura, orientadas al levantamiento de planos y a la interpretación del proyecto, responden a un modo de pensar estructurado que se construye mediante el ejercicio de competencias propias de los profesionales de la construcción. Estas competencias comienzan a adquirirse a través de la práctica del dibujo arquitectónico, que abarca tanto la capacidad de análisis gráfico como la facultad de síntesis a través del desarrollo de la representación del edificio.

Por ello, cuanto antes comprenda el alumnado las fases que estructuran el pensamiento profesional y se inicie la adquisición de los hábitos que el dibujo arquitectónico requiere, mejor se podrá integrar el conocimiento de las demás asignaturas del grado. Todo este aprendizaje converge en el documento del proyecto arquitectónico, el cual actúa como una estructura troncal que dota de sentido y coherencia al conjunto de saberes (Otxotorena, 1996). Y, todo ello, teniendo en cuanta, que a través del desarrollo de los contenidos de la asignatura se encuentra en *el pensamiento sistémico* primordial para el futuro profesional. Este le ayuda en el análisis descriptivo de las partes, así como el proceso de conocimiento, la definición de la arquitectura y de la materialidad de la construcción.

Esta orientación responde, además, a una necesidad emergente en el contexto profesional. El *Informe de Situación BIM en España 2024*, elaborado por *buildingSMART Spain*, subraya que el nivel de implementación de BIM en el ámbito educativo es uno de sus pilares clave. En él se destaca la urgencia de adaptar los planes de estudio y la oferta formativa a fin de preparar a los futuros profesionales para responder adecuadamente a las exigencias del sector. En los últimos años, diversos estudios han abordado la implantación del BIM en

 BY-NC-SA

el ámbito universitario, como se recoge en el observatorio de esBIM (García-Santos, 2017). En este contexto, la Universitat Politècnica de València ha desarrollado iniciativas pioneras en la incorporación de la metodología BIM en la docencia universitaria, reflejadas en múltiples publicaciones científicas. Destacan las aportaciones de Cos-Gayón López (2016), quien documenta la implementación de BIM en asignaturas del Máster Universitario de Edificación, así como las investigaciones de Oliver Faubel (2016), centradas en la integración curricular del BIM en los estudios de Grado en Arquitectura Técnica. Estas experiencias evidencian el compromiso con la innovación docente y la adaptación a los nuevos requerimientos del sector de la edificación. No obstante, a pesar de los avances, aún no se ha desarrollado un diseño de Grado con BIM plenamente integrado que garantice su replicabilidad sin comprometer las competencias profesionales exigidas por la legislación vigente (León-Cascante et al., 2021).

En este marco, el presente trabajo propone que algunos de los estudiantes más avanzados en la asignatura de Dibujo puedan dar un paso más allá, avanzando hacia la implementación progresiva de la metodología BIM, entendida como una evolución natural del pensamiento gráfico y una herramienta fundamental para el futuro profesional en el ámbito de la edificación. A los alumnos se introduce en el discernimiento gráfico de la arquitectura a partir de los diferentes entornos de conocimiento y definición. En cada uno de estos se les asigna un nivel de definición mayor, a los que se incorpora tanto propiedades geométricas, dimensionales como constructivas y de los materiales.

1. **La asignatura: Dibujo Arquitectónico I**

La asignatura de Dibujo Arquitectónico I forma parte del plan de estudios del Grado en Arquitectura Técnica, dentro de la formación básica de la carrera. Se imparte durante el primer curso de la titulación con 261 horas de enseñanza-aprendizaje. Para la mayoría del alumnado procedente de bachillerato, esta asignatura representa uno de sus primeros contactos con el dibujo, especialmente para quienes no han cursado estudios previos relacionados con la expresión gráfica.

En este sentido, el objetivo principal de la asignatura es introducir al estudiante en el uso de los sistemas de representación gráfica aplicados al ámbito arquitectónico, especialmente en la elaboración de planos de objetos arquitectónicos. Para ello, se trabaja mediante la realización de croquis a mano alzada a partir de modelos reales, incorporando la toma de medidas *in situ* que posteriormente se traducen en representaciones a escala. Los planos generados deben ser lo suficientemente precisos y detallados como para definir por completo el objeto arquitectónico estudiado.

Las unidades que componen la asignatura son:

Unidad Temática	**Contenido**
1. Presentación	- Concepto de dibujo arquitectónico - Lenguaje gráfico - Instrumentos de dibujo
2. Aplicación de los sistemas de representación	- El sistema diédrico
3. El croquis	1. Concepto de croquis 2. Concepto de módulo. Análisis de la forma 3. Proceso de elaboración del croquis 4. Acotación. Normativa
4. La puesta a escala	1. Concepto y entornos 2. Los planos
5. La sección	1. Concepto y aplicación 2. Tipos y representación
6. La toma de medidas de casos especiales	1. Toma de medidas por triangulación 2. Toma de medidas por coordenadas 3. Toma de medidas indirectas: escáner láser 3D y fotogrametría
7. El detalle y los entornos de definición	- Los entornos de definición del conjunto de las partes - Los niveles de conocimiento
8. El proyecto arquitectónico	- Las fases o pasos del desarrollo del proyecto

 BY-NC-SA

	- Los objetivos de cada fase del proyecto y los agentes involucrados - Los principios del trabajo colaborativo, la interoperabilidad y la visión holística en la gestión del proyecto
9. La representación digital	1. Introducción al CAD 2. Inicio del dibujo con CAD 3. Edición del dibujo con CAD 4. Modificación del dibujo con CAD 5. Textos e impresión 6. Bloques, su inserción y acotado de dibujos 7. Espacio papel. Impresión del espacio papel 8. Inserción de imágenes
10. Introducción al levantamiento de planos	- La toma de datos - Metodología

La evaluación de la asignatura Dibujo Arquitectónico I se basa en un sistema de evaluación continua que combina el trabajo desarrollado a lo largo del curso con pruebas prácticas específicas. Se valora, por un lado, la carpeta de curso, que incluye todos los ejercicios realizados tanto en clase como de forma autónoma por el alumnado, y por otro, cinco pruebas puntuables: tres centradas en la elaboración de croquis y dos en la realización de puestas a escala manuales, con la posibilidad de incorporar herramientas de CAD. En este sentido, es posible observar cómo la gran mayoría de los estudiantes evolucionan en su concepción del dibujo, entendiendo cómo interpretar la realidad material de la arquitectura. Esta evolución conceptual les permite dar el siguiente paso hacia los medios digitales, facilitando la comprensión y aplicación de metodologías como BIM, que son fundamentales en el contexto actual de la arquitectura. Y, de testa manera se logra que la representación gráfica facilite y anticipe a los alumnos integrar los conocimientos que se estudian en otras asignaturas de primer curso como son: Construcciones Arquitectónicas, Materiales y Geometría Descriptiva.

2. **Actualidad del CAD y BIM en la enseñanza del dibujo arquitectónico**

En la actualidad, la enseñanza de CAD y BIM como tecnologías digitales más utilizadas en la representación de la arquitectura, se ha convertido en un tema relevante, lo que plantea la necesidad de su incorporación en los programas docentes. Por esta razón, se analiza cómo se aborda este tema en las tres universidades con mayor número de estudiantes en la carrera de Arquitectura en España: la Universitat Politècnica de València (UPV), la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y la Universidad Politécnica de Madrid (UPM). En el análisis de las asignaturas relacionadas con el Dibujo Arquitectónico, se observa una aproximación similar en la enseñanza del dibujo técnico aplicado a la arquitectura, aunque con diferencias en la integración de herramientas digitales y conceptos tridimensionales (Fig. 1).

En la UPV, la asignatura “Dibujo Arquitectónico I” cuenta con una estimación de 261 horas totales de dedicación del estudiante (9 ECTS), de las cuales 90 son presenciales (3 horas a la semana durante 30 semanas) y el resto se corresponde con trabajo autónomo del estudiante. El programa incluye una unidad sobre "Representación digital", con una dedicación aproximada de 15 horas presenciales (5 clases de 3 horas cada una), lo que representa un 17.5% aproximadamente de la asignatura.

Por su parte, en la UPC, la asignatura "Introducción al Dibujo Arquitectónico" es obligatoria en el Grado en Arquitectura Técnica y Edificación, con una carga de 150 horas totales (6 ECTS). Su temario incorpora la representación tridimensional mediante el estudio del sistema axonométrico y la perspectiva cónica, con el uso de *SketchUp*. Basándose en la distribución de horas en la guía docente, se estima que aproximadamente 61 horas del curso están dedicadas a la enseñanza de conceptos 3D, lo que representa un 40.67% del total de la asignatura.

En la UPM, la asignatura "Dibujo Arquitectónico I" se imparte tanto en el Grado en Edificación como en el Doble Grado en Edificación y Administración y Dirección de Empresas. Aunque la guía docente analizada no especifica la dedicación total en horas, se estima en 150 horas (6 ECTS). En el caso del Grado en Edificación, aproximadamente el 39.5% de las horas presenciales se destinan a la enseñanza de conceptos relacionados con el 3D.

 BY-NC-SA

Tabla 1: Diferencias entre las tres universidades con mayor matrícula de estudiantes de Arquitectura.

Universidad	Grado	ECTS	Horas Totales	Contenidos Principales	Horas Dedicadas a 3D y Digitalización
Universitat Politècnica de València (UPV)	Grado en Ingeniería de la Edificación / Arquitectura Técnica	9	261	Representación digital, Introducción al CAD.	29 horas (Representación digital, CAD), 21 horas (escáner láser 3D, fotogrametría)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)	Grado en Arquitectura Técnica y Edificación	6	150	Representación tridimensional (axonométrico, perspectiva cónica), Uso de *SketchUp*	61 horas (40.67% del total) enfocadas en conceptos 3D
Universidad Politécnica de Madrid (UPM)	Grado en Edificación	6	150	Dibujo arquitectónico técnico, Conceptos relacionados con el 3D	39.5% de horas presenciales dedicadas en conceptos 3D

Como se ha observado, las tres universidades incorporan herramientas digitales en la enseñanza del dibujo arquitectónico, con un énfasis común en el uso de software CAD. La Universitat Politècnica de Catalunya se distingue por una mayor integración de conceptos tridimensionales en el programa, destacando la enseñanza del software *Trimble SketchUp* para el modelado 3D, como paso previo a su vinculación con información alfanumérica. En cambio, la Universidad Politécnica de Madrid dedica menos horas a estos contenidos centrándose en que el alumnado comprenda correctamente CAD 2D. Por su parte, la Universitat Politècnica de València incorpora tanto CAD 2D como 3D mediante el uso del software *Autodesk AutoCAD*.

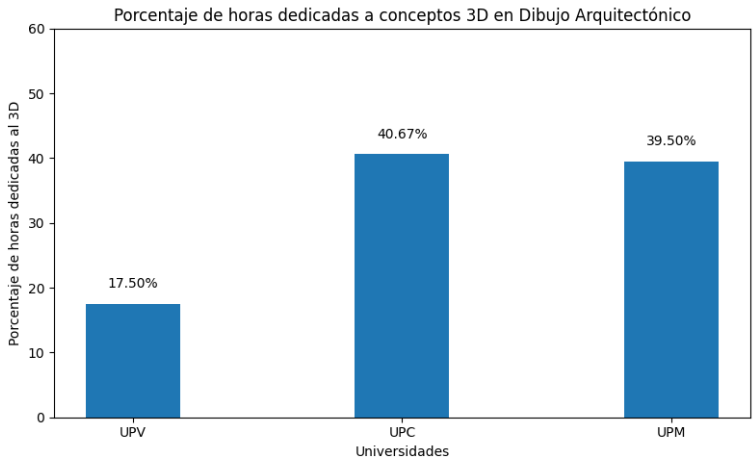


Figura 1: Porcentaje de horas dedicadas al estudio de conceptos 3D en entornos digitales.

3. **Objetivos de la asignatura: actualidad y proyección**

El proceso seguido en la asignatura para la realización de los dibujos se concibe como el desarrollo necesario para llevar a cabo un levantamiento gráfico que implique el análisis y la representación descriptiva de una parte o aspecto de un edificio. Estos dibujos son el resultado de una serie de actividades que se realizan en varias etapas, hasta obtener la representación final mediante croquis y dibujos a escala (Fig. 2).

Según los objetivos establecidos en la guía docente del curso 2024/25 impartida en el Grado de Arquitectura Técnica, la asignatura se enfoca en la aplicación de sistemas de representación para la realización de planos de objetos arquitectónicos, la elaboración de croquis a mano alzada, y la creación de planos a escala. Además, se promueve el aprendizaje de la normativa referente al lenguaje gráfico arquitectónico. Todo ello tiene como propósito que el estudiante aprenda a interpretar los planos de ejecución de un proyecto y sepa comunicarse gráficamente con los demás profesionales relacionados con el proceso constructivo.

Por otro lado, autores como McMorrough (2017) sostienen que la relatividad conceptual de la planta y la sección ha quedado prácticamente sustituida por una nueva entidad fundamental en la arquitectura: la idea del modelo, el cual integra la concepción de ambos. En este sentido, el modelo no se refiere simplemente a

 BY-NC-SA

representaciones gráficas, sino a representaciones digitales de la realidad arquitectónica, que ofrecen un mayor nivel de integración y complejidad.

Programas como *Rhinoceros* y *Revit* han tomado un papel primordial en la práctica arquitectónica actual, cada uno con características y aplicaciones distintivas. *Rhinoceros* es una herramienta de modelado 3D conocida por su capacidad para trabajar con curvas y superficies complejas, lo que lo convierte en una opción ideal para la creación de geometrías no convencionales y formas orgánicas. Su enfoque está en la precisión de la forma, lo que lo hace particularmente adecuado para la concepción y desarrollo de modelos complejos que requieren un alto grado de control sobre las geometrías.

Por otro lado, *Revit* es un software orientado a la metodología BIM, que se enfoca en la gestión de la información del proyecto. A través de su capacidad para modelar el edificio como un objeto inteligente, Revit permite la integración de datos y la coordinación entre las distintas disciplinas de un proyecto arquitectónico. Este enfoque basado en la información facilita la planificación, construcción y gestión del ciclo de vida del edificio, convirtiéndolo en una herramienta esencial para las metodologías que priorizan la construcción y gestión de datos.

Ambos programas, aunque muy diferentes en su enfoque y uso, representan dos herramientas complementarias dentro de la práctica arquitectónica contemporánea. *Rhinoceros*, con su dominio sobre la forma y la geometría, y *Revit*, con su enfoque en la integración de datos y la gestión del proyecto, ejemplifican cómo el modelo digital ha evolucionado para integrar tanto la concepción formal como la gestión informativa en la arquitectura.

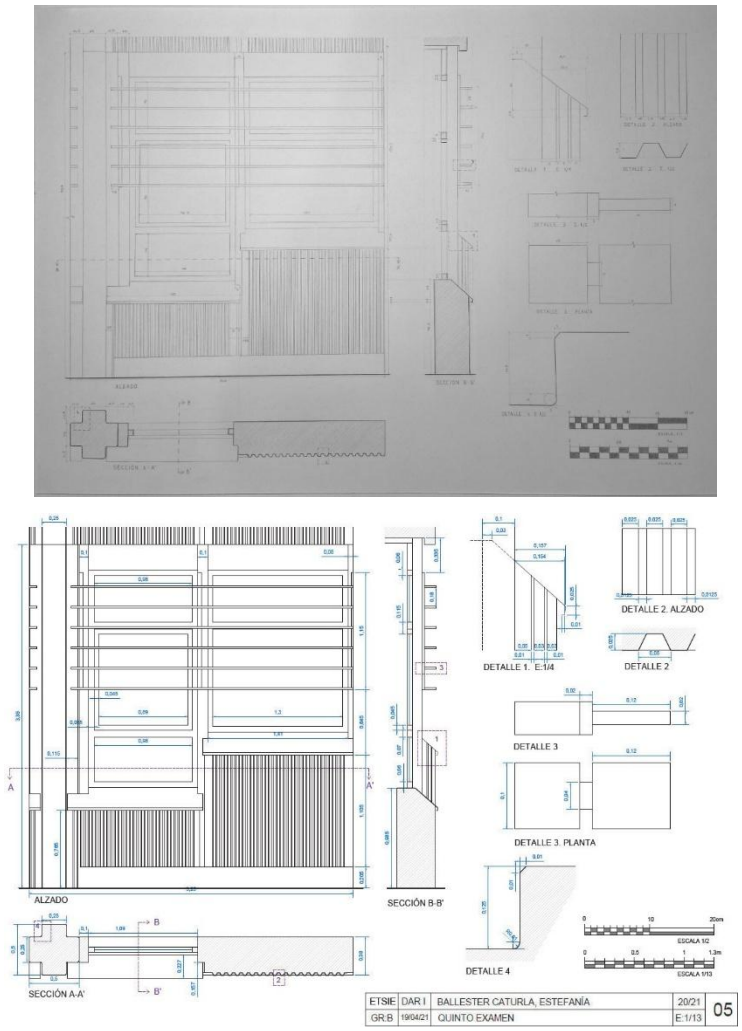


Figura 2: Puesta a escala a mano y CAD del sistema constructivo compuesto por el pilar cruciforme, las placas prefabricadas y dos ventanales situados entre los vanos de los edificios primigenios de la UPV (elaborado por Estefanía Ballester Caturla, 2021-22).

 BY-NC-SA

En el contexto de esta comunicación, nos centramos en los procesos que desencadenan resultados en los principios del pensamiento gráfico. Estos procesos también implican un cambio en la enseñanza y el aprendizaje, y en la obtención de competencias, las cuales no operan de forma aislada. La relevancia y vigencia del dibujo a mano alzada no es incompatible con el uso de las tecnologías gráficas disponibles. No existe una dicotomía entre la tecnología gráfica y el dibujo manual. De hecho, el desarrollo de la competencia en dibujo requiere una práctica continua y regular, ya que es una herramienta esencial para aprender a ver y analizar la realidad. El pensamiento gráfico no desaparece con el uso de herramientas digitales, sino que, por el contrario, puede potenciarse.

4. **El paso del CAD a BIM**

En esta etapa se presenta los resultados obtenidos en la asignatura “Dibujo Arquitectónico I”, correspondiente al primer curso del Grado en Arquitectura Técnica de la Escuela de Ingeniería de la Edificación de la Universitat Politècnica de València de los alumnos más adelantados y con mayores capacidades. Dichos resultados derivan de la incorporación progresiva y adaptada de aspectos fundamentales de la metodología BIM en el diseño curricular de la asignatura. La metodología BIM se sustenta en principios como la gestión colaborativa de proyectos, la interoperabilidad de la información y una visión holística del proceso arquitectónico, todo ello articulado mediante la representación gráfica. En este marco, el dibujo arquitectónico adquiere una nueva dimensión, al convertirse en el punto de partida para desarrollar modelos digitales que integran datos técnicos, constructivos y espaciales.

Para facilitar la introducción del modelado 3D en un entorno accesible a estudiantes de primer curso, se optó por la utilización de software intuitivo y de aprendizaje rápido, como Trimble SketchUp. Los alumnos con conocimientos más avanzados optaron por seguir con AutoCAD 3D. Estas herramientas permitieron a estos estudiantes más capaces del curso dar sus primeros pasos en la modelación tridimensional, sentando las bases para una futura transición a entornos BIM más complejos. Complementariamente, se abordó en sesiones de seminario y tutorías el estudio de los stakeholders y de las fases que conforman un proyecto arquitectónico, relacionándolos con las etapas del proyecto gráfico derivado del dibujo arquitectónico. Esta aproximación permite entender la secuencia lógica del desarrollo de un proyecto, desde sus primeras ideas hasta su documentación gráfica final en entornos digitales, lo cual facilita la interpretación.

Un ejemplo destacado de esta línea de trabajo es el ejercicio mostrado en la Figura 3, en el que los estudiantes desarrollaron capacidades de análisis, representación y generación de modelos físicos mediante impresión 3D. Esta iniciativa surgió a partir del interés de los propios alumnos por explorar nuevas formas de representación digital y materializar sus modelos mediante tecnologías emergentes.

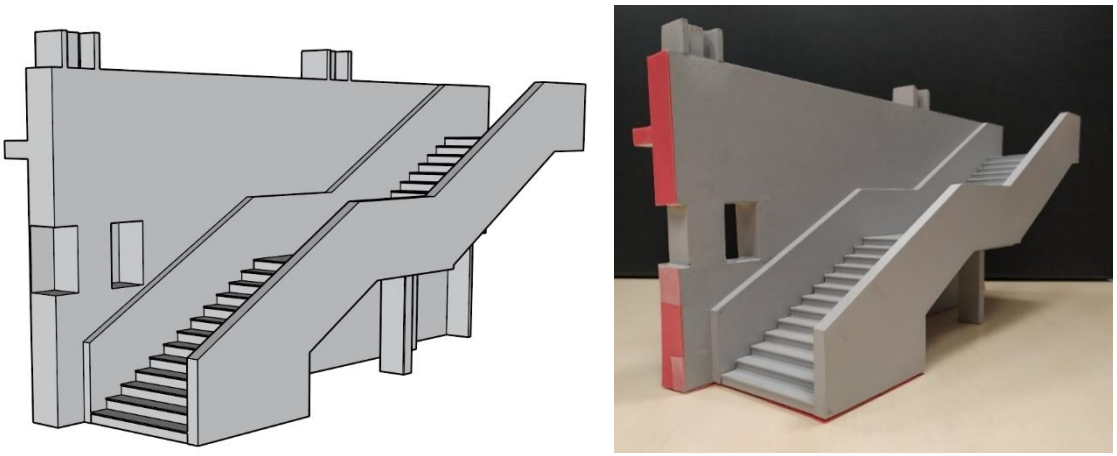


Figura 3: Modelo 3D en AutoCAD e impresión de la maqueta 3D de la escalera de acceso a la galería de la Escuela de Arquitectura en el campus de la UPV (elaborado por Ogorodnyk, I., curso 2023-24).

 BY-NC-SA

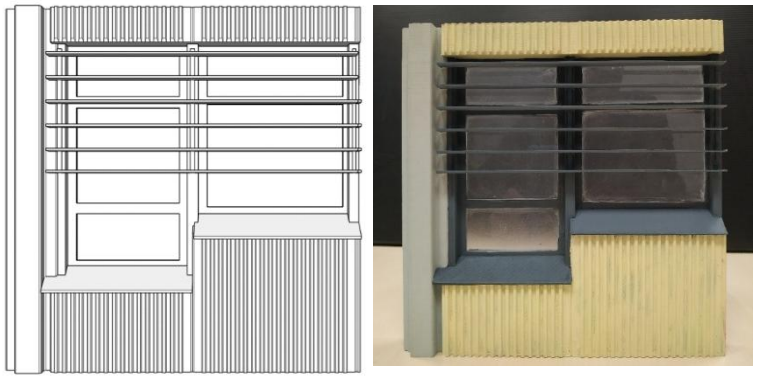


Figura 4: Modelo 3D en AutoCAD e impresión de la maqueta 3D del sistema constructivo compuesto por el pilar cruciforme, las placas prefabricadas y dos ventanales situados entre los vanos de los edificios primigenios de la UPV (elaborado por Ogorodnyk, I., curso 2023-24).

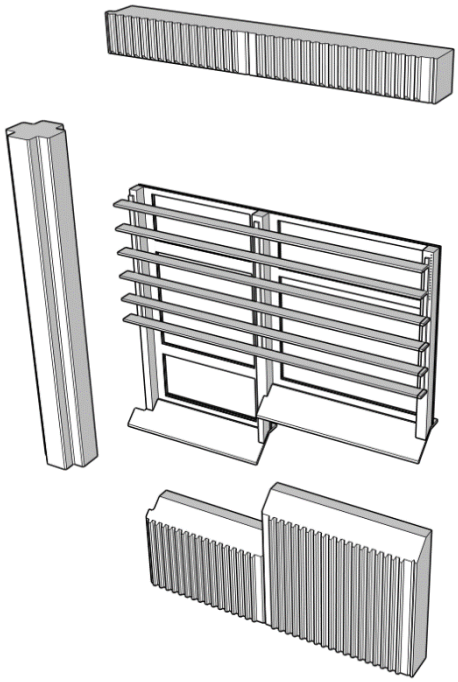


Figura 5: Modelo 3D en AutoCAD exportado a SketchUp del sistema constructivo compuesto por el pilar cruciforme, las placas prefabricadas y dos ventanales situados entre los vanos de los edificios primigenios de la UPV (elaborado por Ogorodnyk, I., curso 2023-24).

5. **Introducción de BIM en el primer año de Dibujo Arquitectónico: objetivos y metodología**

En la actualidad, la incorporación de la metodología BIM en la enseñanza del dibujo arquitectónico es un desafío que se está abordando de manera cuidadosa y progresiva. En este sentido, es esencial plantear una introducción clara a los aspectos fundamentales de BIM desde el primer año, pero con un enfoque adecuado al nivel de conocimiento y habilidades que el estudiante tiene en estas primaras etapas de su formación.

6. **Aspectos de la metodología BIM que se deben introducir**

La metodología BIM no solo se refiere a la creación de modelos 3D, sino que también abarca la organización y gestión de la información del proyecto. Por ello, se debe integrar de manera progresiva la enseñanza de los siguientes aspectos esenciales de BIM:

1. **Generación de modelos 3D basados en datos**: A diferencia de los métodos tradicionales, BIM parte de un modelo tridimensional que está conectado a una base de datos. Por lo tanto, se debe enseñar a los estudiantes no solo a crear vistas, sino a comprender cómo estas se derivan de un modelo digital

 BY-NC-SA

completo, donde cada componente está vinculado a información específica (como materiales, medidas, etc.). Además, se debe aprovechar las ventajas de la programación de los modelos paramétricos, identificando cuándo estos son viables de aplicar. También es fundamental incorporar la noción de piezas que forman un sistema, permitiendo a los estudiantes comprender cómo los componentes del modelo interactúan entre sí dentro de un contexto más amplio de diseño y construcción.

2. **Organización del modelo**: Se debe hacer énfasis en cómo organizar la información dentro del modelo. Esto implica el establecimiento de plantillas, definición de niveles de detalle (LOD, *Level of Detail*) y de definición gráfica. Aunque estos aspectos pueden parecer avanzados, se pueden introducir de forma simplificada en el primer año a través de ejemplos prácticos que ayuden a los estudiantes a entender cómo el modelo digital se gestiona y organiza a lo largo del ciclo de vida del proyecto.
3. **Gestión de la información del proyecto**: BIM no solo está relacionado con el diseño, sino también con la gestión. Los estudiantes deben ser introducidos a la importancia de la organización de la base de datos, los sistemas de codificación y el control de versiones del proyecto. Esto es crucial para prepararlos para el uso de herramientas como *Revit*, que permite esta gestión integral.

Dado que los estudiantes en el primer año no están aún familiarizados con el manejo avanzado de modelos 3D o la gestión de información digital, la enseñanza de BIM debe ser gradual, incidiendo más en aspectos relativos al pensamiento sistémico aplicado a gestión del diseño constructivo. Se pueden usar herramientas como *Revit* o *Rhinoceros* 3D, introduciendo sus funciones más básicas antes de profundizar en los aspectos más complejos relacionados con la gestión de la información.

El primer paso sería enseñar a los estudiantes a crear y visualizar modelos 3D simples, sin entrar aún en la complejidad de la gestión de datos. Posteriormente, se les podría presentar el concepto de base de datos asociada al modelo, comenzando con ejemplos básicos que muestren cómo un modelo 3D puede contener información más allá de la forma.

La intensidad con la que se debe introducir BIM debe ser moderada. No es necesario que los estudiantes dominen todas las capacidades de la metodología BIM en su primer año, sino que deben ser familiarizados con sus principios básicos, sobre todo en lo que respecta a la generación de modelos tridimensionales y la comprensión de su vinculación a una base de datos. A medida que avancen en su carrera, la metodología BIM se puede profundizar con herramientas y conceptos más avanzados.

Uno de los puntos más discutibles en la propuesta es la inclusión de ciertas fases tradicionales en el proceso de dibujo arquitectónico que no están alineadas con la metodología BIM. Por ejemplo, la "elección de vistas" no tiene sentido en un enfoque BIM, ya que lo que realmente se hace es generar un modelo 3D del edificio, y las vistas se derivan automáticamente de este modelo. Solo cuando el alumno comprende la necesidad de integrar en el proceso del modelado la información que aportas las vistas ortogonales definidas mediante el sistema diédrico. Además, el proceso BIM aboga por la organización y la estandarización de la información a través de plantillas, niveles de detalle y definiciones gráficas, aspectos que deben ser introducidos para dar una comprensión completa de la metodología.

Es importante también clarificar el destinatario de la formación en BIM. ¿Está el estudiante preparado para recibir formación BIM en el primer curso? En muchos casos, es necesario que el estudiante adquiera una comprensión básica del espacio tridimensional a través de herramientas CAD, y una vez dominadas las habilidades esenciales en la representación gráfica, puede comenzar a abordar la metodología BIM. Esta discusión sobre el nivel de conocimiento del estudiante y la secuencia de aprendizaje es crucial y debe ser parte de la reflexión sobre cómo implementar BIM en la formación de los primeros años de la carrera de arquitectura.

 BY-NC-SA

7. **Resultados**

Los resultados obtenidos hasta el momento son prometedores, ya que no solo se logra analizar y representar los elementos arquitectónicos, sino también fabricarlos mediante impresoras 3D. Como se ha mencionado previamente, productos como la maqueta y las perspectivas surgieron por iniciativa de los propios estudiantes. Al conocer las posibilidades que brindaban las tecnologías de impresión, los cuales, decidieron continuar con el proyecto hasta conseguir la reproducción de los modelos a escala en 3D.

El primer ejercicio consistió en el análisis y representación a escala de la escalera principal de acceso a la galería superior del edificio de la Escuela de Arquitectura. A continuación, se continuó con la realización del modelo a escala utilizando CAD 2D como método obligatorio, mientras que la digitalización en 3D y la impresión de la maqueta se ofrecieron como opciones (Fig. 4). Es importante señalar que para la impresión 3D no basta con crear un modelo 3D genérico; se requiere un proceso específico que incluye la orientación adecuada de los modelos, el despiece de los elementos y la generación de la malla STL, elementos que el estudiante debe dominar. La figura 4 muestra el resultado de la composición de un despiece de elementos, lo que destaca la importancia de este conocimiento previo en el proceso de fabricación de la maqueta. El segundo ejercicio abordó el análisis y representación del conjunto formado por el pilar cruciforme de los edificios primigenios de la UPV, las placas prefabricadas y dos ventanales situados entre los vanos (Fig. 5).

La principal novedad del estudio radica en la incorporación de nuevos enfoques basados en la gestión de la información de los proyectos, a través de la implementación de principios de eficiencia en los procesos, tal como se lleva a cabo en los entornos BIM.

8. **Conclusiones**

Se trata de una prueba con los alumnos más inquietos y aventajados de los cursos 2022-23 y 2023-24 que motivo e inspiró un gran interés a restos de los alumnos.

No obstante, para comprender plenamente la metodología BIM, es fundamental que el estudiante conozca el lenguaje gráfico, sus códigos y normas convencionales, domine la toma de datos mediante croquis manuales y comprenda la necesidad del conocimiento completo de un edificio a través de su representación gráfica. Todo ello implica tener un buen dominio del sistema diédrico y las proyecciones en 2D. A partir de esta base, los estudiantes pueden comenzar a experimentar con la interfaz de programas CAD como AutoCAD, donde trabajan tanto con geometría 2D como 3D, lo que les permite hacer la transición hacia el mundo de BIM, donde se integran modelos tridimensionales conectados a una base de datos y se gestionan de manera paramétrica.

La introducción de BIM en el primer curso de Dibujo Arquitectónico es una propuesta que puede resultar beneficiosa, pero debe ser implementada de manera progresiva y adaptada al nivel de conocimiento del estudiante, fomentando el trabajo colaborativo entre ellos. Es fundamental aclarar qué aspectos de BIM se introducirán, cómo se harán y con qué intensidad, para evitar confundir a los estudiantes con procesos que aún no tienen la capacidad de entender completamente. La discusión sobre el nivel de preparación del estudiante y la necesidad de aprender conceptos CAD previos debe ser central en la definición de este enfoque educativo.

Es evidente que estamos viviendo un cambio de paradigma gráfico en el siglo XXI, lo cual traerá consigo modificaciones significativas en los procesos gráficos para el diseño. Estos cambios se reflejan en los resultados materiales, como ha sido tradicional en la historia del dibujo arquitectónico, y necesariamente deben dar lugar a nuevas metodologías docentes capaces de asimilar, regular y jerarquizar la implementación de estos procesos en las etapas de menor codificación del dibujo arquitectónico.

Los dibujos a mano alzada, como resultado de la necesaria toma de datos dirigida al levantamiento de planos, así como la acción para procesar ideas y alcanzar formas satisfactorias, mantienen un valor intrínseco independiente del momento en que se utilicen. Este valor está en parte determinado por el significado que

 BY-NC-SA

estos dibujos tienen dentro del proceso. Este punto de vista es relevante, ya que sigue existiendo un debate sobre el valor de los dibujos a mano alzada en ciertos sectores.

La normalización de los procesos digitales en las acciones gráficas ha adquirido una relevancia fundamental, no solo en el ámbito académico, sino también entre los usuarios. Por su parte, el uso de diagramas en las fases iniciales del diseño requiere una abstracción gráfica intensiva, lo que provoca cambios profundos en las formas tradicionales de abordar el soporte gráfico de la concepción arquitectónica. Este proceso modifica los mecanismos habituales de actuación y, por tanto, impacta también en la formación que deben asumir los estudiantes.

Además, aprovechando que los alumnos en la actualidad que se incorporan son nativos digitales y disponen de la posibilidad de ordenador en el aula, resulta viable implementar un modelo basado en geometrías simples que permita experimentar, de forma práctica, las dinámicas de trabajo colaborativo propias del entorno BIM. Esta aproximación no solo facilitaría la comprensión de los procesos, sino que también fomentaría la participación activa de todos los estudiantes en la construcción conjunta del modelo, acercándolos a la realidad profesional de manera progresiva y significativa.

Referencias

BENITO, A., & CRUZ, A. (2005). *Nuevas claves para la docencia universitaria en el Espacio Europeo de Educación Superior*. Narcea.

buildingSMART Spain. (2024). *Informe de situación del BIM en España 2024*. https://www.buildingsmart.es/observatorio/estudios/estudio-adopci%C3%B3n-bim-2024/

COS-GAYÓN LÓPEZ, F. (2016). Implantación de metodología BIM en asignatura del Máster Universitario de Edificación de la Universidad Politécnica de Valencia. *Spanish Journal of Building Information Modeling*, *(16-01)*, 48–54. Disponible en [Consulta: 14 de febrero de 2025].

GARCÍA SANTOS, A., & LIÉBANA, O. (2017). *Mapa de la formación BIM en la universidad. es.BIM*. En *es.BIM: Implantación del BIM en España*. Disponible en https://bim.tecniberia.es/wp-content/uploads/2016/11/GT2-Personas-SG2.2-Mapa-de-Formaci%C3%B3n_s.pdf [Consulta: 17 de marzo de 2025].

GOÑI ZABALA, J. M. (2005). *El Espacio Europeo de Educación Superior, un reto para la universidad*. Octaedro / ICE Universidad de Barcelona.

LEON-CASCANTE, I., URANGA-SANTAMARIA, E. J., RODRIGUEZ-OYARBIDE, I., & ALBERDI-SARRAOA, A. (2021). *Implementación de la metodología BIM en el Grado en Fundamentos de Arquitectura* [Implementation of BIM Methodology in Bachelor's Degree in Architecture]. *JIDA'21. IX Jornadas sobre Innovación Docente en Arquitectura*, Valladolid, ETSAVA-UVA, 11–12 noviembre 2021. https://doi.org/10.5821/jida.2021.10571

MCMORROUGH, J. (2017). *Drawing for architects: How to explore concepts, define elements, and create an effective built design through illustration* (978-1-59253-897-3). Rockport Publishers.

OTXOTORENA, J.M. (1996). *Sobre dibujo y diseño. A propósito de la proyectividad de la representación de la arquitectura.* T6 ediciones. Pamplona

OLIVER FAUBEL, I., VILLORIA SÁEZ, P., FUENTES-GINER, B., & DEL RIO MERINO, M. (2016). BIM en el grado de edificación: la experiencia de la Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid. *Spanish Journal of BIM*, *(16/01)*, 42–46. Disponible en [Consulta: 20 de marzo de 2025].

OLIVER FAUBEL, I. (2016). *Integración de la metodología BIM en la programación curricular de los estudios de Grado en Arquitectura Técnica/Ingeniería de Edificación. Diseño de una propuesta* [Tesis doctoral no publicada]. Universitat Politècnica de València. https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/61294

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. (2016). *Guía de aprendizaje: Dibujo Arquitectónico I* (Curso académico 2016-17, Primer semestre). Escuela Técnica Superior de Edificación.

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. (2024). *Guía docente 2024-2025: Dibujo Arquitectónico I* (Última actualización: 31/05/24). Universitat Politècnica de València.

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. (2024). *Guía docente: 310703 - Introducción al Dibujo Arquitectónico* (Última modificación: 06/06/2024). Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona.

 BY-NC-SA

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso del chatbot de IAgen ChatGPT-4 (OpenAI) en la plataforma https://chat.openai.com, con el objetivo de mejorar la redacción técnica y estilística del contenido. La organización de las ideas, el planteamiento argumental y las decisiones conceptuales corresponden exclusivamente a los autores.

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento al apoyo recibido en la mejora lingüística del texto.

 BY-NC-SA

EXPERIENCIAS REALES CON BIM

BIM EN OBRA: LO QUE EL MODELO NO CUENTA

Montes Herraiz, José Ignacio
Acciona. Arquitecto, especialista en gestion digital de la construcción.

Abstract

The BIM model promises efficiency, coordination, and control. But on-site, digital promises clash with the reality of dirty data, unmanageable classification structures, and fragmented shared environments. This talk, drawn from experience in projects over $5 billion in Mexico, Canada, and the UK, demonstrates how models are only one piece of the system — and how the real challenge is transforming data into usable information for construction execution.

Abstract

El modelo BIM promete eficiencia, coordinación y control. Pero en obra, las promesas digitales se enfrentan a la realidad del dato sucio, las estructuras de codificación imposibles y los entornos compartidos fragmentados. Esta ponencia, basada en la experiencia en proyectos de más de 5.000 millones de dólares en México, Canadá y Reino Unido, muestra cómo los modelos son solo una parte del sistema, y cómo el verdadero reto es transformar los datos en información útil para la ejecución.

 BY-NC-SA

IDS PARA LA VERIFICACIÓN DE REQUISITOS DE INFORMACIÓN DE PROYECTOS. CASO DE ESTUDIO EN FERROCARRILS DE LA GENERALITAT VALENCIANA

Martínez-Soler, Ignacio; Pastor-Villanueva, José María; Pérez-García, Ana; Mateu-Gozálvez, Diana; Loza-Remón, Raquel; García-Cerezo, Juan Antonio

BIM Manager (VILOR Infraestructuras S.L., Valencia, España), imartinez@vilor.net; BIM Manager, Ingeniero de Caminos, C. y P. (Técnica y Proyectos, S.A., Valencia, España) jmpastor@typsa.es; Departamento de Técnicas y Proyectos en Ingeniería y Arquitectura, Universidad de La Laguna (ULL), Avenida Ángel Guimerá Jorge, s/n, 38204, La Laguna, (Tenerife), Spain; aperezga@ull.edu.es; BIM Manager, Ingeniera de Edificación, (ROVER Infraestructuras, S.A., Valencia, España), dmateu@rovergrupo.com; BIM Manager, Ingeniero de Caminos, C. y P. (Técnica y Proyectos, S.A., Valencia, España) rloza@typsa.es; Jefe de Unidad Técnica de Alicante y Proyectos, Ingeniero de Caminos, C. y P. (Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana, Alicante, España), juanantonio.garcia@fgv.es

Abstract

Public administrations and private companies have committed to the introduction of the BIM methodology. This context has led to the need to standardize information exchange processes, with special emphasis on open formats. The IDS standard was developed in response to the need to automatically verify compliance with information requirements defined in BIM projects. This standard allows for formalizing data exchange specifications in a structured way and facilitates its implementation on model validation platforms.In this study, the information requirements defined by FGV were translated into the IDS format, assessing their applicability and performance across various platforms through tests conducted on IFC models generated from a real construction project.The results obtained have enabled the identification of both the benefits and current limitations of the IDS standard, the current state of its interpretation in different working environments, and methodologies to streamline the configuration and segmentation of the verifications to be carried out.

***Keywords**: IDS, IFC, OpenBIM, automation, evaluation, FGV, buildingSmart*

Resumen

Tanto administraciones públicas como empresas privadas han apostado por la introducción de la metodología BIM. Este contexto ha llevado a la necesidad de estandarizar los procesos de intercambio de información, con un énfasis especial en los formatos abiertos. Como respuesta a la necesidad de verificar automáticamente el cumplimiento de los requisitos de información definidos en proyectos BIM surge el estándar IDS. Este estándar permite formalizar especificaciones de intercambio de datos de manera estructurada y facilita su implementación en plataformas de validación de modelos. En este estudio, se trasladaron los requisitos de información definidos por FGV al formato IDS, evaluando su aplicabilidad y rendimiento en diversas plataformas mediante pruebas realizadas sobre modelos IFC generados en una obra real. Los resultados obtenidos han permitido identificar tanto los beneficios como las limitaciones actuales del estándar IDS, el estado actual de la interpretación del estándar en diferentes entornos de trabajo y metodologías que agilicen la configuración y segmentación de las verificaciones a realizar.

***Palabras clave:** IDS, IFC, OpenBIM, automatización, evaluación, FGV, buildingSmart*

 BY-NC-SA

Introducción

Los modelos BIM integran datos geométricos y semánticos para mejorar la eficiencia en las distintas fases del ciclo de vida de los activos y aumentar la calidad de lo construido, reduciendo los tiempos de trabajo y la inversión económica necesaria para su ejecución. La precisión y consistencia de estos datos juega un papel fundamental a la hora de tomar decisiones de manera informada.

Para garantizar la calidad de los modelos, estos deben cumplir tres criterios fundamentales. En primer lugar, deben ser utilizables, es decir, deben representar de manera precisa y sin errores todos los aspectos geométricos. En segundo lugar, deben ser coherentes y concisos, para permitir su reutilización. Por último, deben ser claros y semánticamente ricos (Aranburu et al., 2025). Todo ello asegura que no se limiten a meras representaciones geométricas, sino que actúen como auténticos contenedores de datos.

Establecer de Requisitos de Información (RI) en un proyecto permite comprobar si los datos requeridos están totalmente contenidos y correctamente localizados en los modelos BIM (Schrödter & Mellenthin Filardo, 2023), a través de la detección de ambigüedades, incoherencias y/o conflictos. Los RI son, según la norma UNE-EN ISO 19650-1:2019 (CTN 41/SC 13, 2020), un conjunto de especificaciones sobre: (1) la información que debe producirse, (2) cuándo debe producirse, (3) su método de producción y, (4) su destinatario. Inicialmente son definidos por el adjudicador (cliente, promotor, órgano contratante…), pudiendo ser ampliados a posteriori por los distintos adjudicatarios.

Diferentes agencias y gobiernos han propuesto RI a nivel internacional para apoyar los flujos de trabajo colaborativo y la gestión de la información inherentes a la naturaleza de BIM. Un ejemplo de ello es la metodología y el estándar de información SIMBA, desarrollado por Statsbygg, el principal asesor del gobierno noruego en materia de construcción y administración de propiedades. SIMBA incluye un conjunto de requisitos que permiten reutilizar los datos de los modelos BIM a lo largo de un proyecto. En este caso, los RI son suministrados tanto en formato legible por máquina (mvdXML), para la validación automatizada de los modelos, como por humanos (XLSX, PDF) (Pérez-García et al., 2024).

La digitalización creciente del sector de la construcción, en cuyo centro se encuentra la metodología BIM, provoca que la especificación de requisitos sea crucial para controlar la información generada. No obstante, su definición está sujeta a una amplia gama de posibilidades, lo que dificulta a los usuarios la elección del método más adecuado. Entre los sistemas destacados para ello se encuentra el estándar *Information Delivery Specification (IDS),* desarrollado y mantenido por la organización buildingSMART International. IDS forma parte del ecosistema *openBIM,* un enfoque universal orientado al diseño colaborativo, la ejecución y la operación de los activos. Está basado en flujos de trabajo, estándares y servicios abiertos que promueven la interoperabilidad de los sistemas, entre los que se incluyen el esquema de datos *Industry Foundation Classes (IFC),* utilizado para la descripción digital del entorno construido, o el estándar de procesos *BIM Collaboration Format (BCF),* destinado a la comunicación de incidencias asociadas a los modelos BIM (Fig. 1).

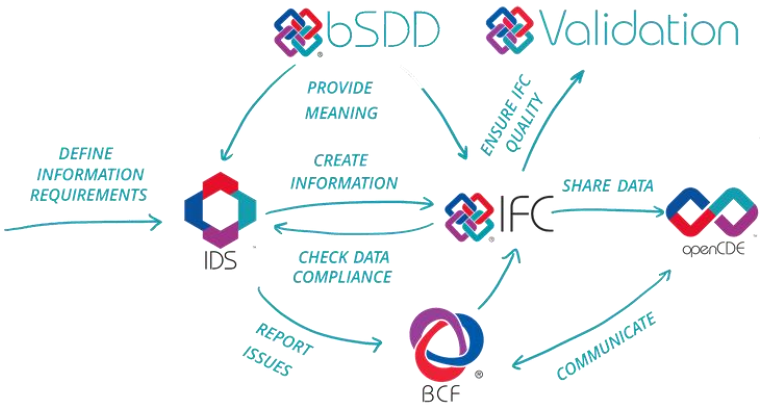


Fig. 1 Estándares abiertos de buildingSMART. Fuente: (buildingSMART Spain, 2015)

BY-NC-SA

IDS es una iniciativa reciente, cuya versión oficial, 1.0, fue aprobada en junio de 2024. Puede verse como un complemento de las *Model View Definition (MVD).* Mientras que las MVD se centran en aspectos como la representación jerárquica de clases y la transferencia de geometría, IDS define la información alfanumérica con la que deben transferirse los modelos (valores de propiedades, atributos, clasificaciones, etc.). Asimismo, permite la automatización del proceso de validación (Martín-Dorta & Pérez-García, 2024).

IDS se materializa en un fichero escrito en XML (Extensible Markup Language), un lenguaje de marcas (o marcado) para la codificación de documentos, con una estructura legible tanto por humanos como por máquinas. Está compuesto por árboles de elementos, en los que los RI se formulan como especificaciones compuestas por tres componentes claramente diferenciados: metadatos, aplicabilidad y requisito. Los metadatos encapsulan información general sobre la especificación, incluido su nombre, una descripción y la versión IFC a la que se aplica, mientras que la aplicabilidad sirve de filtro para definir el subconjunto de elementos del modelo que están sujetos a verificación. Por último, el requisito describe los criterios que deben satisfacer los elementos filtrados (Pérez-García et al., 2024).

Este trabajo constituye una experiencia piloto de aplicación del estándar IDS en el caso de la ejecución de las obras de construcción de la Línea 10 del metro de Valencia, para la validación de los RI de la empresa pública Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana (FGV), encargada de la gestión de las infraestructuras de las líneas de vía estrecha y las líneas tranviarias de la Comunitat Valenciana. Para ello, se han estudiado las diversas herramientas disponibles en el mercado para la creación y validación de requisitos de información de forma automatizada con IDS. Asimismo, se han evaluado las ventajas e inconvenientes que presenta esta nueva metodología de trabajo en comparación con los enfoques tradicionales utilizados hasta la fecha.

1. Metodología

Se trata de un estudio experimental de aproximación, desarrollado mediante un caso práctico usando un proyecto en fase de obra de Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana. Se desarrolla un análisis comparativo que busca establecer métricas para evaluar la posible mejora en la incorporación de RI en el esquema IDS para la verificación del control de calidad de los modelos BIM.

Con este objetivo el trabajo se desarrolla en cinco fases, tal y como se muestra en la Fig. 2. Inicialmente, se analizaron los requisitos de información de FGV para conocer su estructura, número, tipología de los datos y entidades de aplicación. Posteriormente, se llevó a cabo un estudio de las diferentes herramientas existentes en el mercado para la definición y validación de estos requisitos, con el propósito de escoger las más adecuadas para los objetivos de este trabajo. En la tercera fase, los requisitos fueron adaptados a la estructura y sintaxis del estándar IDS. A continuación, se escogió el caso de estudio sobre el que desarrollaron las pruebas. Finalmente, se realizó la validación y el análisis de los resultados obtenidos.

Fig. 2 Fases de la metodología empleada. Fuente: Elaboración propia

1.1. Fase 1: Requisitos de información de FGV

Dentro de la estructura de datos homogeneizados de FGV se encuentran definidos 10 conjuntos de propiedades. El detalle y contenido de cada uno de ellos está incluido en el Apéndice 4.2 de su Manual BIM

 BY-NC-SA

(Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana, 2020), en una hoja de cálculo (Fig. 3). El primero agrupa aspectos generales para la correcta identificación de los elementos de los modelos, incluyendo el código del proyecto, la fase, el estado, la disciplina y el material del que están compuestos. El segundo conjunto recoge la información relativa a las mediciones, como su valor, el código de la unidad a la que hace referencia el elemento y el capítulo presupuestario en el que se integra. El tercero actúa como vínculo con la documentación del proyecto (planos, pliegos…). El cuarto conjunto reúne las propiedades necesarias para el análisis y la gestión de RAMS (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) en infraestructuras ferroviarias. El quinto contiene los datos necesarios para las certificaciones de obra, y, el sexto, las referencias relativas al control de calidad en esta fase del ciclo de vida. El séptimo conjunto recoge la información 'As Built' de una obra. El octavo abarca la información utilizada por los sistemas de gestión, conservación y mantenimiento de la empresa. El noveno conjunto integra campos destinados a la gestión de los activos, y el décimo está enfocado a la monitorización de los sistemas de control.

FGV

APÉNDICE 4.2 SET DE PROPIEDADES

PSET	Propiedad	Tipo de dato	DESCRIPCION
IDENTIFICACION			
01_FGV_IDENT	01_01_PROYECTO	Ifctext	Código del proyecto en cuestión acorde con protocolos de FGV
01_FGV_IDENT	01_02_FASE	Ifctext	Identificación de la fase en la que se encuentra el elemento del modelo
01_FGV_IDENT	01_03_ESTADO	Ifctext	Identificación del estado en el que se encuentra el elemento del modelo
01_FGV_IDENT	01_04_UNIDAD FUNCIONAL	Ifctext	Definición de la unidad funcional a la que corresponde el elemento
01_FGV_IDENT	01_05_DISCIPLINA	Ifctext	Tipología de disciplina
01_FGV_IDENT	01_06_SUBDISCIPLINA	Ifctext	Tipología de subdisciplina
01_FGV_IDENT	01_07_ELEMENTO	Ifctext	Tipología de elemento
01_FGV_IDENT	01_08_CLASIFICACION	Ifctext	Código de clasificación de FGV
01_FGV_IDENT	01_09_CLAS.FUEGO	Ifctext	Protección contra incendios
01_FGV_IDENT	01_10_PRIORIDAD	Ifctext	Prioridad del elemento en la matriz de colisiones
01_FGV_IDENT	01_11_NOMBRE	Ifctext	Nombre corto del elemento e identificación del elemento dentro de una serie de elementos idénticos
01_FGV_IDENT	01_12_MATERIAL	Ifctext	Referencia al material del elemento en cuestión
01_FGV_IDENT	01_13_ALINEACION	Ifctext	Referencia a la alineación a la que corresponde el elemento (si procede)
01_FGV_IDENT	01_14_PK_INICIAL	Ifctext	Referencia al pk inicial al que corresponde el elemento (si procede)
01_FGV_IDENT	01_15_PK_FINAL	Ifctext	Referencia al pk final al que corresponde el elemento (si procede)
MEDICIONES			
02_FGV_MEDICIONES	02_01_CAPITULO	Ifctext	Capítulo del presupuesto de la unidad de obra a la que hace referencia el elemento
02_FGV_MEDICIONES	02_02_SUBCAPITULO_1	Ifctext	Subcapítulo del presupuesto de la unidad de obra a la que hace referencia el elemento
02_FGV_MEDICIONES	02_03_SUBCAPITULO_2	Ifctext	Subcapítulo de segundo nivel, del presupuesto de la unidad de obra a la que hace referencia el elemento
02_FGV_MEDICIONES	02_04_MEDICION	Ifctext	Valor de la medición del elemento
02_FGV_MEDICIONES	02_05_01_MEDICION ASOCIADA_1	Ifctext	Valor de la medición asociada 1 del elemento.
02_FGV_MEDICIONES	02_05_02_MEDICION ASOCIADA_2	Ifctext	Valor de la medición asociada 2 del elemento.
02_FGV_MEDICIONES	02_05_03_MEDICION ASOCIADA_3	Ifctext	Valor de la medición asociada 3 del elemento.
02_FGV_MEDICIONES	02_06_UNIDAD OBRA	Ifctext	Código de la unidad de obra a la que hace referencia el elemento
02_FGV_MEDICIONES	02_07_01_UNIDAD OBRA ASOCIADA_1	Ifctext	Código de la unidad de obra asociada 1 a la que hace referencia el elemento.
02_FGV_MEDICIONES	02_07_02_UNIDAD OBRA ASOCIADA_2	Ifctext	Código de la unidad de obra asociada 2 a la que hace referencia el elemento.
02_FGV_MEDICIONES	02_07_03_UNIDAD OBRA ASOCIADA_3	Ifctext	Código de la unidad de obra asociada 3 a la que hace referencia el elemento.

Fig. 3 Extracto de los requisitos de información de FGV. Fuente: (Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana, 2020)

1.2. **Fase 2: Estudio y Selección de Herramientas**

Para adaptar los requisitos de información de FGV a la estructura del estándar IDS se seleccionó la herramienta de usBIM, desarrollada por ACCA Software. Se estudiaron otras opciones de herramientas como BIM Collab, IDS Maker u Open Viewer ODA, pero se optó por esta herramienta por la posibilidad de disponer de una versión de evaluación, la facilidad de uso y, sobre todo, por la precisión en la formulación de especificaciones. La validación del fichero sobre el modelo escogido se llevó a cabo mediante la funcionalidad IfcTester, integrada en el paquete Bonsai para Blender. Esta extensión, desarrollada bajo la librería IfcOpenShell, sirve como una plataforma completa de autoría BIM, ofreciendo herramientas para la lectura, escritura y análisis de modelos BIM (IfcOpenShell Contributors, 2024). IfcTester permite interpretar tanto archivos IFC como IDS, y ejecuta una comprobación iterativa de los elementos de acuerdo con los requisitos de información.

1.3. **Fase 3: Adaptación de los RI a IDS**

La estructura de una especificación IDS se basa en las diferentes facetas que componen un modelo IFC. Tanto la aplicabilidad como los requisitos pueden estar asociados a una entidad, un atributo, una clasificación, una propiedad (estandarizadas o personalizadas), un material o una relación con otra entidad (parte), tal y como se muestra en la Fig. 4.

Los requisitos de información de FGV están definidos como conjuntos de propiedades personalizados aplicables a todas las entidades constructivas o con representación geométrica de los modelos. Esta configuración dificultó la posibilidad de establecer las especificaciones IDS, ya que el estándar no posee un método directo para referirse al conjunto completo de entidades de un modelo, lo que exige su enumeración individual. Esto se resolvió mediante una llamada al atributo Tag, de la entidad IfcElement. Este almacena un identificador único del objeto físico, asignado por el usuario o el sistema a una entidad dentro del modelo.

 BY-NC-SA

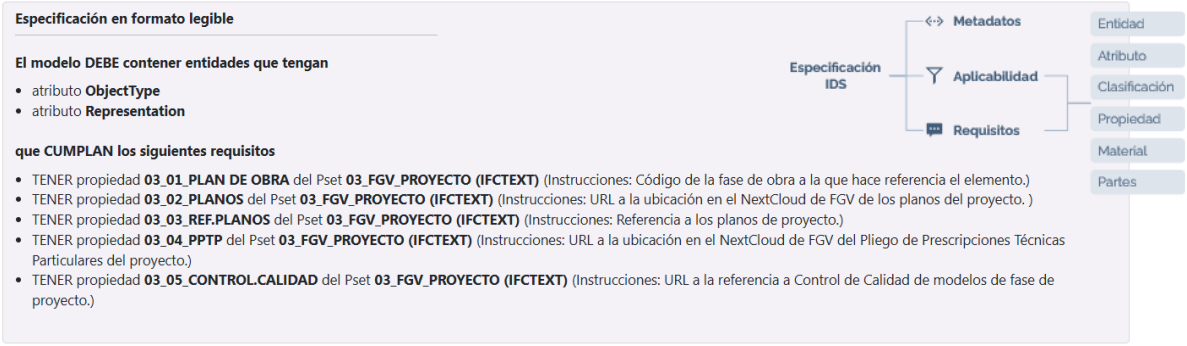


Fig. 4 Ejemplo de especificación IDS creada; Facetas de una especificación IDS. Fuente: Elaboración propia

1.4. **Fase 4: Caracterización del caso de estudio**

El caso de estudio seleccionado son las “Obras de construcción de la Línea 10 del Metro de Valencia: Conexión peatonal subterránea entre las estaciones de Alicante y Xàtiva”. Las obras se localizan en la c/ Alicante de la Ciudad de Valencia, (España). Se trata de unas obras de construcción realizadas bajo la metodología BIM, adaptadas a los requisitos BIM de FGV, consistentes en la ejecución de un cañón peatonal entre muros pantalla, diseñado para tránsito peatonal y tranviario entre estaciones existentes, así como la conexión con estas. Las disciplinas afectadas incluyen estructuras, arquitectura, instalaciones y servicios afectados, tanto preexistentes como de nueva ejecución (Fig. 5). Se selecciona un proyecto en fase de ejecución porque permite aplicar el total de los conjuntos de propiedades de FGV.

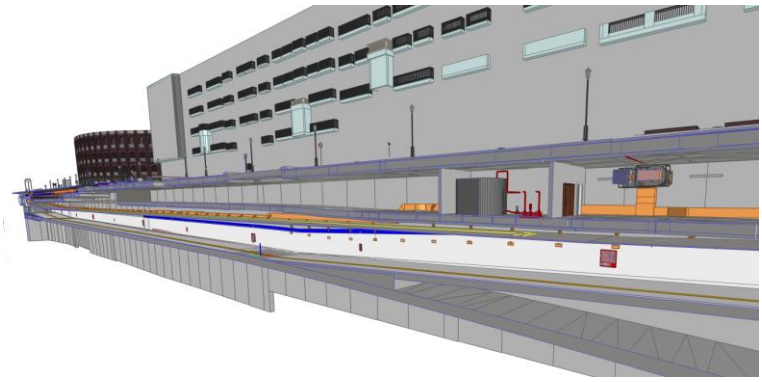


Fig. 5 Modelo federado del proyecto.

1.5. **Fase 5: Verificación de los modelos BIM y análisis de resultados**

En esta fase se distinguen los dos flujos de trabajo que se van a comparar: (1) flujo de auditoría inicial antes de implementar el uso del esquema IDS, y (2) flujo de auditoría con IDS.

1.5.1. Auditoría sin IDS

En la Fig. 6 se detalla el proceso de auditoría que se desarrolla actualmente con en el proceso de control de calidad. Mensualmente los modelos IFC se ven afectados por al menos tres intervenciones de calidad, una por cada uno de los agentes principales implicados (constructora, dirección facultativa y responsable del contrato por parte del cliente).

Además, por parte de la constructora se realiza un control de calidad por cada responsable de disciplina (solo un coordinador) y otro del conjunto federado realizado por el BIM Manager. No existen terceras partes o subcontratas que participen de forma activa en los procesos de modelado o control de calidad, siendo el principal agente adjudicatario el encargado de realizar esta tarea. Actualmente cada una de las partes aborda el control de calidad de forma diferente, es decir, el equipo humano, hardware, software y demás factores es distinto en cada uno de los agentes intervinientes.

 BY-NC-SA

Se usa BIMVision y las extensiones Multifile y Advance Reports para extraer de los modelos IFC los datos a analizar, permitiendo un posterior análisis de los mismos en una hoja de cálculo para la extracción de conclusiones. Se dispone de plantillas pre-configuradas por el BIM Manager antes del inicio de la obra de cara facilitar el proceso mes a mes y que permiten la ejecución de este tipo de control de forma rápida y sencilla.

Se extraen valores y se agrupan de manera que se analizan los diferentes valores posibles y la presencia o ausencia de los mismos en los diferentes parámetros y conjuntos de parámetros (PSET's). Estos valores se contrastan con los valores admisibles del cliente, que ya están presentes en la plantilla base, generando las alertas oportunas de errores o verificaciones que permiten posteriormente elaborar un informe de calidad.

1.5.2. Auditoría con IDS

La auditoría con el formato IDS permite un flujo de control de calidad paramétrico en tiempos muy reducidos. Se han elaborado los requisitos IDS de los PSET's de FGV y se aplican a los modelos IFC del proyecto. Se ha utilizado IfcTester de la librería IfcOpenShell. Esta permite obtener un informe de los elementos que pasan el chequeo y los que no, en formato HTML y se pueden generar estas incidencias en formato BCF, lo que permitiría poder visualizarlo en otras herramientas.

2. **Resultados**

En el apartado anterior se detallan los procedimientos y flujos operativos desarrollados entre los agentes participantes en el proyecto, así como las premisas y condicionantes sobre las que apoyar este resultado. Se refleja el proceso de auditoría realizado actualmente y la propuesta de realizarlo con IDS.

Con el objetivo de comparar los dos procesos: auditoría sin IDS vs auditoría con IDS, se propone cuantificar los tiempos empleados en realizar uno y otro proceso en el proyecto de la conexión peatonal subterránea entre las estaciones Alicante y Xàtiva de la Línea 10.

En la Tabla 1 se refleja el análisis comparativo de los tiempos empleados en realizar la auditoría con los dos métodos. El número de iteraciones señala las veces que se desarrolla la auditoría cada mes. Se utiliza el periodo temporal de un mes porque es lo establecido en los procedimientos al inicio del contrato y suele ser además lo habitual en este tipo de obras. La auditoría que se realiza hasta ahora (auditoría sin IDS) ha sido valorada por los técnicos de la constructora, consumiendo un tiempo total aproximado de 50 minutos en cada revisión. En el caso de las pruebas realizadas con IDS, el tiempo de auditoría empleado es de 10 minutos, y el resultado de esta auditoría puede ser utilizado por todos los agentes, como mínimo, cuatro entidades diferentes cada mes. Se estima, por tanto, una reducción de 40 minutos en la primera auditoría y de 190 minutos cada mes. En porcentaje podemos estimar una reducción de un 95% de los tiempos empleados en esta tarea. En un contrato de 18 meses de duración el ahorro estimado es de 57 horas.

Tabla 1. Análisis comparativo de los tiempos de auditoría. Fuente: Elaboración propia

Proyecto	Iteraciones (nº auditorías /mes)	Auditoría sin IDS		Auditoría con IDS	
		Tiempo (minutos)	Tiempo total /mes	Tiempo (minutos)	Tiempo total /mes
Conexión peatonal subterránea entre las estaciones Alicante y Xàtiva de la Línea 10	4	50 minutos	200 minutos	10 minutos	10 minutos

Es necesario indicar que no se han tenido en cuenta los tiempos necesarios para elaborar las plantillas de trabajo utilizadas en el proceso de chequeo actual con BIM Vision y Excel, así como el desarrollo de los requerimientos de información en el esquema IDS con la herramienta de Acca Software. Cabe reseñar además que el proceso de auditoría incluye otras comprobaciones que no cubre IDS, por lo que el análisis

 BY-NC-SA

se ha realizado sólo con los elementos del proceso que pueden ser chequeados en ambos procedimientos de control de calidad.

2.1. **Incidencias en el proceso de verificación con IDS**

Durante la etapa de validación de los modelos IFC se han detectado algunas incidencias relacionadas con la selección de las entidades sobre las que realizar las comprobaciones. Se pueden agrupar en dos tipos: en la estrategia de definición de la propia aplicabilidad y la gestión de los huecos.

2.1.1. Definición de entidades

Las especificaciones establecidas por FGV en su Manual BIM se concentran en la existencia varios conjuntos de propiedades sobre los que establecer requerimientos relativos a la identificación del elemento, económicas, de construcción, de operación y mantenimiento, etc. Estas especificaciones afectan de manera genérica a todos los elementos físicos integrantes de los modelos. Dentro del esquema IFC estos elementos pertenecen a algunas (pero no todas) de las clases herederas de IfcElement (IfcBuiltElement, IfcCivilElement, IfcFurnishingElement, IfcGeotechnicalElement, …).

En la versión 1.0 del esquema IDS se acepta una enumeración de entidades como restricción a la aplicabilidad de las especificaciones, pero las pruebas realizadas muestran que una selección de elementos que pertenezca a cierta enumeración es demasiado laxa, no detecta los incumplimientos dado que hay otros elementos de la selección que sí verifican la restricción. Por este motivo no se recomienda utilizar este método de selección.

La utilización de otros métodos de selección, que tengan simultáneamente los atributos ObjectType y Representation, tampoco ofrece buenos resultados, dado que este último atributo es opcional y se han encontrado casos en los que no es exportado desde los programas de modelado hasta el modelo IFC.

La forma que se ha encontrado como la más adecuada es la de establecer la aplicabilidad “a todos los elementos físicos”, ya sea de nueva construcción, demolidos o temporales, seleccionando las entidades IFC que cuenten con el atributo TAG. Este atributo de la clase IfcElement está específicamente orientado a identificar los elementos físicos del modelo. No obstante, la inclusión de dicho atributo dentro de las propiedades de una instancia IFC es opcional, y se ha podido comprobar que distintas herramientas de software no incluyen por defecto este atributo como parte de la información exportada en el modelo.

La redacción de unas especificaciones en IDS debe considerar estos aspectos, esto es, establecer como especificación adicional la existencia de uno o más atributos generales a disponer en todos los elementos construidos. Esta especificación adicional no puede incluirse dentro del propio software IDS por problemas de autorreferencia.

2.1.2. Gestión de huecos

Durante la exportación desde las herramientas nativas al esquema de datos IFC, los algoritmos de generación de la geometría en IFC requieren la creación de una entidad IfcOpeningElement para representar el hueco y que la geometría de la entidad anfitriona se represente adecuadamente. Este IfcOpeningElement hereda los atributos principales de la clase que representa la inclusión (dimensiones, perfil generador, Tag, etc.), pero no hace lo mismo con los conjuntos de propiedades asociados a esta o a la clase anfitriona.

La clase IfcOpeningElement no es heredera de IfcBuiltElement (las clases que representan típicamente los elementos constructivos), pero sí lo es de IfcElement, por lo que sus instancias suelen ser incluidas en los criterios de selección habituales.

De lo anterior resulta que en el modelo IFC aparecen entidades nuevas, no gestionadas por los softwares nativos, con un nivel en la jerarquía de entidades IFC similar al de los elementos físicos sobre los que

 BY-NC-SA

habitualmente se establecen los requerimientos, pero sin contar con las referencias a los conjuntos de propiedades donde se establecen estos requerimientos.

La lógica de agregación de elementos en la parte de Aplicabilidad del esquema IDS es en todo caso aditiva: se agregan elementos con una determinada propiedad de una faceta en concreto o que pertenezcan a una enumeración de elementos, determinada esta, bien sea mediante una lista concreta o mediante el cumplimiento de una determinada expresión regular. No se admite en la versión 1.0 de IDS analizada, una lógica de selección de elementos que excluya, dentro de un grupo de elementos previamente seleccionado, los pertenecientes a su vez a un determinado conjunto descrito. La lógica "todos los elementos con unas características específicas EXCEPTO los que pertenezcan a la clase IfcOpeningElement" no es soportada en la actualidad por el esquema IDS 1.0.

Se han realizado testeos utilizando la lógica del tipo "elementos pertenecientes a las clases IfcBeam o, IfcBearing, o …, o IfcWindow". Pero esto no proporciona resultados adecuados cuando se combina con la parte de requerimientos, dejando de seleccionar o filtrar elementos que no cumplen con los requerimientos señalados.

Esto provoca que durante la verificación de los modelos se generan un conjunto de falsos negativos asociados a las entidades de la clase IfcOpeningElement, que deben ser filtrados de los informes de resultados, o no tenidos en cuenta a la hora de otorgar un porcentaje de cumplimiento de los modelos generados.

2.1.3. Chequeo de resultados de los motores de comprobación

Se ha redactado un conjunto de 25 archivos IDS, con especificaciones de complejidad creciente, que han sido comprobadas por los principales motores de chequeo de las herramientas comerciales más habituales de visualización de modelos que tienen implementado la integración con IDS. Los resultados pueden analizarse en la Fig. 6.

	BIMCOLLAB	ACCA	OPEN IFC VIEWER	BONSAI	BIM VISION
PV_¬	Nº entidades aplicables: 0	ok	OK	PASSES: 0/0; REQ: 0	Sin objetos inapropiados
PM_¬	Nº entidades aplicables: 0	ok	OK	PASSES: 0/0; REQ: 0	Sin objetos inapropiados
PP_¬	Nº entidades aplicables: 0	ok	*No ofrece información*	PASSES: 0/0; REQ: 0	Sin objetos inapropiados
DV_¬	Nº entidades aplicables: 0	ok	OK	PASSES: 0/0; REQ: 0	Sin objetos inapropiados
DM_¬	Nº entidades aplicables: 0	ok	OK	PASSES: 0/0; REQ: 0	Sin objetos inapropiados
DP_¬	Nº entidades aplicables: 0	1 negativo	*No ofrece información*	PASSES: 0/0; REQ: 0	El modelo no tiene los objetos req.
PV_PM_¬	Nº entidades aplicables: 0	*No admite espec.*	OK	*No admite esta espec.*	*No admite esta espec.*
DV_DM_¬	Nº entidades aplicables: 0	*No admite espec.*	OK	*No admite esta espec.*	*No admite esta espec.*
PV_PM_PP_¬	Nº entidades aplicables: 0	ok	Error. Too little validations	PASSES: 0/0; REQ: 0	Sin objetos inapropiados
DV_DM_DP_¬	Nº entidades aplicables: 0	ok	Error. Too little validations	PASSES: 0/0; REQ: 0	Sin objetos inapropiados
PV_¬DT	ok	ok	OK	PASSES: 1/1; REQU: 1 √	Sin objetos inapropiados
PM_¬DT	ok	ok	OK	PASSES: 1/1; REQU: 1 √	Sin objetos inapropiados
PP_¬DT	Nº entidades aplicables: 0	ok	*No ofrece resultados*	PASSES: 1/1; REQU: 1 √	Sin objetos inapropiados
PV_¬DO	ok	ok	OK	PASSES: 1/1; REQU: 1 √	Sin objetos inapropiados
PM_¬DO	1/1 resultados negativos	*No admite espec.*	Error. Too little OverallWidth Attribute validations	PASSES: 3/9; REQ: 1 X	*Avisa al intentar ejecutar*
PP_¬DO	Nº entidades aplicables: 0	ok	*No ofrece información*	PASSES: 1/1; REQ: 1 √	Sin objetos inapropiados
PV_PM_PP_¬DT	ok	ok	Error. Too little validations	PASSES: 1/1; REQ: 1 √	Sin objetos inapropiados
DV_DM_DP_¬DT	ok	ok	Error. Too little validations	PASSES: 1/1; REQ: 1 √	Sin objetos inapropiados
PV_PM_PP_¬DO	ok	ok	Error. Too little validations	PASSES: 1/1; REQ: 1 √	Sin objetos inapropiados
DV_DM_DP_¬DO	ok	ok	Error. Too little validations	PASSES: 1/1; REQ: 1 √	Sin objetos inapropiados
DT_¬DO	2/3 resultados negativos	4 negativos	1 positivos, 5 negativos	PASSES: 3/9; REQ: 1 X	3 resultados incorrectos
DO_DR_¬DT	*Avisa y no ejecuta*	ok	3 positivos, 9 negativos	PASSES: 1/1; REQ: 1 √	Sin objetos inapropiados
DO_DR_¬DO	*Avisa y no ejecuta*	ok	1 positivos, 11 negativos	PASSES: 3/9; REQ: 1 X	Sin objetos inapropiados
PO_¬DT	6/9 resultados negativos	6 negativos	3 positivos, 9 negativos	PASSES: 3/9; REQ: 1 X	6 resultados negativos
DO_¬DT	6 resultados negativos	6 negativos	3 positivos, 9 negativos	PASSES: 3/9; REQ: 1 X	6 resultados negativos

Fig. 6 Comparativa de herramientas con requisitos en IDS. Fuente: Elaboración propia

Destaca que, para los casos sencillos, todos los softwares comprobados proporcionan resultados correctos. Sin embargo, se han detectado algunos casos en los que ciertas herramientas no aprecian incumplimiento

 BY-NC-SA

de las restricciones mientras que otros advierten de elementos erróneos. Destacan los siguientes dos casos particulares:

- Cuando se establece la aplicabilidad de las especificaciones como una enumeración de valores posibles de entidades IFC la interpretación de estos conjuntos es muy diversa entre los softwares. Algunos consideran que el conjunto de elementos seleccionados cumple con las especificaciones indicadas, mientras que otros devuelven un error.
- Cuando se especifican valores de aplicabilidad / requisitos que resultan imposibles (por ejemplo, presencia de un atributo específico de una entidad IFC en otra que para la que no está especificado), algunos softwares emiten mensajes de advertencia o de error, mientras que otros admiten la comprobación.

3. **Conclusiones y futuras líneas de investigación**

El trabajo detallado en los apartados anteriores trata de evaluar cómo el uso del estándar IDS puede mejorar el rendimiento y la eficacia en los procesos de control de calidad de los modelos realizados mensualmente en proyectos de construcción. Los datos revelan un ahorro de un 95 % del tiempo empleado, si bien el verdadero potencial de ahorro no se basa en la reducción del tiempo de ejecución sino en la estandarización del procedimiento de chequeo. Esta estandarización permite emitir un informe de control (chequeos que pasan el control), lo que permite a la propiedad asegurarse de que se cumple lo establecido en los requerimientos. El proceso de estandarización de los controles puede evitar al resto de agentes tener que repetir el mismo proceso.

Destacamos algunas lecciones aprendidas en este proceso y que se detallan en los siguientes párrafos:

- Se propone establecer la aplicabilidad a todos los elementos construidos mediante la utilización del atributo TAG, por lo que es necesario que las exportaciones a IFC cuenten con este atributo. La inclusión de los IfcOpeningElement dentro de esta categoría debe excluirse posteriormente.
- Se recomienda utilizar la misma herramienta de chequeo por todos los agentes intervinientes, y tener un conocimiento de la interpretación de los resultados proporcionados por dicho motor. Dado que el estándar IDS se encuentra en la versión 1.0, de momento, parece que todas las herramientas no están funcionando con todas las posibilidades que permite el esquema.
- La elaboración de un único IDS con todos los requisitos de información de un agente/promotor/cliente puede resultar un archivo excesivamente grande de mantener, interpretar y que proporcione listados de resultados también difíciles de gestionar. Por otra parte, la utilización de muchos archivos independientes, cada uno con una especificación puede resultar tediosa de manejar, dado que muchos motores de comprobación no admiten la carga simultánea o la ejecución de varios archivos de manera simultánea. Es necesario tener en cuenta estos aspectos para seleccionar la opción más ventajosa.
- En general, los motores de chequeo analizados resuelven correctamente los casos planteados, donde la selección de elementos está muy acotada. La implementación de lógicas de selección y el establecimiento de requisitos más complejos puede dar lugar a dificultad en su interpretación y disparidad de resultados según el motor de comprobación seleccionado. Se requiere de personal especializado en el estándar IDS para poder establecer los conjuntos de requisitos necesarios.

Como líneas de trabajo futuras, se pretende proponer al equipo de desarrollo de IDS la inclusión de las siguientes lógicas en futuras versiones del esquema:

- La posibilidad de incluir la cláusula EXCEPTO dentro de la parte de aplicabilidad para eliminar ciertos elementos de una selección previa., sin límite al anidamiento de las cláusulas de excepción.
- Habilitar el concepto SER HEREDERO DE dentro de la faceta de entidades IFC como patrón de aplicabilidad o de restricción para mejorar la posibilidad de selección de clases.
- La separación de las partes de aplicabilidad y restricción en dos partes claramente diferenciadas y nominadas (apl_1, apl_2, …, rest1., rest2,…) y la inclusión de una parte relacional que establezca

 BY-NC-SA

qué restricciones aplican a cada una de las aplicabilidades. De esta manera se simplifica la creación de los archivos creados a la vez que proporciona una gran flexibilidad.

Algunos elementos a considerar a la hora de trabajar con este formato de comprobación de RI, que pueden suponer limitaciones en el momento actual de estado de desarrollo del estándar, son:

- Las herramientas utilizadas, dado que no todas tienen el mismo grado de implementación de las posibilidades de IDS.
- El grado de madurez BIM del equipo humano interviniente, así como del proyecto de construcción seleccionado.
- La magnitud de los modelos BIM analizados. Se ha de tener en cuenta el número de elementos afectados, así como de información asociada a los mismos, el nivel de desarrollo geométrico o la organización del propio modelo también pueden afectar en los tiempos de apertura de archivos e interpretación de los formatos por parte de los softwares involucrado.

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

Referencias

Aranburu, A., Justel, D., Contero, M., Company, P., & Camba D., J. (2025). Embracing Strategic Knowledge for Developing a Methodological Framework for Parametric Modeling Quality. *Computer-Aided Design & Applications*, *22*(3), 525-535. https://doi.org/10.14733/cadaps.2025.525-535

buildingSMART Spain. (2015, marzo 29). openBIM. https://www.buildingsmart.es/bim/openbim/

CTN 41/SC 13. (2020). Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM. Gestión de la información al utilizar BIM. Parte 1: Conceptos y principios (UNE-EN ISO 19650-1:2019).

Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana. (2020). Manual BIM.

IfcOpenShell Contributors. (2024). Bonsai. https://bonsaibim.org/

Martín-Dorta, N., & Pérez-García, A. (2024). Formación en metodología BIM aplicada a la contratación pública. Curso C5 Auditar modelos. Introducción al formato IDS (Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas, Ed.).

Pérez-García, A., Martín-Dorta, N., & Aranda, J. Á. (2024). An exploratory study of the data quality of BIM models for Spanish public procurement. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 74, 502-507. https://doi.org/10.1109/CASE59546.2024.10711470

Schrödter, F., & Mellenthin Filardo, M. (2023). Open Source und BIM: Prüfung von IDS-basierten Informationsanforderungen anhand von Open-Source-Tools. En 34th Forum Bauinformatik / 34. Forum Bauinformatik (Bochum, 06. - 08.09.2023) (pp. 3-10).

 (cc) BY-NC-SA

BIM AS A POWERFUL TOOL TO ENHANCE SUSTAINABILITY AND MAINTENANCE THROUGH AI IMPLEMENTATION

Orsi, Alessandro; Ianeselli, Nicola; Martínez González, Héctor

Research Partner - Polytechnic University of Valencia, Dept. of Applied Physics; Director of Green Building Factory SLU; Lean In Public Sector Member; a.orsi@greenbuildingfactory.com; Wantman Group Incorporated, Innovation and VDC Leader, American Society for Artificial Intelligence Member; American Council Of Engineering Companies AI Committee Leader nicola.ianeselli@wginc.com; Polytechnic University of Madrid, NTT DATA - Director of Green Transition & Sustainability Strategy, ATECY Member; Hector.Martinez.Gonzalez@nttdata.com

Abstract

Building Information Modeling (BIM) is a transformative tool in the architecture, engineering, and construction (AEC) industry, impacting design, assembly, and maintenance phases of construction projects (Mac Leamy, 2008). BIM's potential is maximized in maintenance and sustainability, requiring proactive planning and accurate data to preserve project conditions and minimize environmental impact. This paper explores methods for implementing BIM to enhance sustainability and maintenance, demonstrating how to develop BIM models that calculate sustainability-related Key Performance Indicators (KPIs) such as CO_2 footprint, water footprint, and energy consumption using semi-automatic methods. This provides real-time sustainability feedback during the design phase, enabling proactive decision-making. BIM also improves maintenance efficiency throughout a project's lifecycle, reducing costs and issues by leveraging data on equipment, systems, and other depreciating assets. The paper also explores how Artificial Intelligence (AI) amplifies these processes by automating data acquisition, ensuring accuracy, and using machine learning algorithms to forecast trends and develop robust BIM models and sustainability strategies.

Keywords: *BIM, sustainability, artificial intelligence, life-cycle-assessment, project management.*

Resumen

El Building Information Modeling (BIM) ha sido reconocido como una herramienta transformadora en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC), impactando significativamente las fases de diseño, ensamblaje y mantenimiento de los proyectos (Mac Leamy, 2008). Dos áreas clave donde se maximiza el potencial de BIM son el mantenimiento y la sostenibilidad, que requieren planificación proactiva e información precisa para preservar las condiciones del proyecto y minimizar el impacto ambiental. Este artículo explora metodologías actuales para implementar BIM en la sostenibilidad y el mantenimiento, demostrando cómo desarrollar un modelo BIM que calcule indicadores clave de sostenibilidad como la huella de CO_2, la huella hídrica y el consumo energético usando métodos semi-automáticos. Este enfoque proporciona retroalimentación en tiempo real durante el diseño, permitiendo decisiones informadas. Además, se muestra cómo BIM mejora la eficiencia del mantenimiento durante el ciclo de vida de un proyecto, reduciendo costos y problemas inesperados. Finalmente, se explora cómo la Inteligencia Artificial (IA) amplifica estos procesos al automatizar la adquisición de datos y pronosticar tendencias, cruciales para desarrollar modelos BIM robustos y estrategias sostenibles.

Palabras clave*: BIM, sostenibilidad, inteligencia artificial, análisis de ciclo de vida, gestión de proyectos.*

BY-NC-SA

Introduction

Building Information Modeling (BIM) has become a pivotal technology in the construction industry, revolutionizing the way buildings are designed, built, and maintained. As global concerns about sustainability grow, BIM's potential to support eco-friendly practices, reduce waste, and improve long-term building maintenance is increasingly recognized. However, the widespread adoption of BIM for sustainability and maintenance faces significant challenges, including technological integration issues and workforce limitations.

One major barrier to BIM adoption is the high initial cost and complexity of implementation. Smaller construction firms, in particular, may hesitate to invest in the necessary software, hardware, and training for BIM. The transition from traditional methods to BIM requires a significant change in established workflows, which can be time-consuming and disruptive. Additionally, the steep learning curve associated with BIM tools and the need for skilled professionals contribute to resistance, especially in organizations lacking the resources to upskill their workforce.

Another challenge is the lack of interoperability between different BIM platforms and other emerging technologies like sensors and the Internet of Things (IoT). Seamless integration is essential for BIM to reach its full potential in sustainable design and facility management. However, inconsistencies between software systems can hinder the exchange of data, undermining the efficiency of building operations. Reliable data integration is crucial for reducing environmental footprints by tracking energy consumption, material use, and environmental impacts.

The shortage of BIM-related skills also poses a significant obstacle. The growing demand for BIM professionals in the construction industry is not met with sufficient trained personnel. Effective implementation of BIM requires not only technical expertise but also an understanding of how sustainability principles can be integrated into design. This multidisciplinary knowledge is often lacking, limiting BIM's full potential for achieving environmental goals.

Despite these challenges, the benefits of BIM for sustainability and maintenance are immense. BIM helps optimize material usage, reduce waste, and support energy-efficient designs. By simulating a building's performance before construction, BIM allows for adjustments to minimize environmental impact. Additionally, BIM's ability to manage detailed lifecycle data enables proactive maintenance, reducing the risk of system failures and extending a building's lifespan. Predictive maintenance, driven by real-time data, can lead to cost savings and enhance long-term sustainability.

In conclusion, while BIM faces challenges in terms of cost, technical integration, and skill shortages, its potential to drive sustainability and improve maintenance practices is significant. Overcoming these obstacles through investment in training, technology development, and collaboration can unlock the full benefits of BIM, leading to more sustainable and resilient buildings.

1. The Sustainability Problem

Building Information Modeling (BIM) and sustainability have become central to the construction industry, addressing challenges related to resource efficiency, environmental impact, and project optimization. Both concepts focus on the life-cycle of buildings and infrastructure, aiming to enhance design, construction, operation, and decommissioning phases (Azhar, 2011). However, the interpretation and implementation of BIM and sustainability vary, as there is no universally agreed-upon definition for either term (Krygiel & Nies, 2008). While BIM encompasses digital tools and processes for managing building data, sustainability in construction broadly refers to minimizing environmental impact through resource-efficient practices (Hossain et al., 2019). Despite their differences, both BIM and sustainability share common objectives, particularly in optimizing project processes, including costs, time, energy consumption, CO2 emissions, and pollution levels. By integrating these two approaches, the construction industry can achieve more sustainable outcomes, such as reducing waste and improving energy efficiency throughout the building's life-cycle (Eastman et al., 2011).

BY-NC-SA

This synergy enables a holistic approach to building performance, ensuring a balance between economic, environmental, and social factors.

1.1 **Automatic calculation of CO2 footprint in construction through BIM**

The reduction of CO2 emissions is becoming a key element for the economy of the European Union and of the world in general (UE Reg. 852/2020). As a result, the problem of calculating the CO2 footprint of a specific construction project is also gaining momentum. This goal is generally achieved through specific software and procedures also called Lyfe-Cycle-Analysis (LCA) software that link the information of the existing material-CO2-emission databases to the elements contained in a certain construction project. This procedure presents a few issues because it is generally performed manually by a technician considering the variables applicable to each project's material (E.g. the same wood may not have the same CO2 footprint if used in different locations due to the CO2-transportation variable). As a result, in spite of being standardized and mechanical, the process is quite long and tedious. Moreover, the process can be performed only after the final execution design phase is complete because for each element, the technicians must know the exact material, its origins and all the variables attached to the transportation and on-site manufacturing process. As a result, considering the tight timeline that follow the design and construction procedures and considering the time-consuming CO2 calculation process, the CO2 footprint of the project is only calculated once almost as if it was a verdict because by the time the LCA analysis is completed the design has already been approved and there are no margins to modify materials, suppliers and other CO2-impacting factors.

BIM Model Built-In Database

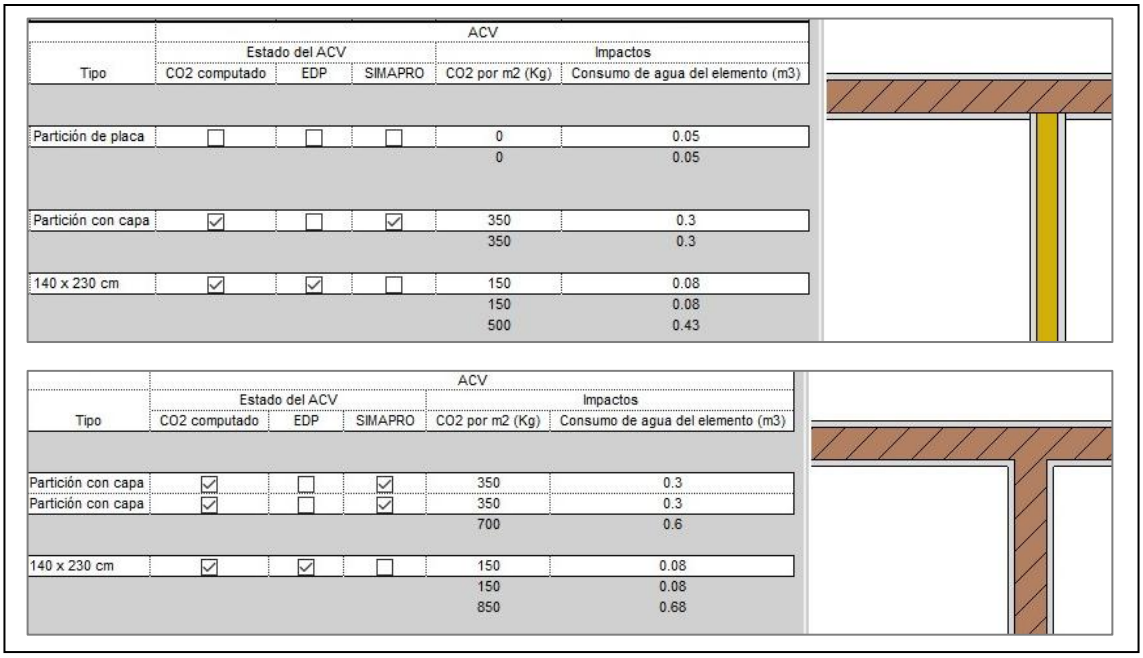
The use of BIM represents a possible solution to enhance the CO2 calculation process. By creating a built-in database within the BIM software and considering the quantity of CO2 as another "dimension" of the model, designers can actually calculate the CO2 footprint of the project as it's being designed. The process can be described as follow:

- Determine the CO2-related information for each material implemented within the project – such information can either proceed from existing material certificates (e.g. Environmental Product Declaration or EPD), withdrawn from existing database, calculated ad-hoc by technicians;
- Create the BIM model considering the CO2-quantity of each material as another variable that can be introduced manually or withdrawn by linking the existing databases;
- Create a scheme of variables to adjust the CO2 quantities of each group of materials to the specific site location in order to consider the transportation-related CO2.

This process can be highly standardized and mechanical but, in order to reduce the variables and numbers of items to be analysed, it has to be implemented not for single materials but for construction systems. Thus, it is possible to calculate the CO2 footprint of standard construction systems, consider each of them as a "family" within the BIM software and then apply the transportation variables depending on the site location.

In comparison with the standard approach, this method has the advantage of automatically calculate the CO2 footprint of the project as it's being designed, for CO2 is considered as another variable within the model. Figure 1 below shows two screenshots of the software while implementing the CO2 calculation method described above. As the selected object within the BIM model is linked to a different material, the related information, including the CO2 footprint, change and can be re-calculated instantly.

 BY-NC-SA



Tipo	ACV				
	Estado del ACV			Impactos	
	CO2 computado	EDP	SIMAPRO	CO2 por m2 (Kg)	Consumo de agua del elemento (m3)
Partición de placa	☐	☐	☐	0	0.05
				0	0.05
Partición con capa	☑	☐	☑	350	0.3
				350	0.3
140 x 230 cm	☑	☑	☐	150	0.08
				150	0.08
				500	0.43

Tipo	ACV				
	Estado del ACV			Impactos	
	CO2 computado	EDP	SIMAPRO	CO2 por m2 (Kg)	Consumo de agua del elemento (m3)
Partición con capa	☑	☐	☑	350	0.3
Partición con capa	☑	☐	☑	350	0.3
				700	0.6
140 x 230 cm	☑	☑	☐	150	0.08
				150	0.08
				850	0.68

Figure 1: screenshot of the BIM software while implementing the CO2 automatic calculation method.

BIM and Database linking tools

Looking at the end of the design phase when the design is already completed there are other methods to automatically calculate the CO2 and other sustainability-related KPIs through the automatic association between BIM model and existing database. The use of AI for calculating the carbon footprint, as well as other environmental indicators, of a construction project for stages A1-A3 (Product Stage) and A4-A5 (Construction Stage) according to the Life-Cycle-Assessment methodology is based on the capability of this technology for cognitive search, that is, analysing the user's intent and preferences, searching through various sources of information, understanding the obtained information, and combining information from different sources to create a rational and relevant response.

The process can be described as follow:

- The user creates the BIM model according to the relevant design criteria.
- Through an Application Programming Interface (API), the AI-based tool reads the project information (list of materials, auxiliary teams and equipment, measurement, cost). Thanks to the AI learning process, it can identify items that contain errors in nomenclature or optimize the quantity of materials by grouping them according to previously established criteria.
- Through other APIs, the tool performs a cognitive search in different existing databases that include carbon footprint information (such as Ecoinvent, for example). This search relates the information read from the project with the information from the databases, again using its learning to improve the validation process of total or partial matches.
- From here, a calculation module aggregates the obtained information and determines the carbon footprint value, by items, by chapters, or for the total project.

The speed at which this calculation can be performed allows for the generation of different scenarios in very early stages of the project, without the need for complete or final information. These scenarios can integrate other additional aspects beyond carbon, such as price, enabling decision-making among different alternatives with a more holistic view.

Furthermore, thanks to the learning that AI can do about user preferences, it can automatically recommend solutions based on previous projects or challenges already overcome in the past.

BY-NC-SA

Other tools currently available on the market

The market offers other tools for the aided-calculation of CO2 and other sustainability-related KPIs through the LCA approach. Currently the most implemented ones within the construction sector are OneClick LCA and SimaPro (Ramachandran - 2025). At a glance, the functionality of these software can be described as follow:

- SimaPro is a LCA calculation software that enables the calculation of different sustainability-related KPIs for each element and/or process associated with a certain project or product. The software is linked with global databases, such as Ecoinvent, which guarantee the final output to be up to date and very precise. However, the software is not supported by AI processes nor automation systems, so the majority of information have to be introduced manually by experienced technicians.
- OneClick LCA is a similar software which automatically links the project materials with existing databases for different KPIs but does not allow the level of detail and customization as SimaPro. On the other side OneClick does have an AI interface which automatically links the project information listed on Excel Sheets to its database of existing construction materials.

Both software are key references for the construction market, but they can be implemented only after the project is designed, when the materials have been selected and the design solutions have been determined. None of them offer a solution to calculate the sustainability KPIs instantaneously as the project is being developed.

1.2 **Semi-automatic development of green-building certifications through the AI**

The construction industry has witnessed a growing emphasis on sustainability, with green building certifications becoming an essential aspect of modern architectural design. These certifications, such as LEED, BREEAM, and others, offer a structured approach to ensuring that buildings are environmentally friendly, energy-efficient, and designed with sustainability in mind. However, the process of achieving such certifications can be cumbersome, requiring the analysis of vast amounts of project data, adherence to complex guidelines, and the ability to swiftly respond to design changes. Artificial Intelligence (AI) has emerged as a transformative tool to streamline and automate the green-building certification process, making it faster, more accurate, and adaptive to changes in the design process.

One of the core strengths of AI in the context of green-building certifications is its ability to process and analyse large volumes of data in a very short period. Modern building projects generate an enormous amount of data across various phases, from initial design and material selection to energy simulations and environmental impact assessments. Manually reviewing and cross-referencing this data against the requirements of green-building standards is a time-consuming and error-prone process. AI, particularly machine learning algorithms, can rapidly analyse these datasets, flagging key attributes that may contribute to meeting sustainability criteria. The AI systems can sift through project data, such as architectural plans, energy consumption models, and material specifications, identifying elements that align with green-building standards. By doing so, AI helps streamline the documentation and evaluation process, drastically reducing the time it takes to assess a project's compliance with certification standards.

Another significant role of AI in green-building certification is its ability to identify green-building features in a project and match them with the specific requirements of various certification systems. Green-building standards, such as LEED and BREEAM, include detailed, specific criteria that cover a wide array of factors including energy efficiency, water conservation, indoor air quality, and the use of renewable materials. AI can be trained to recognize these features within the design documents, comparing them against the mandatory and optional requirements outlined in the certification frameworks. For instance, AI can detect energy-saving technologies like solar panels, high-efficiency HVAC systems, or low-water-consumption fixtures, flagging these as contributing to the project's green-building score. AI systems can then automatically generate reports that align with certification checklists, ensuring that no relevant feature is overlooked, and that the project is continuously meeting all the criteria set forth by the certification body. This automated analysis helps design

 BY-NC-SA

teams ensure that they are on track to meet their sustainability goals without the need for tedious manual evaluation.

Furthermore, one of the most valuable features of AI in the certification process is its ability to instantly adapt to changes in the project. In construction projects, change orders are common and often require swift adjustments to meet certification standards. Traditionally, these changes would require a manual review of the entire design to assess whether the changes impact the building's compliance with green-building criteria. This process can delay timelines and introduce errors. AI, however, can quickly reiterate the certification evaluation process in response to these changes. When a design modification occurs, AI systems can instantly re-analyse the project's data, identifying any new or altered features that may impact the green-building certification. If the change introduces a new material, energy feature, or structural element, the AI can immediately assess whether it aligns with certification requirements and recalibrate the project's overall sustainability score. This adaptability allows design teams to incorporate change orders without risking delays or losing sight of certification goals. Additionally, it helps maintain project momentum, ensuring that the building continues to meet sustainability standards throughout the design and construction process.

The ability of AI to automate the development of green-building certification procedures offers several benefits. First, it significantly reduces the time and effort required for certification assessments, which can often take weeks or even months when done manually. Second, AI helps to eliminate human error, ensuring that all project features are accurately accounted for and that the building meets all necessary requirements. Third, AI enables real-time adaptation to change, making it easier for architects and builders to incorporate sustainable features while maintaining certification compliance.

2. **The Maintenance Problem**

Maintenance is critical for building performance, longevity, and cost-effectiveness, but traditional reactive or scheduled approaches are often inefficient. Integrating BIM, AI, and IoT sensors enables a shift towards proactive, predictive maintenance. AI, particularly Machine Learning (ML) and Natural Language Processing (NLP), analyses real-time sensor data and historical maintenance logs to anticipate failures, optimize interventions, and improve overall building operation.

2.1 **AI-Driven Procedures for Maintenance Processes**

Problem Statement: The goal is to move beyond reactive or calendar-based maintenance towards condition-based and predictive approaches that anticipate failures and optimize interventions. This requires understanding the real-time condition of building assets and predicting their future state.

Condition Monitoring & Sensor Data: Real-time data acquisition via IoT sensors (monitoring temperature, vibration, energy use, operating hours, etc.) embedded in systems like HVAC or elevators is foundational. This data stream provides insights into actual operating conditions.

Predictive Maintenance (ML): ML algorithms analyse sensor data to detect anomalies and predict failures.

- ***Algorithms & Applications:*** Supervised learning (e.g., Random Forests, SVMs) uses labelled historical data for classification (normal/warning/failure) or regression (predicting Remaining Useful Life - RUL). Unsupervised learning (e.g., LSTM Autoencoders) detects anomalies in unlabelled data by identifying deviations from normal operational patterns, signalling potential faults even without prior failure examples. Clustering can group similar operational states.
- ***Data & Example:*** Effective models need sufficient quality data. For instance, an LSTM Autoencoder trained on normal HVAC sensor data can detect subtle vibration/temperature deviations indicating potential bearing wear long before failure.

Maintenance Log Analysis (NLP): NLP extracts valuable insights from unstructured text in work orders and reports.

BY-NC-SA

- ***Techniques & Applications:*** Information extraction structures data (asset, problem, action). Topic modeling identifies recurring issues. Sentiment analysis gauges feedback. Knowledge bases can be built from past solutions.
- ***Example:*** NLP analysis of logs might reveal frequent seal failures in a specific pump model after certain operating hours, enabling predictive replacement scheduling.

Dynamic BIM Updates & Lifecycle Tracking: AI insights (predicted RUL, diagnosed faults, common issues) must update the BIM model, transforming it from a static record into a dynamic representation (a Digital Twin foundation). This requires systems capable of managing time-varying operational data (operating hours, maintenance history, condition) linked to BIM objects. AI uses this updated data for optimized scheduling and lifecycle planning.

Automated Work Orders: AI systems can automatically generate prioritized work orders in CMMS/FM platforms based on predictive alerts, linking them directly to the asset in the BIM/DT model for efficient technician access to information.

2.2 **Implementation Procedures for AI-Enhanced Maintenance**

Objective: Implementing AI-enhanced maintenance requires a robust framework integrating sensor data, BIM context, and AI analytics. This involves establishing clear technical steps, architecture, and data flows, including the critical bidirectional relationship between physical assets, digital models, and AI.

Architecture Overview: A typical layered architecture includes:

1. **Physical Layer:** Assets, IoT sensors, actuators.
2. **Communication Layer:** Network protocols (WiFi, LoRaWAN, BACnet/IP, etc.).
3. **Data Layer:** Time-Series Databases (TSDB), Relational/Graph Databases for BIM/semantics, Data Lakes, IoT Platforms.
4. **Integration Layer:** APIs, Middleware, Data Mapping/Semantic Enrichment.
5. **Application Layer:** AI/ML models, dashboards, BIM viewers.

Sensor Integration: Sensors acquire data (temperature, vibration, operating hours) transmitted via gateways to platforms.

BIM Integration & Data Mapping: Linking sensor data to BIM context is crucial but challenging.

- *Methods:* Unique IDs, spatial proximity, or preferably, **Semantic Linking using ontologies** (e.g., SSN, SAREF for sensors; ifcOWL, BOT for BIM) to create queryable knowledge graphs. Database integration (exporting BIM to SQL, linking with sensor data tables) is another option.
- *Standards:* Lack of universal standards (APIs, mapping) is a barrier. Efforts around IFC , ifcOWL, BOT are important.

AI Processing: AI algorithms operate on this integrated, contextualized data for accurate analysis and prediction.

Bidirectional Feedback Loop (Digital Twin Essence): Enables dynamic adaptation.

1. *Physical to Digital:* Sensors monitor asset -> Data transmitted & mapped to BIM/DT -> AI analyzes.
2. *Digital to Digital:* AI insights trigger updates *within* the digital model (e.g., RUL, condition status, maintenance log). Automated work orders generated.
3. *Digital to Physical:* Insights trigger physical actions (technician dispatch, automated BMS adjustments via control system integration).

BY-NC-SA

AI Model Training & Deployment: Models trained (offline/simulated data), deployed (edge/cloud), and periodically retrained.

3. The Promise of BIM and AI

Integrating BIM, AI, and IoT creates powerful synergies, enabling holistic optimization across building systems and lifecycle phases, moving beyond siloed solutions towards intelligent building ecosystems.

3.1 Integrated Energy Management

AI enhances traditional Building Management Systems (BMS) by leveraging integrated data from BIM (context, specifications) and real-time sensors (occupancy, temperature, weather) for dynamic energy optimization. Instead of static schedules, AI enables:

- *Predictive HVAC Control:* Learning thermal dynamics and occupancy patterns to proactively adjust heating/cooling, minimizing energy use while maintaining comfort.
- *Optimized Lighting:* Dynamically adjusting artificial lighting based on real-time occupancy and calculated natural daylight availability (using BIM geometry).
- *Peak Load Management:* Predicting consumption patterns to devise strategies (load shifting, optimizing on-site generation/storage) to reduce peak demand.
- *Fault Detection Linkage:* Monitoring equipment energy use to detect inefficiencies indicating faults, triggering predictive maintenance alerts and linking energy management to maintenance. AI-driven management can yield significant savings (potentially 20-30%).

3.2 Practical application case study

AI, BIM, and IoT integration creates a digital thread connecting data across the building lifecycle, enabling feedback loops and holistic optimization.

- *Feedback Loops:* Operational data (energy use, maintenance issues) informs future designs via BIM. Construction data refines the operational digital twin.
- *Sustainability & Maintenance Synergy:* Optimized maintenance improves system efficiency (reducing operational emissions). Sustainable design choices (durable materials in BIM) reduce long-term maintenance. AI can model these interdependencies for simultaneous optimization

Objective: Demonstrate a feasible, replicable AI-BIM-IoT integration for predictive maintenance.

Scenario: Predictive maintenance for an AHU fan motor.

Workflow:

1. **Setup:** Vibration/temperature sensors installed on motor. Sensors semantically linked to the corresponding AHU motor object in the BIM model (containing specs, location, history). Baseline normal operational data collected.
2. **Data Acquisition:** Sensors continuously measure vibration/temperature, transmitting data wirelessly to a cloud platform.
3. **AI Model:** An LSTM Autoencoder is trained on baseline data to learn normal patterns and deployed for real-time analysis.
4. **Monitoring & Detection:** The AI model processes live sensor data. A sustained increase in reconstruction error (deviation from normal) is detected, indicating potential bearing wear.

BY-NC-SA

5. **Alert & Diagnosis:** Automated alert generated: *"Anomaly Detected: AHU-01 Fan Motor (BIM ID: #AFM001) ... (Bearing Wear Suspected) ..."* Optionally cross-referenced with NLP analysis of past logs.
6. **BIM/DT Update & Work Order:** Alert updates the motor's digital representation (status, risk level, logs history). Automated work order generated in CMMS, linked to BIM, with asset details, location, diagnosis, priority.
7. **Intervention:** Technician receives work order, uses BIM data (potentially via AR) for location/info, performs tests confirming wear, replaces bearing proactively.
8. **Feedback:** Work order closure updates BIM/DT history. AI observes sensor data returning to normal. Event data used for future model retraining.

Feasibility: Illustrates a replicable procedure using available IoT sensors, BIM context, cloud AI (LSTM Autoencoders), feasible integration methods (APIs, semantic linking), and CMMS automation. Demonstrates proactive maintenance benefits (preventing failure/damage, reducing downtime). Assumes reliable connectivity and data quality.

4. **Conclusions**

The integration of Artificial Intelligence (AI) with Building Information Modeling (BIM), further enhanced by data from the Internet of Things (IoT), represents a significant technological evolution within the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry. This revised analysis moves beyond generic assertions of potential to highlight the specific mechanisms through which this integration drives substantial advancements in both building sustainability and maintenance optimization.

The integration of AI with BIM, powered by IoT data, marks a transformative evolution for the AEC industry. This synergy moves beyond potential, enabling specific advancements in sustainability and maintenance. For sustainability, AI facilitates proactive, data-driven assessment through automated LCA (providing real-time CO2 feedback) and semi-automated Green Building certification compliance checks (using NLP/ML). In maintenance, AI enables predictive strategies by analysing sensor data (ML for failure prediction) and maintenance logs (NLP for insights). Establishing robust integration frameworks, including semantic mapping and bidirectional data flows, creates dynamic Digital Twins supporting optimized lifecycle management. While challenges like data quality, interoperability, cost, and skills persist, the fusion of AI and BIM offers powerful methodologies for designing, operating, and maintaining smarter, more efficient, and sustainable buildings. Continued development is crucial to fully realize this potential.

In conclusion, the fusion of AI and BIM, powered by IoT data, is not merely an incremental improvement but a transformative force. It provides the tools and methodologies to move towards buildings that are not only designed sustainably but are also operated and maintained with unprecedented efficiency and intelligence throughout their lifecycle. As these technologies continue to evolve and integrate, they will be instrumental in realizing the vision of smarter, safer, more resilient, and environmentally responsible built environments.

References

Demian, Peter, et al. (2024). "The Relationship Between Artificial Intelligence (AI) and Building Information Modeling (BIM) Technologies for Sustainable Building in the Context of Smart Cities."

Sustainability 16, no. 24: 10848. (Comprehensive overview, AI/BIM/Sustainability/LCA/Energy/Monitoring)

ResearchGate (2024). "Application of Artificial Intelligence (AI) in Sustainable Building Lifecycle: A Systematic Literature Review." Preprint. (Systematic review, AI techniques, capabilities, barriers across lifecycle)

Demian, Peter, et al. (2024). "The Relationship Between Artificial Intelligence (AI) and Building Information Modeling (BIM) Technologies for Sustainable Building in the Context of Smart Cities." Sustainability 16, no. 24: 10848. (Duplicate of , confirms broad scope)

 BY-NC-SA

Aleke, Christiana Ukamaka, et al. (2024). "Artificial Intelligence as a tool for enhancing Building Information Modeling (BIM)." World Journal of Advanced Research and Reviews 24, no. 2: 1558-1571. (AI enhancement of BIM, predictive maintenance, generative design, challenges)

Univalle Engineering Journal (2024). Review article on LC, BIM, and AI synergies in construction. Ingeniería y Competitividad, Vol. 26, No. 1, e144012024. (Review, Synergies, Sustainability, Maintenance)

ResearchGate (2024). "Revolutionizing Structural Engineering: A Review of Digital Twins, BIM, and AI Applications." Preprint. (Review, DT, BIM, AI, challenges, future directions)

Elsevier / Aston University Research Explorer (2024). "BIM, IoT, and GIS integration in construction resource monitoring: A state-of-the-art review." Automation in Construction, Vol 174, June 2025, 106149. (Review, BIM/IoT/GIS integration, challenges, interoperability)

Novedge Blog (Undated, likely 2023/2024). "Revolutionizing Architecture: Integrating BIM with IoT for Smart Buildings and Predictive Maintenance." (IoT/BIM integration architecture, APIs, data mapping)

J-Chung KR / Journal of Information Technology in Construction (ITcon) (2021). "A review of BIM and IoT devices integration: Benefits, challenges, and future directions." ITcon Vol. 26 (2021). (Review, BIM/IoT integration methods, APIs, semantic linking, challenges)

Taylor & Francis Online (2024). "BIM and Digital Twin: state of the art, limitations and future developments for construction sector." European Journal of Remote Sensing, Published online: 10 Aug 2024. (Review, BIM/DT integration, bidirectional flow, limitations)

London Metropolitan University Repository (2024). "Machine Learning Techniques for Building Predictive Maintenance: A Review." Preprint/Working Paper. (Review, ML for predictive maintenance, challenges, data quality)

ResearchGate (2024). "Machine Learning Algorithms for Predictive Maintenance in HVAC Systems." Journal of Scientific and Engineering Research, 2024, 11(6):156-161. (ML algorithms for HVAC PdM - SVM, Random Forest)

Discovery UCL / MDPI (2024). "Automated Building Information Modeling Compliance Check through a Large Language Model Combined with Deep Learning and Ontology." Buildings 2024, 14(7), 1983. (Automated compliance check, LLM, NLP, Deep Learning, Ontology)

Autodesk University (2024). AU2024 Class Handout: "LEEDing with Innovation: AI and Digital Twins for Sustainable Design and Compliance." (AI for LEED automation, AI assistants, DT integration)

NSF PAR (2022). Chapter: "Building Information Modeling, Natural Language Processing, and Artificial Intelligence for Automated Compliance Checking." In: Research Companion to Building Information Modeling. (Framework for ACC using BIM, NLP, AI)

PMC / MDPI (2021). "A Predictive Maintenance Framework for Facility Management Using Machine Learning." Sensors (Basel). 2021 Feb; 21(4): 1483. (PdM framework, ML, LSTM Autoencoder case study, data requirements)

Emerald Insight (2024). "Ontology-based asset information model framework for predictive maintenance in building facilities." Smart and Sustainable Built Environment, Ahead-of-print. (Ontology framework for PdM, AIM, BOT)

REHVA Journal (2021). "Integrating BIM, BMS and IoT data on the web." REHVA Journal, Volume 58, Issue 3, June 2021. (BIM/BMS/IoT integration, IFC standard)

University of Toronto TSpace Repository (2023). "Semantic Modeling of Unstructured Data for Operational Digital Twins." PhD Thesis. (NLP for work orders, DT context)

ResearchGate / Civil Engineering Journal (2024). "BIM Maintenance System with IoT Integration: Enhancing Building Performance and Facility Management." Civil Engineering Journal, Vol. 10, No. 6, June 2024. (BIM/IoT for maintenance, workflow, dynamic updates)

ResearchGate / MDPI (2021). "BIM-Based Digital Twin and XR Devices to Improve Maintenance Procedures in Smart Buildings: A Literature Review." Applied Sciences 2021, 11(15), 6810. (Review, BIM-based DT, XR for maintenance)

The IET (2021). "Digital Twins for the Built Environment: An introduction to the transformative potential of connected digital replicas of physical assets." White Paper. (DT definition, potential)

MDPI (2024). "Integrating Digital Twins with BIM for Enhanced Building Control Strategies: A Systematic Literature Review Focusing on Daylight and Artificial Lighting Systems." Buildings 2024, 14(3), 805. (Review, DT/BIM integration for control)

 BY-NC-SA

GESTIÓN DE COSTOS EN PROYECTOS BIM: UN DESAFÍO EN ENTORNOS OPENBIM

Sgalippa, Juana; Reston Vigueras, Lucia; Juncal Sánchez, Evelio

Sgalippa, Juana - Argentina (Salta, Universidad Católica de Salta, Argentina) - jsgalippa.arq@gmail.com; Reston Vigueras, Lucia - Argentina (Salta, Universidad Católica de Salta, Argentina) - lureston1@gmail.com; Sánchez Juncal, Evelio – España (Universidade de A Coruña, A Coruña, España) - evelio@ediliciaBIM.com;

Abstract

Cost management in building projects using BIM methodology poses notable challenges, especially when integrating open standards like the IFC format with 5D open-source tools. This research presents a practical study on developing a workflow that facilitates cost management within OpenBIM environments. The study examines the potential and limitations of 5D tools, focusing on organizing cost data through the properties defined in the IFC schema. It explores key aspects such as OpenBIM interoperability, process automation, and workflow optimization, offering insights into addressing integration barriers. Key challenges include the lack of integration between platforms and the need to adapt traditional workflows to maximize open standards uses. The results demonstrate that an OpenBIM approach can enhance efficiency, reduce redundancies, improve collaboration, and optimize budget management.

***KeyWords**: Management, Costs, Budgets, BIM, IFC, OpenBIM, Interoperability, Automation, Optimization, Collaboration*

Resumen

La gestión de costos en proyectos de edificación con metodología BIM presenta grandes desafíos, especialmente cuando se intenta fusionar estándares abiertos como el formato IFC con herramientas de código abierto para BIM 5D. Esta investigación presenta un estudio aplicado sobre un flujo de trabajo que facilite la gestión de costos en ambientes OpenBIM. La investigación analiza las posibilidades y limitaciones de herramientas específicas, destacando los retos, soluciones y beneficios de organizar información de costos mediante las propiedades del esquema IFC. Se analiza la interoperabilidad, automatización de procesos y la optimización de flujos de trabajo OpenBIM. Entre los desafíos destacan la falta de integración entre plataformas y la necesidad de adaptar procesos tradicionales para maximizar el uso de los estándares abiertos. Los resultados demuestran que un enfoque basado en formatos OpenBIM elimina redundancias, mejora la colaboración y optimiza la gestión de presupuestos.

***Palabras clave**: Gestión, Costos, Presupuestos, BIM, IFC, OpenBIM, Interoperabilidad, Automatización, Optimización, Colaboración*

BY-NC-SA

Introducción

La construcción es una de las industrias más complejas y dinámicas del mundo, donde la gestión adecuada de los presupuestos juega un papel crucial en el éxito de los proyectos. Con la evolución de las tecnologías de la información y la implementación de la metodología Building Information Modeling (BIM), la industria ha experimentado un cambio significativo en la forma en que se planifican, diseñan, ejecutan y administran los proyectos de construcción. Una de las principales ventajas de BIM es la integración de información digital a lo largo del ciclo de vida del proyecto, lo que permite optimizar no solo el diseño y la coordinación, sino también aspectos críticos como el control de costos y presupuestos.

A pesar de estos avances, aún son escasos los estudios que abordan la importancia de la gestión de costos dentro del entorno BIM, lo que resalta la necesidad de mejorar la interoperabilidad entre herramientas de distintos proveedores. En este sentido, los estándares de Industry Foundation Classes (IFC), desarrollados por buildingSMART (2024), han sido objeto de múltiples investigaciones por su potencial en la interoperabilidad de modelos digitales. Sin embargo, su aplicación en la automatización de procesos de estimación de costos sigue en desarrollo y requiere mayor exploración, especialmente en el uso de herramientas de código abierto para la gestión de costos dentro de modelos BIM (SigmaDimensions, 2023).

Investigaciones recientes han identificado que, aunque BIM 5D promete mejorar la precisión en la cuantificación de costos, su implementación enfrenta desafíos significativos debido a la calidad inconsistente de los modelos y la falta de estandarización en la información incorporada (Shen & Issa, 2020). La limitada interoperabilidad y la reticencia de algunos actores del sector a compartir modelos detallados han obstaculizado el aprovechamiento total de estas herramientas digitales (Lee & Kim, 2020). Además, la adopción de BIM 5D para la gestión de costos sigue siendo fragmentada, con estudios que destacan que muchas empresas aún dependen de métodos tradicionales de cuantificación debido a la baja calidad de los modelos y la falta de confianza en los datos generados automáticamente (Popov & Mikalauskas, 2019).

Estos factores contribuyen a la persistencia de sobrecostes en la construcción, los cuales han sido documentados en múltiples estudios como una problemática recurrente en la industria (Pilger & Machado, 2019). La integración de nuevas tecnologías, como la inteligencia artificial y blockchain, ha sido propuesta como una posible solución para mejorar la gestión de costos en BIM, pero su implementación en entornos OpenBIM aún requiere una mayor investigación y validación mediante casos de estudio reales (Niknam & Karshenas, 2020).

Si bien se ha logrado integrar dentro del entorno BIM aspectos como la cuantificación y los recursos de una obra, la gestión de costos aún permanece al margen. Actualmente, los modelos IFC deben exportarse a un software externo para enlazar la información económica, pero estos datos no se reincorporan al modelo original. Como resultado, la gestión de costos sigue un proceso lineal, donde cualquier modificación requiere volver al punto de partida en lugar de mantenerse dentro de un flujo de trabajo dinámico e integrado. Esta limitación no solo afecta la eficiencia del proceso, sino que también dificulta la toma de decisiones basada en datos en tiempo real. Por ello, en este caso práctico se busca demostrar cómo la gestión de costos puede permanecer dentro del entorno BIM, evitando la fragmentación del proceso y mejorando su eficiencia en entornos OpenBIM.

1. Marco teórico: Costos en BIM e IFC

La gestión de costos en proyectos de construcción siempre ha dependido de herramientas externas y especializadas, lo que a menudo genera duplicación de datos y retrasos en los flujos de trabajo. A medida que los proyectos adoptaron la metodología BIM, surgió la necesidad de integrar los costos dentro del propio modelo digital, eliminando la necesidad de procesos paralelos y mejorando la precisión de las estimaciones. Sin embargo, esta integración efectiva no solo depende de la incorporación de datos de costos, sino también de cómo estos se estructuran dentro del formato estandarizado IFC (Industry Foundation Classes).

BY-NC-SA

IFC es el formato abierto que permite la interoperabilidad entre diversas plataformas y aplicaciones en proyectos BIM. A través de la estructura del esquema IFC, los elementos del modelo pueden contener parámetros y propiedades que vinculan el diseño con los costos, lo que facilita un control más preciso y eficiente a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Una de las características más relevantes para la gestión de costos en BIM mediante IFC es la estructura jerárquica de propiedades, que organiza y conecta los distintos datos dentro del modelo. Dentro del esquema, los parámetros relacionados con los costos se estructuran y se enlazan de una manera mediante las relaciones entre los distintos elementos del proyecto (ver Figura 1). En este contexto, las propiedades relacionadas con los costos no se gestionan de manera aislada, sino que se integran dentro de las relaciones de los objetos del modelo. Esto incluye tanto las relaciones de materiales, como de elementos constructivos, recursos de mano de obra y maquinaria.

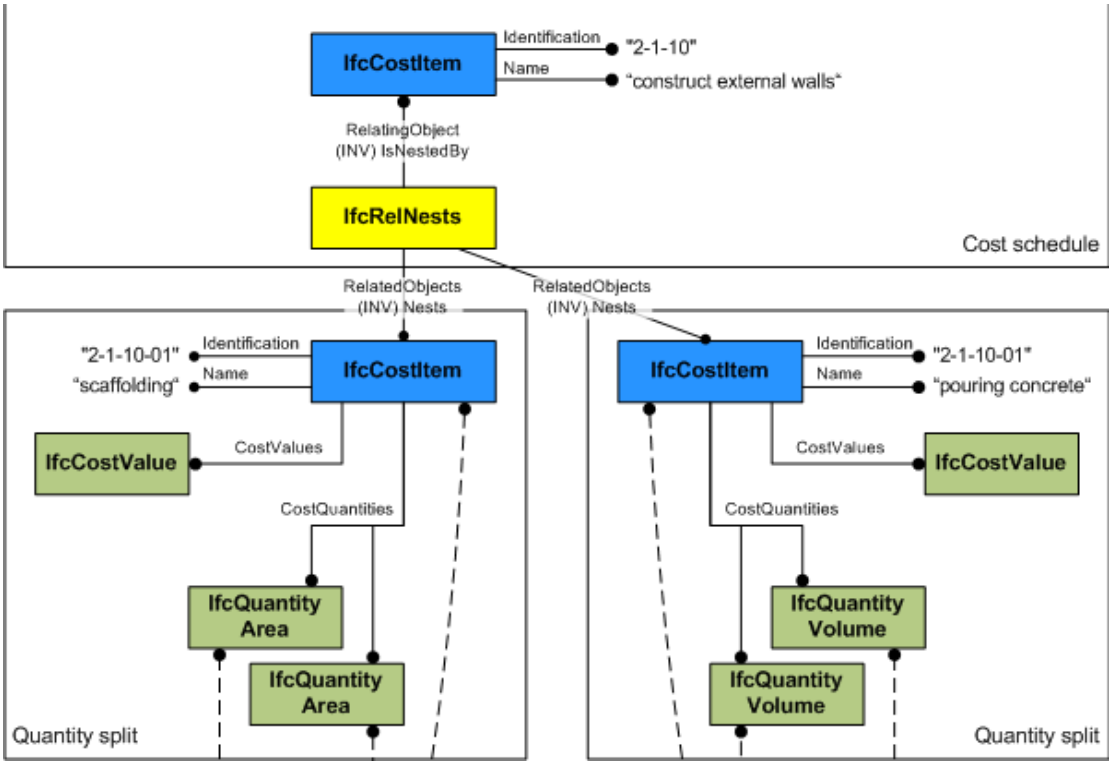


Fig. 1 – Especificación técnica del concepto IfcCostItem. Fuente: buildingSMART (2024)

Uno de los componentes clave de esta estructuración es el uso de las relaciones IfcRelNest, que permiten organizar los distintos elementos de un proyecto en una jerarquía de componentes relacionados. Estas relaciones permiten vincular un elemento del modelo, como un muro o una columna, con sus respectivas propiedades de costos, materiales, y cantidades de obra. Las relaciones de anidamiento son fundamentales para asegurar que el modelo BIM esté completamente integrado, de manera que cualquier cambio realizado en un elemento estructural o en sus componentes asociados se refleje automáticamente en las estimaciones de costos.

En términos específicos de gestión de costos, los siguientes parámetros IFC son fundamentales:

- IfcCostItem: Este parámetro representa los elementos de costo asociados a actividades específicas o componentes dentro del modelo. A través de este parámetro, se pueden definir los costos de mano de obra, materiales y otros gastos que se asocian a un elemento o una actividad específica del proyecto.
- IfcQuantityResource: En este caso, el parámetro hace referencia a las cantidades de obra asociadas a cada uno de los elementos constructivos del proyecto, como el volumen de concreto o las unidades de ladrillos. Estos parámetros pueden vincularse directamente con los elementos del modelo, facilitando una gestión dinámica y precisa de las cantidades de obra.

BY-NC-SA

- IfcConstructionMaterialResource: este parámetro gestiona los recursos materiales dentro del modelo BIM, como ladrillos, barras de acero, cemento, entre otros. A través de las relaciones IfcRelNest, estos materiales se pueden asociar a los elementos del proyecto que los requieren, asegurando una correcta distribución de costos y evitando duplicidades de datos.

En el contexto de este caso práctico, la utilización de IfcRelNest junto con los parámetros IfcCostItem y IfcConstructionMaterialResource facilita una gestión más eficiente de los costos, al mantener una estructura coherente y actualizada a lo largo del proyecto. De esta manera, los recursos materiales, las cantidades y los costos asociados a cada elemento están perfectamente alineados, lo que mejora la precisión de las estimaciones y la toma de decisiones durante todo el ciclo de vida del proyecto.

La integración de los costos dentro de los modelos BIM a través de IFC y el uso de relaciones entre parámetros representa una evolución significativa en la gestión de proyectos de construcción. La capacidad de organizar y vincular datos de manera jerárquica dentro del modelo asegura una mayor precisión, eficiencia y transparencia en la estimación y el control de costos. Al centralizar toda la información relevante dentro del modelo BIM, se optimiza la planificación y ejecución del proyecto, reduciendo riesgos y mejorando la colaboración entre los distintos equipos de trabajo.

2. **Premisa inicial y enfoque del estudio**

La presente investigación parte de la premisa de que la implementación de herramientas de código abierto para la generación de presupuestos a partir de modelos IFC representa una alternativa viable y eficiente frente a las soluciones basadas en software propietario. Este enfoque no solo permite reducir costos asociados a licencias y suscripciones, sino que también fomenta una mayor accesibilidad y flexibilidad en la gestión de información dentro de entornos BIM. Además, el uso adecuado y estructurado de parámetros IFC para la integración de datos de costos en los modelos digitales posibilita una optimización significativa del tiempo y los recursos invertidos en la planificación y ejecución de proyectos de construcción. Esto se traduce en una mejora en la precisión de los cálculos presupuestarios, una mayor transparencia en la gestión financiera y un control más eficiente de los costos a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Sobre esta base, el estudio se enfoca en la exploración y análisis de la integración de parámetros de costos dentro de los modelos BIM a través del estándar IFC. Se investiga cómo los atributos y propiedades existentes en IFC pueden ser utilizados y adaptados para albergar datos de costos de manera estructurada, estableciendo vínculos directos entre la información financiera y los elementos constructivos modelados. Asimismo, se examina la viabilidad de estos procesos mediante la realización de pruebas y simulaciones que permitan evaluar su efectividad en escenarios reales.

Adicionalmente, la investigación aborda la interoperabilidad entre diferentes plataformas BIM, un aspecto fundamental para garantizar la coherencia y continuidad de los datos de costos en todas las etapas del proyecto. Se analiza cómo distintos softwares BIM, tanto de código abierto como propietario, manejan la información de costos basada en IFC y qué desafíos surgen en la transferencia de datos entre sistemas. De esta manera, se busca establecer estrategias para mejorar la compatibilidad y optimizar los flujos de trabajo colaborativos dentro del ecosistema BIM, promoviendo así una gestión de costos más eficiente y precisa en el sector de la construcción.

3. **Metodología y desarrollo**

3.1. **Análisis de los Parámetros IFC para la Gestión de Costos**

El primer paso en el desarrollo de esta metodología consiste en un análisis detallado del formato IFC (Industry Foundation Classes) para identificar los parámetros clave que permiten la integración de datos de costos en los modelos BIM. El IFC es un estándar abierto, ampliamente utilizado en entornos BIM para el intercambio de información estructurada entre diferentes herramientas y plataformas. Su flexibilidad permite

 BY-NC-SA

la incorporación de información geométrica, materiales y propiedades específicas de los elementos constructivos, aunque la gestión de datos económicos sigue siendo un área en desarrollo.

El estudio de la estructura y sintaxis del formato IFC permite determinar la forma más eficiente de incorporar costos sin alterar la integridad del modelo. Como resultado, se identifican los parámetros IfcCostItem, IfcCostValue, IfcLaborResource e IfcConstructionMaterialResource, esenciales para la vinculación de datos económicos con los elementos constructivos.

Se realiza una prueba inicial mediante la edición manual de archivos .IFC editando directamente el documento en lenguaje STEP para comprobar si la información de costos puede agregarse sin afectar la interoperabilidad del modelo con diversas plataformas BIM. A partir de estos experimentos, se concluye que la estructura del IFC permite la incorporación de datos presupuestarios, pero requiere un proceso sistemático para evitar errores en la interpretación de los datos al ser importados en distintas herramientas.

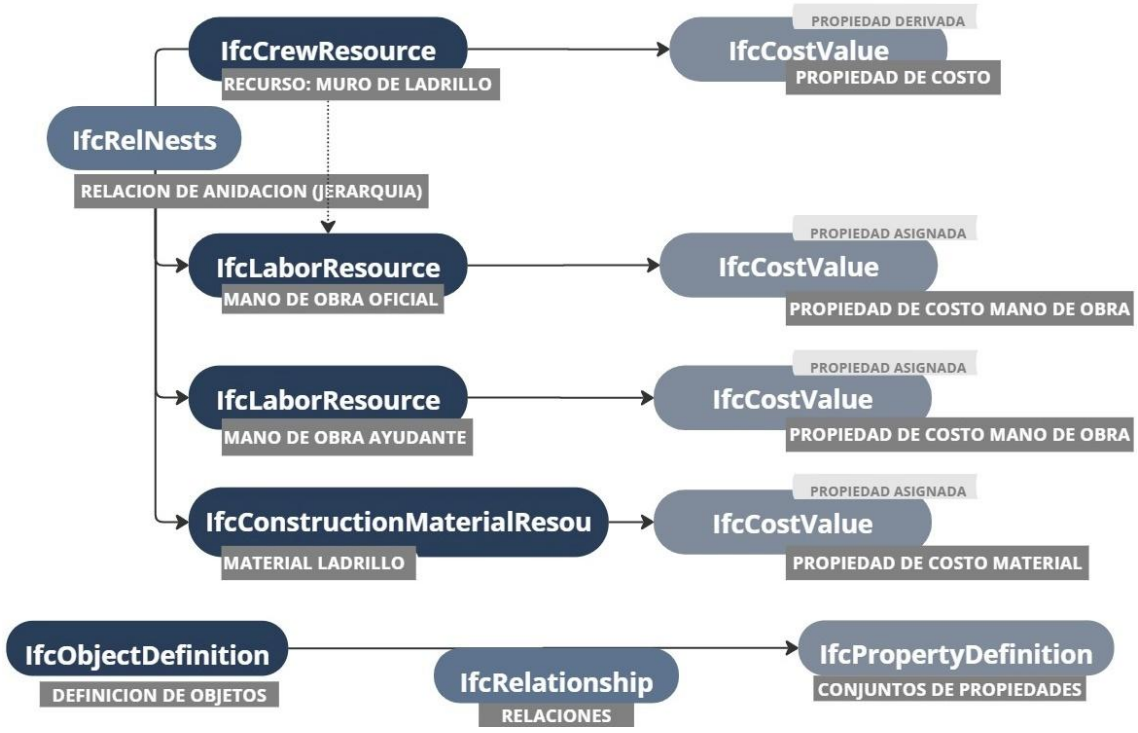


Fig. 2 – Esquema IFC aplicado a la gestión de costos. Fuente: Elaboración propia (2024)

Además, se exploran las limitaciones inherentes al IFC en términos de costos, destacándose la falta de un estándar completamente definido para presupuestos detallados. Se identifica que, si bien ciertos elementos pueden contener valores unitarios de costo, la relación entre costos y elementos modelados no siempre es automática ni consistente entre distintas plataformas BIM.

Finalmente, esta fase permite establecer las bases para la integración de costos en IFC, (ver Figura 2) evidenciando que la correcta estructuración de los parámetros financieros en un entorno OpenBIM reduce la duplicidad de datos y mejora la precisión de las estimaciones presupuestarias.

3.2. **Exploración y Evaluación de Herramientas disponibles**

Para evaluar la viabilidad de la integración de costos en modelos BIM dentro de un entorno OpenBIM, se lleva a cabo un análisis exhaustivo de diversas herramientas de software. El objetivo principal fue identificar qué soluciones tecnológicas permiten una gestión eficiente y flexible de costos sin depender de software propietario, favoreciendo la interoperabilidad y el uso de estándares abiertos.

Este estudio se desarrolló a través de un proceso iterativo de prueba y error, en el que se exploraron múltiples enfoques y herramientas antes de alcanzar una metodología efectiva para la integración de costos

BY-NC-SA

en modelos BIM dentro de un entorno OpenBIM. A lo largo de esta investigación, fue necesario probar distintas soluciones, retroceder, ajustar metodologías y volver a evaluar los resultados, repitiendo este ciclo en numerosas ocasiones hasta dar con una estrategia que combinara automatización, flexibilidad y precisión en la gestión de costos.

Se identificaron herramientas como TCQ (ITeC), que representa un avance respecto a PRESTO al permitir la vinculación de presupuestos en formato BC3 con modelos IFC. Esta integración posibilita la extracción de cantidades directamente desde el modelo BIM y su asociación con partidas presupuestarias. No obstante, el proceso sigue siendo externo al modelo, lo que implica que la información económica se vincula por medio de un archivo externo (BC3), sin incorporar la información al propio archivo IFC.

El proceso comenzó con la exploración del software Blender, junto con su extensión Bonsai, como una alternativa accesible para la manipulación de modelos IFC sin necesidad de licencias costosas. En la fase inicial de pruebas, se logró asignar costos unitarios a elementos constructivos como muros y columnas. Sin embargo, se detectó una limitación significativa: los valores económicos asignados no estaban vinculados dinámicamente con las dimensiones de los elementos, lo que generaba inconsistencias en el cálculo del presupuesto cuando se modificaban las geometrías.

Este estudio se desarrolló a través de un proceso iterativo de prueba y error, en el que se exploraron múltiples enfoques y herramientas antes de alcanzar una metodología efectiva para la integración de costos en modelos BIM dentro de un entorno OpenBIM. A lo largo de esta investigación, fue necesario probar distintas soluciones, retroceder, ajustar metodologías y volver a evaluar los resultados, repitiendo este ciclo en numerosas ocasiones hasta dar con una estrategia que combinara automatización, flexibilidad y precisión en la gestión de costos.

En un tercer intento por mejorar la automatización, se experimentó con la importación de datos de costos mediante archivos CSV, lo que permitió la asignación masiva de valores económicos dentro de Blender-Bonsai. Esta técnica redujo el esfuerzo manual y facilitó la actualización de costos en modelos de pequeña escala. Sin embargo, en proyectos más complejos, se encontró que la relación entre partidas presupuestarias y elementos modelados no era óptima, lo que generaba dificultades en la trazabilidad y coherencia de los datos.

Finalmente, como conclusión de esta fase, se determinó que una solución ideal debe combinar la flexibilidad del formato IFC con una capacidad robusta de actualización automática de costos dentro del modelo BIM. Se identificó que el uso de herramientas de código abierto es viable, pero requiere una optimización en la estructura de datos para garantizar una interoperabilidad eficaz y mantener la consistencia de la información presupuestaria en todo el ciclo de vida del proyecto.

3.3. **Desarrollo de un Proceso de Integración Automatizada**

A partir de los hallazgos obtenidos en la exploración de herramientas, se diseñó un procedimiento estructurado en dos fases para lograr la integración automatizada de costos en modelos BIM a través del formato IFC. El objetivo principal de esta fase fue minimizar la intervención manual y mejorar la coherencia entre el modelo digital y su presupuesto.

3.3.1. Fase 1: Automatización de la Importación de Costos

La primera fase se centró en el desarrollo de un flujo de trabajo que permitiera la importación automática de las partidas presupuestarias desde un archivo externo de información tabulada mediante archivos CSV. Esta solución eliminó la necesidad de ingresar manualmente cada partida presupuestaria y redujo significativamente el riesgo de errores asociados a la gestión manual de costos.

BY-NC-SA

3.3.2. Fase 2: Vinculación de Costos en IFC

En la segunda fase, se implementó un parámetro tabulado que, mediante un sistema de filtros en Blender-Bonsai, generaba un “query” dinámico capaz de identificar elementos específicos dentro del esquema IFC. Esta metodología permitió establecer una asociación directa entre los costos y los elementos del modelo BIM, garantizando que cada componente del presupuesto estuviera correctamente vinculado a su correspondiente elemento constructivo.

Una vez desarrollado este proceso, se llevaron a cabo pruebas en diversos entornos de software OpenBIM para validar la correcta lectura y asignación de costos dentro de los modelos IFC. Los resultados confirmaron que la estructura propuesta mantenía la integridad de los datos económicos sin comprometer la interoperabilidad del modelo, permitiendo una sincronización eficiente entre el diseño y la gestión financiera del proyecto.

3.4. **Validación**

Para evaluar la efectividad de la metodología desarrollada, se decidió aplicar el proceso a un modelado simplificado, centrado en un simple muro de ladrillos. Este enfoque permitió comprobar la viabilidad del método y realizar ajustes para optimizar su implementación en proyectos más complejos.

Con el fin de analizar de manera detallada la estructura de costos y validar la correcta asignación de datos económicos en el modelo BIM, se redujo intencionadamente la complejidad arquitectónica del modelo, limitándolo a una estructura básica. Esta simplificación facilitó la visualización de la información no gráfica y permitió comprobar la integridad del flujo de trabajo sin interferencias externas.

Para la estructuración de las partidas presupuestarias, se utilizó una plantilla de Excel, cuyos datos fueron exportados en formato CSV e importados a Blender-Bonsai (ver Tabla 1). Este proceso permitió la asignación automática de valores de costo a los elementos del modelo IFC, eliminando la introducción manual de datos y reduciendo significativamente el margen de error en la gestión presupuestaria.

Tabla 1. Estructuración de partidas presupuestarias en CSV para importación. Fuente: Elaboración propia (2024)

Hierarchy	Id.	Name	Qty.	Unit	Contract	Rate	Mat. Cost	Labor Cost	Sub total	Property	Query
1	WZB	WeZigBuilding									
2	WZB.1	Albañilería									
3	WZB.1.1	Muro de Ladrillo Doble								NetArea	IfcWall
4	WZB.1.1	Materiales									
5	WZB.1.1.1	Ladrillo h. doble 25x12x8	94	UNIT			0.17				
5	WZB.1.1.2	Mortero	0.04	M3			84.8				
4	WZB.1.2	Mano de Obra									
5	WZB.1.2.1	Oficial Especializado	0.96	HOUR				17.06			
5	WZB.1.2.2	Oficial ayudante	0.48	HOUR				16.56			

Uno de los aspectos más relevantes evaluados en esta fase es la capacidad de actualización dinámica del presupuesto. Se realizaron modificaciones en el modelo, como cambios en dimensiones y sustitución de materiales, verificando que los costos se ajustaran automáticamente sin necesidad de intervención manual. Esta funcionalidad implementada a grandes proyectos representaría una mejora significativa en la eficiencia de la gestión presupuestaria dentro del entorno BIM.

BY-NC-SA

El archivo .CSV que arriba se detalla, fue incorporado en el archivo .IFC a través de Blender-Bonsai, dando como resultado un esquema que tiene incorporados los parámetros de costos, totalmente legible e interpretable con todas sus relaciones, visualizable tanto en lenguaje STEP como en Blender.

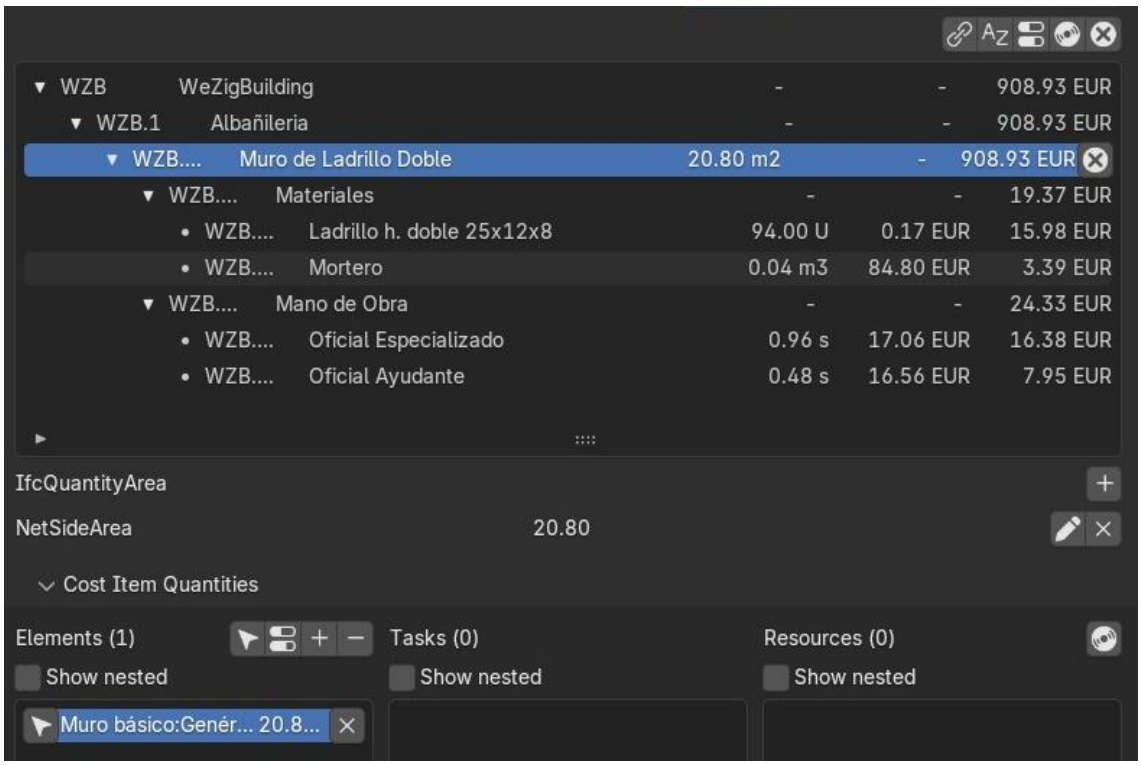


Fig. 3 – Visualización de los parámetros de costos y sus relaciones en Blender. Fuente: Elaboración propia (2024)

Finalmente, se validó la interoperabilidad de la solución en diferentes plataformas compatibles con IFC, como Blender-Bonsai y BIMcollab (ver Figura 4). Los resultados demostraron que la metodología desarrollada es escalable y adaptable, convirtiéndose en una alternativa viable para la gestión automatizada de presupuestos en proyectos BIM de cualquier envergadura.

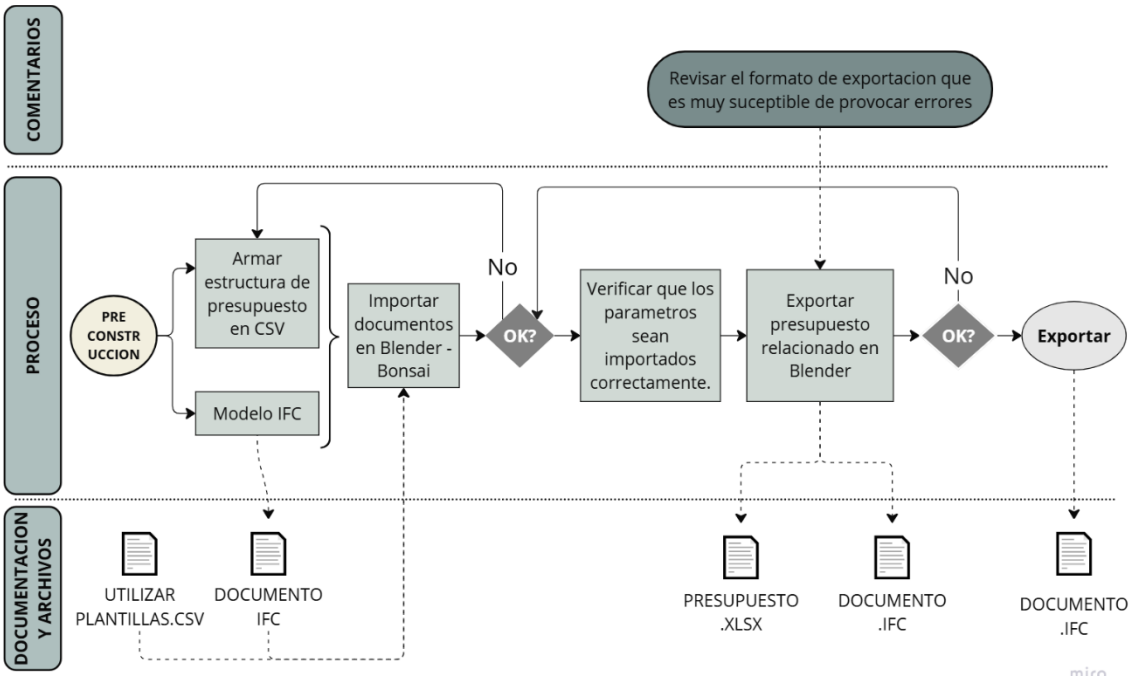


Fig. 4 – Proceso final de flujo de información. Fuente: Elaboración propia (2024)

BY-NC-SA

4. **Conclusión**

La implementación de BIM como un sistema integrado en la gestión de costos ha demostrado ser una estrategia altamente efectiva para optimizar procesos, reducir errores y mejorar la toma de decisiones financieras en proyectos de construcción.

Aunque algunas herramientas comerciales permiten gestionar costos en proyectos BIM desde el uso de archivos IFC, el enfoque que siguen hace depender la información de archivos externos, sin integrar la información de costes dentro de las clases contempladas para ello en el esquema IFC. Esta investigación demuestra que es posible estructurar los datos de costos dentro de IFC sin necesidad de software adicional, facilitando la automatización y optimizando la interoperabilidad en entornos OpenBIM.

A lo largo de esta investigación, se ha evidenciado que la automatización y la interoperabilidad entre plataformas permiten una gestión más eficiente y precisa de los costos, minimizando la dependencia de procesos manuales y propensos a errores. Entre los principales beneficios encontramos:

Ahorro de tiempo y reducción de errores, gracias a la automatización en la actualización de costos lo que permite minimizar la intervención manual, para reducir los tiempos de procesamiento y mejorar la precisión en la introducción y gestión de los datos.

Interoperabilidad entre software: la adopción de estándares abiertos ha facilitado la integración fluida de información entre diversas plataformas BIM, interoperabilidad que permitió trabajar con múltiples herramientas sin comprometer la consistencia de los datos.

Optimización del uso de software libre: refuerza la accesibilidad y la flexibilidad tecnológica, reduciendo costos operativos y promoviendo la adopción de soluciones innovadoras en la industria.

Mayor eficiencia en la gestión financiera: la capacidad de planificar costos en tiempo real, con actualizaciones dinámicas reflejadas en el modelo, mejorando toma de decisiones financieras y permitiendo ajustes ágiles y precisos en función de las necesidades del proyecto.

Flujo continuo de trabajo: Contar con un esquema unificado para la gestión de datos en nuestro sector evitando la fragmentación de archivos y mejorando la coherencia en la planificación y ejecución de proyectos.

No obstante, la implementación de BIM en la gestión de costos aún presenta desafíos técnicos y metodológicos. La curva de aprendizaje en el manejo del lenguaje IFC ha requerido un esfuerzo adicional en formación y adaptación, mientras que la vinculación de parámetros en ciertas plataformas sigue representando un reto para lograr una automatización completa. La falta de estándares definidos para la gestión de costos en IFC ha generado inconsistencias, lo que resalta la necesidad de desarrollar normas más claras y universales. Adicionalmente, la adaptación de flujos de trabajo tradicionales a metodologías automatizadas ha requerido cambios tanto técnicos como culturales dentro de los equipos de trabajo, promoviendo una evolución en la forma en que se gestionan los costos en la construcción.

5. **Perspectivas futuras**

El futuro de la gestión de costos mediante la metodología BIM (Building Information Modeling) podría estar marcado por una creciente automatización, estandarización e integración de datos, lo cual tiene el potencial de transformar profundamente la forma en que se gestionan los costos en la construcción. En un escenario ideal, el avance continuo de las herramientas BIM podría llevar a la creación de plataformas más intuitivas y accesibles, lo que permitiría a los profesionales del sector tomar decisiones basadas en datos cada vez más precisos y actualizados en tiempo real. Esto podría reducir significativamente los errores humanos y las desviaciones presupuestarias, mejorando la eficiencia en el uso de recursos y la planificación de los proyectos.

Además, el desarrollo de estándares abiertos más sólidos y universalmente adoptados podría favorecer la interoperabilidad entre las diversas plataformas y sistemas utilizados por los diferentes actores del proyecto,

 BY-NC-SA

desde arquitectos hasta contratistas. Si estos estándares se implementaran de manera efectiva, la gestión de costos podría integrarse más completamente a lo largo del ciclo de vida del proyecto, garantizando que todos los involucrados trabajen con la misma base de datos y parámetros. La combinación de estos avances con tecnologías emergentes, como la inteligencia artificial y el análisis de grandes volúmenes de datos, podría permitir una estimación de costos aún más precisa, a la vez que facilitaría la detección temprana de posibles desviaciones, permitiendo ajustar los presupuestos en tiempo real.

En este sentido, la adopción generalizada de BIM en la gestión de costos podría evolucionar más allá de ser una simple herramienta de cálculo. En un escenario más avanzado, podría convertirse en un sistema integral de toma de decisiones que no solo influiría en la fase de planificación, sino también durante la ejecución y el mantenimiento del proyecto. La automatización de tareas repetitivas y la mejora en la colaboración entre equipos multidisciplinarios permitirían una gestión de costos más fluida, ágil y dinámica.

Una línea de investigación particularmente prometedora es la fusión del esquema BC3 con IFC. En el mercado español, el sector de la construcción emplea el formato BC3, el cual tiene características que podrían ser completamente compatibles con la incorporación de información dentro del esquema IFC. La exploración de esta integración podría mejorar la interoperabilidad entre los sistemas utilizados en la construcción, ofreciendo una mayor fluidez en el intercambio de datos y facilitando la adopción de BIM en la gestión de presupuestos. Esta integración podría proporcionar una solución más completa y adaptada a las necesidades del sector, permitiendo gestionar los costos de manera más eficiente y con un nivel de detalle más preciso.

Por lo tanto, si estos avances se materializan, la gestión de costos en la construcción podría ser mucho más accesible, eficiente y precisa en el futuro. Este cambio no solo beneficiaría a los profesionales que implementen estas tecnologías, sino que también podría generar una mayor sostenibilidad económica para el sector en su conjunto, optimizando el control de los costos y la asignación de recursos a lo largo de todas las fases del proyecto. En definitiva, la adopción de BIM en la gestión de costos no solo es viable, sino que representa una transformación clave para la eficiencia y sostenibilidad en la construcción. A medida que la tecnología y los estándares evolucionen, los profesionales del sector podrán aprovechar al máximo las ventajas de BIM, consolidándolo como un pilar fundamental en la planificación, ejecución y control financiero de proyectos constructivos.

Referencias

buildingSMART**.** (2024). *IFC - Industry Foundation Classes*. https://www.buildingsmart.org/standards/ifc/ [Consulta: 22 de febrero de 2025].

ITeC. (2024). *TCQ: Software de gestión de costes en construcción*. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.

Shen, W., & Issa, R. (2020). Evaluación cuantitativa del impacto de BIM en la estimación de costos detallada. Buildings, 12(396).

Lee, C., & Kim, K. (2020). *Ontology-based inference model for cost estimation using IFC-based BIM*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 226, 193-200.

Popov, V., & Mikalauskas, S. (2019). U*so de herramientas de simulación y evaluación computacional en BIM*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 119, 475-484.

Pilger, C., & Machado, T. (2019). *Cost overruns en infraestructura vial*. Buildings, 12(396).

Niknam, M., & Karshenas, S. (2020). *Uso de herramientas web semánticas para cuantificación y estimación de costos en BIM*. Buildings, 12(396). buildingSMART. (2024).

BuildingSMART (2024) *IFC Cost Item Assignment (Figura 1)*. https://standards.buildingsmart.org/IFC4_3/ifccostitem-assignment.png. [Consulta: 22 de febrero de 2025].

 BY-NC-SA

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen chatgpt4 en la plataforma https://chatgpt.com/, para la redacción de contenido, la revisión y mejora de estilo, la síntesis o resumen de información y el formateado de referencias bibliográficas.

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación.

BY-NC-SA

INTEGRACIÓN EFICIENTE DE NUBES DE PUNTOS Y FOTOS 360 EN REVIT Y ACC: METODOLOGÍA OPTIMIZADA PARA MODELADO AS-BUILT, ACCESIBILIDAD COLABORATIVA Y GESTIÓN DE PROYECTOS

Royo-Espinosa, Javier; Aguilar-Ramos, Enrique; Tabanera-Asensio, Francisco.
Madrid (BIM Assets, Modelical, España), javier.royo@modelical.com; enrique.aguilar@modelical.com; francisco@modelical.com;

Abstract

The integration of point clouds into Revit redefines asset surveying and construction tracking, addressing challenges such as managing large files and ensuring precise visualization in complex models. Common issues, like misalignment due to a lack of knowledge about Revit's internal reference points, impact efficiency. This approach offers solutions such as segmenting point clouds by levels or zones and selectively activating data, optimizing performance without compromising accuracy. Additionally, it integrates 360-degree photos captured during scanning, accurately positioned within the model, and linked through Autodesk Construction Cloud (ACC). This enables real-time visual comparison with the built reality without opening Revit. These innovations enhance collaboration and simplify access to information throughout all project phases. Revit and ACC deliver more agile and precise workflows, maximizing value in managing complex construction projects.

Keywords*: Point clouds, 360 photos, Revit, Autodesk Construction Cloud (ACC), Model integration, Workflows, Construction project management.*

Resumen

La integración de nubes de puntos en Revit redefine el levantamiento de activos y el seguimiento de obra, resolviendo desafíos como la gestión de archivos grandes y la visualización precisa en modelos operativos. Problemas comunes, como la mala alineación por desconocimiento de los puntos de referencia internos de Revit, afectan a la eficiencia. Este enfoque propone soluciones como segmentar las nubes por niveles o zonas y activar datos selectivamente, optimizando el rendimiento sin comprometer la precisión. Además, se incorpora la integración de fotografías 360 capturadas durante el escaneo, que se posicionan con precisión dentro del modelo y se vinculan mediante Autodesk Construction Cloud (ACC). Esto permite realizar una comparación visual en tiempo real con la realidad construida, sin necesidad de abrir Revit. Estas innovaciones mejoran la colaboración y simplifican el acceso a la información durante todas las fases del proyecto. Revit y ACC proporcionan flujos de trabajo más ágiles y precisos, maximizando el valor en la gestión de proyectos complejos de construcción.

Palabras clave: *Nubes de puntos, Fotografías 360, Revit, Autodesk Construction Cloud (ACC), Integración de modelos, Flujos de trabajo, Gestión de proyectos de construcción.*

 BY-NC-SA

Introducción

Las nubes de puntos, junto con la consulta de fotos 360, permiten modelar de manera eficiente y precisa el estado as-built, reduciendo considerablemente el tiempo necesario de una toma de datos y medidas in situ. A diferencia de los métodos tradicionales de los levantamientos de datos, que son lentos y propensos a errores debido a la medición y digitalización manual, el uso de escáneres y nubes de puntos permite un proceso más rápido y eficaz. Escanear y ensamblar las nubes es un proceso necesario para la digitalización de grandes superficies. Hemos aplicado esta metodología en proyectos que suman más de un millón de metros cuadrados, demostrando su eficacia en muchos proyectos y varios en proyectos de gran escala.

Se presentará un flujo de trabajo probado a lo largo de muchos proyectos, que permite una integración optimizada desde el escaneo, registro, análisis, modificación y estudio de la nube de puntos, hasta su vinculación y empleo para el modelado BIM de condiciones actuales. Se detallarán los errores más comunes junto con estrategias para evitarlos o solventarlos

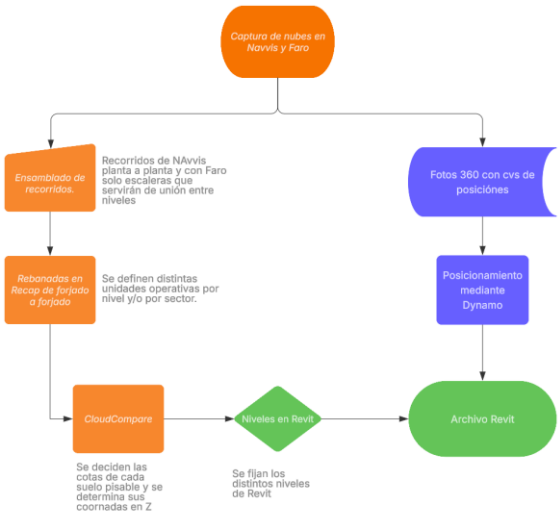


Fig. 1 Flujo de trabajo para conformar el modelo de Revit donde modelar con nubes y fotos 360.

Las ventajas en la ligereza del archivo y la fácil accesibilidad de datos con este método se vuelve muy necesario en proyectos de gran tamaño, como el levantamiento de centros comerciales o seguimiento de infraestructuras, donde la agilidad en el modelado y en la consulta de datos es crucial. Gestionar las nubes de puntos como recursos agiles es esencial para optimizar el trabajo de todos los involucrados en el proyecto. Cada participante, según su rol, necesitará consultar los datos con distinta precisión, ya sea para modelar, evaluar trabajos o tomar decisiones. Esto implica la capacidad de acceder a estos recursos tanto de manera local como online de forma eficiente, lo que garantiza que todos los miembros del equipo puedan acceder a la información necesaria.

Se aportarán ejemplos de cómo se evitan los errores comunes de empresas de escaneados que aportan modelos mal ensamblados con duplicidades, en coordenadas UTM no necesarias (con su alto peso y falta de precisión por redondeo) y sin control de coordenadas locales en XYZ. Procedimiento comentado en la referencia de Óscar Herrero (2024).

Para ello lo principal es tener una buena mecánica de ensamblado en el que las escaleras escaneadas exclusivamente en Faro sirven como espina dorsal sobre la que montar los distintos niveles escaneados con Navvis.

En el proceso mediante Cloud Compare veremos como se fijan las verdaderas alturas a las que se han ejecutado los distintos niveles de suelo y como eso puede discrepara de la documentación en CAD.

BY-NC-SA

1**. Metodología**

La metodología más eficaz para este proceso en el diagrama en el punto 1 de la introducción consiste en una combinación de escaneos fijos de Faro y los dinámicos como los Navvis junto con sus fotos 360 generadas de manera automática durante el proceso de escaneo. Estas fotos se usan posicionándolas en el modelo, sirviendo de consulta clara no solamente para colorear cada punto de la nube escaneada. Esta tecnología, que ya está incorporada en los escáneres más avanzados, facilita el modelado y la visualización en plataformas como Revit y ACC. La ventaja de integrar las fotos 360 en los modelos garantiza que puedan representar fielmente la realidad capturada por los escáneres.

Fig. 2 Tecnología de captura móvil. Fuente: Navvis, (2024)

El procesamiento de las nubes de puntos se realiza mediante herramientas como Recap y CloudCompare, un software gratuito que permite analizar las distancias de las nubes en relación con modelos o geometrías básicas. Utilizando filtros de gradientes de color, se pueden generar estadísticas precisas sobre las distancias y alturas de los distintos niveles del edificio, lo cual facilita la toma de decisiones para la definición de la arquitectura y estructura del proyecto. Esta precisión es clave para que los modelos sean útiles y representen fielmente el estado real de la construcción.

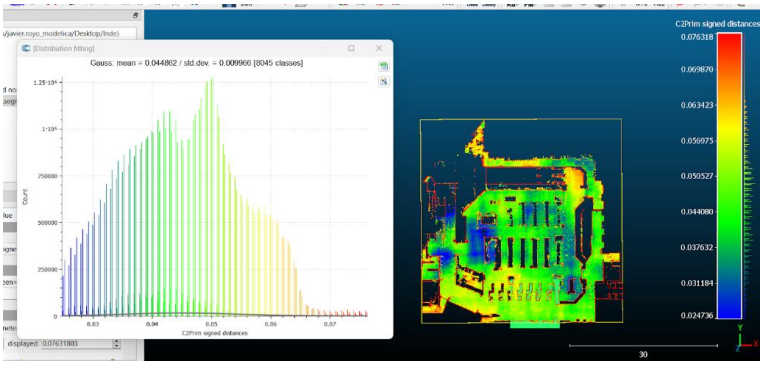


Fig. 3 Estudio de distancias en una planta o nivel. Fuente: Cloud Compare (2024)

La segmentación de las nubes de puntos se realiza utilizando software como Recap, que permite hacer recortes con facilidad, siempre que se tengan claros los valores numéricos necesarios para segmentar correctamente. Además, es fundamental trabajar adecuadamente con los formatos RCP y RCS para exportar e importar los datos, asegurando así la integridad y compatibilidad de la información. Un paso esencial en este proceso es la definición del punto de origen, el 0,0,0, que debe estar claro desde el inicio para evitar problemas de alineación y garantizar que las nubes de puntos y los modelos se integren de manera correcta.

BY-NC-SA

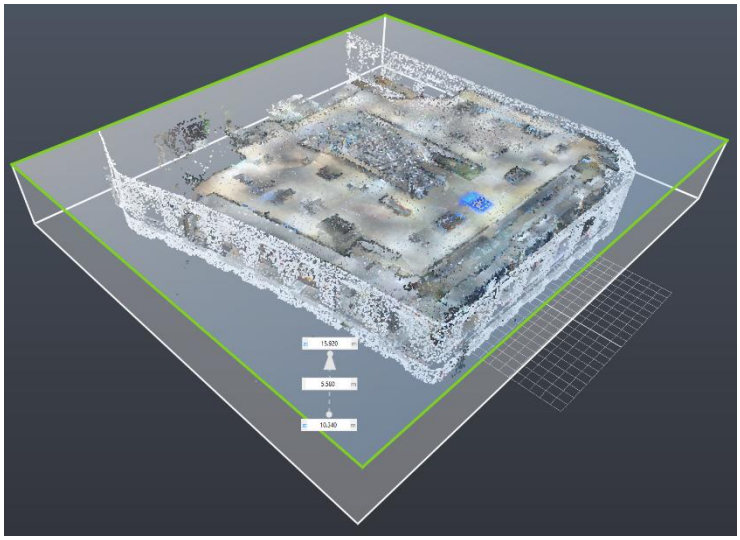


Fig. 4 División de zona y/o planta de una nube de puntos. Fuente Recap (2024)

Las dificultades de este método radican en la necesidad de tener un buen “cosido de nubes” y de establecer una posición de 0,0,0 en el modelo. Muchos proveedores se desentienden de estos requisitos clave y requieren muchas horas de ajuste. Estas pautas dadas desde el inicio hacen que todo se desarrolle con mucha más velocidad y seamos capaces de abordar más proyectos en menos tiempo.

Se contará con ejemplos en los que sin una captura dinámica hubiera sido imposible registrar la variación de alturas de una cubierta compleja en un edificio histórico:

Fig. 5 Nube de puntos y fotos 360 junto con el modelado hecho en Revit y Rhino.

2. **Resultados**

La integración de nubes de puntos y fotos 360 en los modelos de Revit optimiza significativamente los flujos de trabajo, permitiendo un modelado más eficiente y una visualización precisa sin la necesidad de cargar modelos pesados. Esta metodología no solo reduce el tiempo y los recursos necesarios, sino que también facilita la verificación y comparación entre el modelo digital y la realidad capturada. Al combinar la nube de puntos, las fotos 360 y el modelo digital, se logra una representación más fiel y completa del entorno, lo que eleva tanto la calidad del modelado como la toma de decisiones a lo largo de la vida útil del proyecto.

BY-NC-SA

Fig. 6 Nube de puntos con fotos 360 integradas en Revit. Fuente Revit (2023)

La visualización detallada en plataformas como ACC o Revit permite a los equipos de trabajo examinar con precisión el proyecto, facilitando la comparación directa entre lo modelado y lo capturado. Este proceso asegura una mayor fiabilidad en la ejecución del proyecto, minimizando los márgenes de error. Además, contribuye a mejorar la colaboración y coordinación entre los distintos equipos, lo que incrementa la eficiencia general del proyecto y optimiza la toma de decisiones a medida que el trabajo avanza.

Esta integración también refuerza la gestión del proyecto al proporcionar una visión más clara y accesible de los datos, permitiendo un control más preciso de las tareas y garantizando que todos los involucrados estén alineados en cuanto a la interpretación de la realidad construida.

La integración de nubes de puntos y fotos 360 en Revit plantea varios desafíos técnicos. Uno de los principales retos es la alineación precisa entre los datos capturados y el modelo digital. Aunque herramientas como CloudCompare permiten comparar el modelo con la nube de puntos, la supervisión humana sigue siendo esencial para identificar divergencias y ajustar las tolerancias necesarias. Es fundamental contar con un equipo experimentado que pueda detectar y corregir estas diferencias, asegurando que el modelo final se ajuste con precisión a la realidad.

Otro desafío significativo es la optimización del rendimiento cuando se manejan grandes volúmenes de datos, lo que puede ralentizar los procesos de modelado y visualización. Para solucionarlo, se recomienda segmentar la nube de puntos por zonas de distinto interés, otorgando mayor densidad a las áreas que requieren un mayor nivel de detalle, como las escaleras o los elementos arquitectónicos complejos. Y seguir una estrategia de "diezma al exportar" la nube de puntos permite mantener la calidad del modelo sin sobrecargar los sistemas con datos innecesarios.

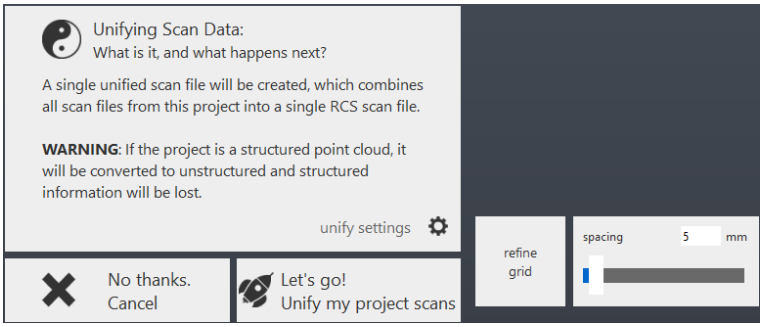


Fig. 7 Parámetros de exportación de Recap. Fuente: Recap B (2024)

En cuanto al hardware, es crucial contar con equipos adecuados para trabajar con grandes nubes de puntos y fotos 360. La integración de estas tecnologías en plataformas como Revit y ACC permite una gestión más eficiente de los datos, evitando la necesidad de utilizar múltiples sistemas para consultar y visualizar la nube, el modelo y las fotos. Esta centralización del trabajo facilita la colaboración y reduce los tiempos de consulta y modelado.

BY-NC-SA

3. **Conclusiones**

La integración de nubes de puntos y fotos 360 ha demostrado ser un factor clave en la mejora de la colaboración y la eficiencia en proyectos de gran escala. Un ejemplo claro de su eficacia es el levantamiento de más de un millón de metros cuadrados en centros comerciales para el sector retail, lo que ha permitido un control más preciso de los proyectos y una ejecución más ágil. Esta metodología ha permitido una mejora notable en la gestión de los proyectos de construcción, garantizando resultados más rápidos y precisos.

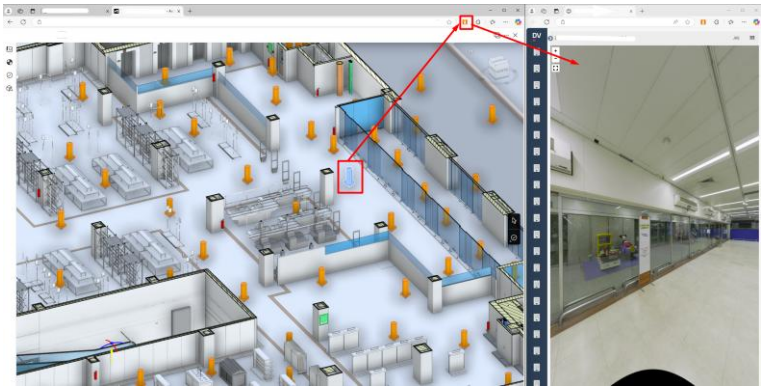


Fig. 8 Integración de fotos 360 en ACC con la extensión. Fuente: Chrome y ACC (2025)

Como cuenta Francisco Tabanera (2024) en la referencia de modelado automático a partir de nubes de puntos, el potencial del machine learning con herramientas como Aurivus Cupix o Cyclone 3DR también está avanzando en áreas como el reconocimiento automático de objetos y el posicionamiento de elementos dentro de los modelos, lo que facilita la comparación y detección de desviaciones geométricas entre la nube de puntos y los modelos digitales. Estas herramientas que no necesitamos desarrollar nosotros internamente, sino que están en el mercado, no solo mejoran la calidad del modelado, sino que también proporcionan información detallada sobre zonas clave y cambios en el proyecto, lo que mejora la gestión y control de este.

De cara al futuro, la incorporación de inteligencia artificial en programas como Aurivus y Cyclone 3DR. Así como el Internet de las Cosas (IoT) en el mantenimiento autónomo de modelos 3D promete optimizar aún más el flujo de trabajo. Esta innovación garantizará que los modelos se mantengan actualizados sin intervención manual, lo que representa un paso significativo en la evolución de la gestión de proyectos de construcción, asegurando que los activos sean gestionados de manera más eficiente a lo largo de su ciclo de vida.

Referencias

Óscar Herrero (2024). *Modelado de Condiciones Existentes.* <https://www.modelical.com/es/gdocs/nubes-de-puntos-modelado-bim-de-condiciones-existentes-en-revit/> [Consulta: 23 de julio de 2024].

Francisco Tabanera (2024). *Modelado automático a partir de nubes de puntos.*<https://www.modelical.com/es/gdocs/modelado-automatico-a-partir-de-nubes-de-puntos//> [Consulta: 23 de julio de 2024].

BIMnD (2023). *10 Consejos para usar Nube de Puntos en REVIT.*< https://www.bimnd.es/10-consejos-para-usar-nube-de-puntos-en-revit/ [Consulta: 26 de julio de 2023].

Hugo Sibué (2022). Generar y utilizar la nube de puntos 3D de un edificio.
.<https://www.mydigitalbuildings.com/es/blog/generar-y-utilizar-la-nube-de-puntos-3d-de-un-edificio>.[Consulta: 22 de febrero de 2022].

 BY-NC-SA

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen [indique aquí el nombre comercial y versión de las IA utilizadas (chatgpt4 y Gemini)] en las plataformas https://chatgpt.com/, https://gemini.google.com/app], para mejorar la redacción e interrelaciones distintos puntos.

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación.

BY-NC-SA

EXPERIENCIA REAL DE IMPLEMENTACIÓN Y APLICACIÓN BIM EN FASE DE OBRA. CASOS DE ÉXITO EN ASCH

Maldonado-Plaza, Esther; Muñoz-Vallejo, Diego
Directora, Departamento de Construcción Digital y BIM, ASCH Infraestructuras y Servicios, emaldonado@aschinfraestructuras.com; Gestor BIM, Departamento de Construcción Digital y BIM, ASCH Infraestructuras y Servicios, dmunoz@aschinfraestructuras.com

Abstract

This communication aims to share the valuable experiences of the Digital Construction and BIM Department at ASCH Infraestructuras y Servicios regarding the implementation and application of BIM methodology during the construction phase. We will outline the processes followed, the results achieved, and the specific BIM Objectives and Uses successfully met.

Our approach begins with a thorough analysis, development, and optimization of processes and workflows. We strive to identify best practices and the most suitable tools to facilitate the adoption of BIM methodologies during the construction phase, ensuring alignment with the needs and requirements specified in the Technical Specifications for each project.

Furthermore, we will show two successful case studies of BIM implementation and application on-site. These cases not only fulfilled all the requirements established in the BEP but also highlight the coordination solutions employed in each instance. The construction documentation generated from the BIM models demonstrated a level of quality and precision that significantly surpasses traditional methods, resulting in a high degree of satisfaction among all stakeholders involved.

***Keywords**: BIM, implementation, application, methodology, BIM on site, BIM processes, BIM workflows.*

Resumen

El objeto de esta comunicación es compartir la experiencia real del Departamento de Construcción Digital y BIM de ASCH Infraestructuras y Servicios en la implementación y aplicación de la metodología BIM en la fase de obra, describiendo el proceso seguido y los resultados obtenidos, así como la consecución de los Objetivos y Usos BIM específicos requeridos.

Partimos del análisis, desarrollo y optimización de los procesos y flujos de trabajo, buscando identificar las mejores prácticas y las herramientas adecuadas para facilitar la adopción de metodologías BIM en la fase de construcción del activo, acordes a las distintas necesidades y requisitos planteados en los Pliegos de Prescripciones Técnicas específicos de cada obra.

Adicionalmente, expondremos dos casos de éxito de implementación y aplicación BIM en obra, cumpliendo todos los requisitos establecidos en el BEP, en los que veremos las soluciones de coordinación aplicadas en cada caso, la documentación de construcción generada a partir de los modelos BIM, con un nivel de calidad y precisión muy superior al obtenido con métodos tradicionales, alcanzando un alto grado de satisfacción por parte de todos agentes implicados.

***Palabras clave:** BIM, implementación, aplicación, metodología, BIM en obra, procesos BIM, flujos de trabajo BIM.*

 BY-NC-SA

Introducción

La adopción de metodologías y tecnologías avanzadas se ha convertido, en el contexto actual del sector AECO, en un elemento fundamental para mejorar la eficiencia, reducir los costes y mejorar y garantizar la calidad de los proyectos. La metodología BIM, como parte de una construcción digitalizada, facilita la gestión de los activos durante todo su ciclo de vida mediante un trabajo colaborativo basado en contenedores de información.

El Plan BIM en la Contratación Pública, establece requisitos específicos y objetivos claros para la adopción de BIM en proyectos públicos licitados por la Administración General del Estado (AGE) y sus organismos públicos y entidades de derecho público vinculados o dependientes, digitalizando sus procesos y actualizando sus flujos de trabajo en cumplimiento de dicho Plan.

Nuestro objetivo no es sólo llevar a cabo la adaptación necesaria, sino adelantarnos en el tiempo a dicho Plan BIM, consiguiendo alcanzar los requisitos del Nivel BIM Integrado con anterioridad a las fechas establecidas en dicho Plan.

1. Problemas de implementación

Pese a los demostrados beneficios de la metodología, su implementación se enfrenta a varios desafíos. Muchos de ellos han sido compartidos en distintos grupos, como la Mesa de Constructoras de buildingSMART Spain, o foros, como el Congreso Internacional EUBIM.

En dichos encuentros se ha hecho hincapié en los siguientes desafíos:

- Resistencia al cambio: ciertos sectores y perfiles pueden ver la implementación como una amenaza, una metodología innecesaria o un trabajo adicional, etc.
- Falta de capacitación: la falta de formación específica para determinados perfiles ha demostrado ser una gran barrera de entrada. La implementación debe ser vista como una parte integral de la obra y no como una imposición, propiciando una sustitución de procesos.
- Interoperabilidad de software y plataformas: la diversidad de aplicaciones, formatos de archivo, etc., puede originar problemas de interoperabilidad entre distintas plataformas, lo que implica la necesidad de un sistema interno estandarizado con distintos adjudicadores.
- Problemas de comunicación: es necesario encontrar un “lenguaje” común en el que todos los agentes puedan comprender las necesidades, alcances y flujos de trabajo necesarios.

La estrategia de implementación debe lidiar con estos problemas, ya sea minimizándolos o solventándolos.

En el contexto de la implementación BIM en obra, es esperable que se produzcan o detecten otros problemas relacionados, o no, con los principales problemas detectados, que requerirán respuestas estructuradas y rápidas. Este enfoque implica que la implementación es adaptable mediante la mejora continua de procesos y flujos de trabajo.

2. Objetivos

El objetivo general es desarrollar y optimizar los flujos y entornos de trabajo para la aplicación e implementación de la metodología en obras, con el fin de adelantarse a los requisitos del Nivel BIM Integrado del Plan BIM de la AGE y satisfacer las necesidades establecidas.

Adicionalmente, tenemos los siguientes objetivos específicos:

- Identificar los flujos de trabajo actuales y aquellos que forman parte de un proceso de implementación BIM en fase de construcción: analizar las prácticas y procesos de trabajo empleados en las distintas obras de la empresa y compararlas con aquellas obras en las que el Departamento de Construcción Digital y BIM participa de forma activa.

 BY-NC-SA

- Evaluar los desafíos y limitaciones de los entornos de trabajo existentes: identificar los problemas específicos como la resistencia al cambio y proponer flujos de trabajo que reduzcan dicha resistencia, de forma que la implantación sea un proceso constante.
- Proponer estrategias y herramientas para la optimización de flujos de trabajo: desarrollar soluciones prácticas que faciliten la adopción de BIM, mejorando los procesos existentes y enfocándose en la mejora y reducción de tiempos y costes.
- Desarrollar un marco de referencia propio: crear un conjunto de directrices, protocolos y procedimientos de aplicación a diversos escenarios; un sistema que tenga en cuenta el marco normativo, pero desde una perspectiva de metodologías Ágiles o SCRUM.
- Validar las propuestas a través de casos de estudio y análisis comparativos: evaluar las estrategias implementadas a través de plantillas generadas como parte del marco de referencia, generando un sistema escalable de recopilación de información que permita su mejora y actualización continua.
- Generar métricas con KPI suficientes para que el objetivo sea considerado un objetivo SMART (Específico/Specific, Medible/Measurable, Alcanzable/Achievable, Realista/Realistic, Temporal/Time-Bound).

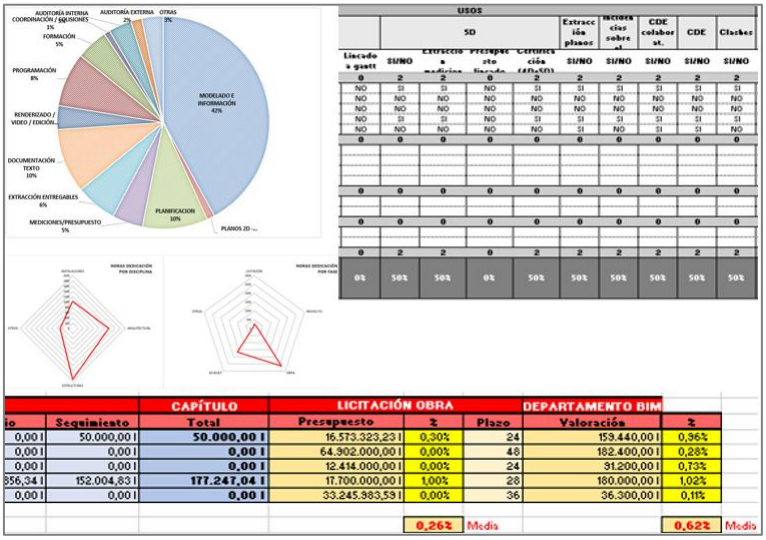


Fig. 1 Análisis semestral de KPI's de implementación

3. Metodología y actividades a desarrollar

3.1. Metodología de investigación

Se centra en la recopilación y análisis de datos cuantitativos y cualitativos provenientes de obras en curso y finalizadas. Se implementan las siguientes estrategias para obtener la información necesaria:

- Métricas de obra: recopilación de datos de rendimiento y eficiencia durante la ejecución de obras, incluyendo tiempos de construcción, costos, incidencias y cumplimiento de objetivos BIM. A través de las plantillas y documentos necesarios para realizar el seguimiento.
- Entrevistas y encuestas: realización de entrevistas y encuestas a clientes y personal de obra, enfocadas a obtener impresiones y valoraciones sobre la implementación de BIM, identificando fortalezas y áreas de mejora. Tras la identificación de las áreas de mejora se proponen acciones correctivas, a través de las plantillas y documentos necesarios para realizar el seguimiento.
- Recopilación de datos normativos: seguimiento, supervisión y recopilación de datos de las normativas y estándares BIM publicados, asegurando que el marco documental esté actualizado.
- Análisis cuantitativo y cualitativo: los datos recopilados se analizarán tanto cuantitativa como cualitativamente. Los análisis cuantitativos incluyen estadísticas descriptivas y análisis de tendencias,

 BY-NC-SA

mientras que los cualitativos se enfocan al análisis temático de las respuestas de entrevistas y encuestas.

3.2. **Procedimiento de Análisis de datos**

- Análisis estadístico: se llevan a cabo análisis estadísticos para analizar métricas de obra. Se aplican análisis de varianza, regresión y correlación para identificar patrones y relaciones significativas entre las variables. El objetivo principal es determinar si las diferencias observadas son estadísticamente significativas o resultado de una variabilidad aleatoria. Los distintos KPI que forman parte de las métricas se encuentran identificados en los documentos correspondientes del marco documental y se realizan informes de cumplimiento de objetivos internos del Departamento de Construcción Digital y BIM de forma semestral.
- Análisis temático: se utilizan técnicas de análisis de contenido para identificar temas recurrentes. Se codifican y categorizan las respuestas, buscando patrones que ayuden a centrar las acciones correctivas en las áreas de mejora identificadas.
- Comparación con normativas: evaluación del cumplimiento de las prácticas actuales con respecto a las normativas vigentes. Se identifican los posibles incumplimientos y áreas de mejora para alinear los procesos con los estándares.

3.3. **Actividades desarrolladas**

- Desarrollo de Marco Documental: conjunto de directrices, protocolos y procedimientos documentados que guían la implementación de BIM. Este marco incluye metodologías Ágiles y SCRUM, y se actualiza continuamente con datos normativos, valoraciones recabadas de las obras, así como con problemas detectados en la aplicación de procesos y flujos de trabajo.
- Desarrollo e impartición de formaciones: diseño e implementación de programas de formación para el personal involucrado en las obras. Estas formaciones, específicas y especializadas para los distintos perfiles de obra, se enfocan en mejorar las competencias técnicas y la comprensión de los flujos de trabajo.
- Fase 1: implementación inicial del marco documental y gestión de entornos comunes de datos (CDE) en proyectos piloto. Esta fase se centra en la prueba y ajuste inicial de los procesos y el establecimiento de KPI SMART para evaluar el rendimiento. Esta fase ha concluido y los resultados obtenidos generaron mejoras gracias al enfoque ágil, permitiendo el comienzo de la Fase 2 en continuidad directa.
- Fase 2: realización de una primera revisión general del marco documental, procesos y procedimientos; basado en los KPI obtenidos en la Fase 1. Se han ajustado los protocolos y flujos. En esta fase se ha llevado la implementación al siguiente nivel con el uso de plataformas de seguimiento de obra y la mejora de procesos para el cumplimiento de los Usos BIM acordados para las distintas obras.

3.4. **Estado actual del proyecto**

Las Fases 1 y 2 han concluido con la mejora del marco documental y la gestión de entornos comunes de datos a través de nuevos flujos, mejorando la trazabilidad. El cumplimiento de los usos BIM en las distintas obras mediante la metodología reflejada en el marco documental, así como las formaciones impartidas han arrojado unos KPI que servirán de base para la mejora de procesos internos.

3.5. **Métricas**

Las métricas permiten una evaluación continua y objetiva del progreso del proyecto, asegurando que los objetivos sean SMART. Se espera que los futuros resultados, fruto de las modificaciones realizadas en función de las conclusiones de la Fase 2 mejoren cuantitativa y cualitativamente los indicadores actuales. En cualquier

 BY-NC-SA

caso, los indicadores de la fase 2 han mostrado la capacidad de la metodología implantada para dar respuesta a requerimientos mayores que los establecidos por la AGE en la fase inicial del Plan BIM.

4. Implantación BIM en obras públicas

4.1. Estado actual de la implementación BIM en obras públicas

La implementación BIM en obras públicas debe estar regulada por directrices específicas, como, por ejemplo, el Plan BIM para la Contratación Pública de la AGE. Los distintos niveles del Plan establecen requisitos y objetivos claros, promoviendo la adopción de mejores prácticas y tecnologías avanzadas en unos tiempos que no pueden considerarse exigentes.

En todo caso, este Plan sólo es de obligado cumplimiento para la AGE y los organismos y entidades públicos de ámbito estatal, y es probable que las distintas administraciones autonómicas y/o locales no se adhieran, no requieran la implantación o desarrollen sus propios marcos.

En cualquier caso, desde su entrada en vigor, se ha constatado un aumento en la concreción de objetivos y requisitos BIM en las distintas licitaciones públicas.

En el contexto estricto de las obras públicas de ámbito estatal, los requisitos establecidos por el Plan BIM, principalmente en fases iniciales de implantación son genéricos y poco específicos. Esto dificulta la toma de decisiones en cuanto a las acciones a llevar a cabo en la implementación, y deja la puerta abierta a que las diferencias de requisitos entre licitaciones sean importantes.

4.2. Normativas y procedimientos aplicables

Las normativas y estándares aplicables, establecen los principios y requisitos para la gestión de la información en proyectos BIM. Estos marcos normativos guían el cumplimiento de los usos BIM en sus distintas dimensiones: 2D (documentación), 3D (modelado), 4D (gestión de tiempo), 5D (costos), 6D (sostenibilidad), y 7D (gestión de mantenimiento).

4.2.1. Normativas aplicables

En el contexto de la metodología BIM, las siguientes normativas internacionales y nacionales establecen las directrices necesarias para garantizar una correcta implementación y gestión de la información en los proyectos:

- ISO 19650-1 y 19650-2: define los principios de la gestión de información usando metodología BIM. Establece los requisitos para la organización y digitalización de la información en proyectos de construcción.
- Plan BIM en la Contratación Pública: proporciona directrices específicas para la implementación de BIM en proyectos financiados o gestionados por administraciones públicas.
- ISO 16739: estandariza el uso de formatos OpenBIM para garantizar la interoperabilidad entre herramientas.
- ISO 17549: proporciona recomendaciones para la planificación de instalaciones técnicas y de construcción.
- ISO 12006: especifica un marco común para clasificar la información en la construcción.
- ISO 7817: relacionada con la representación de geometrías y objetos en el modelo BIM.
- ISO 27001: estándar para la gestión de la seguridad de la información.

4.2.2. Protocolo del Marco documental del Departamento de Construcción Digital y BIM

El protocolo del Marco Documental define las bases para gestionar la información y coordinar las actividades en los proyectos. Proporciona una estructura sólida para gestionar proyectos BIM bajo un marco normativo,

 BY-NC-SA

asegurando el cumplimiento de los estándares y maximizando los beneficios de la metodología BIM. Su estructura se detalla en los siguientes apartados:

- BIM Book: guía general que describe las fases, tareas y estándares utilizados en los proyectos. Actúa como un marco de referencia para todas las partes involucradas.
- Plan de Movilización: documento inicial que establece los recursos humanos, de información y de producción necesarios. Incluye un cronograma tentativo para la ejecución de actividades.
- Protocolo BIM: define roles, responsabilidades y procesos relacionados con la creación, intercambio y uso de información.
- Libro de Estilo BIM: especifica normas de nomenclatura, parámetros, detección de colisiones, mediciones, planificación y exportación de modelos. Vinculado directamente a plantillas específicas.
- Protocolo de Información: regula el uso y seguridad de los datos, alineado con ISO 19650. Garantiza el correcto intercambio de información entre las partes interesadas.
- Entorno Común de Datos (CDE): plataforma digital que centraliza todos los documentos y modelos del proyecto. Permite un flujo eficiente de trabajo y la trazabilidad de la información.
- Usos BIM: define los usos del modelo en diferentes dimensiones (2D, 3D, 4D, 5D, 6D y 7D).

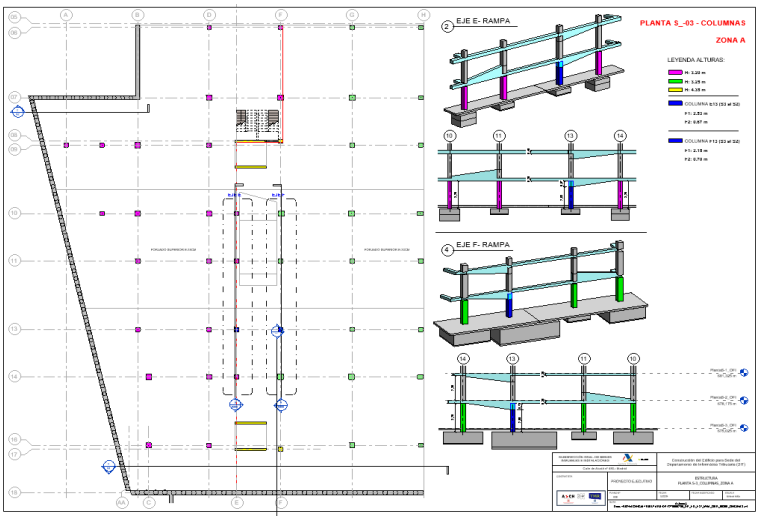


Fig. 2 Cumplimiento de usos 2D y 3D

- Control de calidad y detección de interferencias: implementación de procesos para evaluar la calidad del modelo, identificar errores y corregir interferencias.
- Estrategia BIM y Objetivos: desarrolla una visión clara del alcance y los objetivos del proyecto mediante la integración de la metodología BIM.
- Planificación y exportación: define el procedimiento para sincronizar modelos con cronogramas y exportar formatos compatibles (como IFC y NWC).

4.3. **Estrategia tras la implementación**

Se espera confirmar las principales barreras y facilitadores para la implementación de BIM en obras de la AGE, y se propondrán estrategias para superar estos desafíos.

Esta estrategia debe generar mejoras en la eficiencia y calidad de los proyectos, alineándose con los objetivos del Plan BIM de la AGE. Se anticipa que el uso de metodologías ágiles permitirá una implementación dinámica y adaptable, mejorando los procesos y reduciendo tiempos y costos.

Mediante el estudio de métricas de obra podemos comprobar la capacidad del equipo, trabajando con la metodología propia de dar respuesta a los Usos BIM de la obra. A su vez permiten generar estimaciones de costes y ahorros generados.

BY-NC-SA

La información obtenida nos permitirá diferenciar procesos que suponen una reducción de tiempos y/o costes y procesos relacionados con la generación de entregables, identificando áreas de mejora.

Semestralmente y al finalizar cada obra se llevará a cabo un estudio de los Logros BIM conseguidos, los puntos de mejora identificados y las acciones correctivas a llevar a cabo para la mejora del sistema.

La capacidad de identificar riesgos y proponer acciones correctivas demuestra la capacidad del marco documental para que la implementación BIM sea considerada un proceso de mejora continua.

La capacidad de reaccionar a los incidentes imprevistos mostrará la capacidad de reacción y actualización, gracias a procesos ágiles, independientemente de los requisitos o la estrategia inicial.

La decisión de contar con al menos tres casos de estudio permitirá identificar las mejores prácticas para desafíos específicos en distintos contextos. Se destacarán las prácticas exitosas que pueden ser transferidas entre proyectos y se discutirán las adaptaciones necesarias para cada contexto.

Los resultados de esta estrategia deben tener implicaciones tanto prácticas como teóricas.

- Las implicaciones prácticas incluirán recomendaciones específicas para mejorar la implementación BIM como pueden ser la adopción de marcos de referencia flexibles o la mejora y establecimiento de nuevos flujos de trabajo y aprobación.
- Las implicaciones teóricas contribuirán al conocimiento del Departamento de Construcción Digital y BIM de ASCH en el campo de la implementación BIM en el sector AECO, proporcionando una base para futuros proyectos de investigación y desarrollos de la metodología BIM propia.

5. Casos de éxito

Los casos de éxito seleccionados en este documento se centran en obras reales donde se han implementado exitosamente los usos BIM en sus diferentes dimensiones.

5.1. DIT

- Construcción del Edificio para Sede del Departamento de Informática Tributaria (DIT), Madrid
- Adjudicador: Agencia Estatal de Administración Tributaria
- Presupuesto adjudicación: 62.040.472,03 euros +IVA
- Superficie: 45.266,42m^2. Plazo: 51 meses

5.1.1. Herramientas utilizadas

- CDE y plataforma de seguimiento: herramientas para la gestión centralizada de toda la información.

Fig. 3 Plataforma de seguimiento de obra.

 BY-NC-SA

- Software de modelado y coordinación: utilizado para la creación de modelos BIM detallados y la coordinación entre disciplinas.
- Dynamo: herramienta de automatización que permite optimizar tareas repetitivas para mejorar la eficiencia en el manejo de datos.

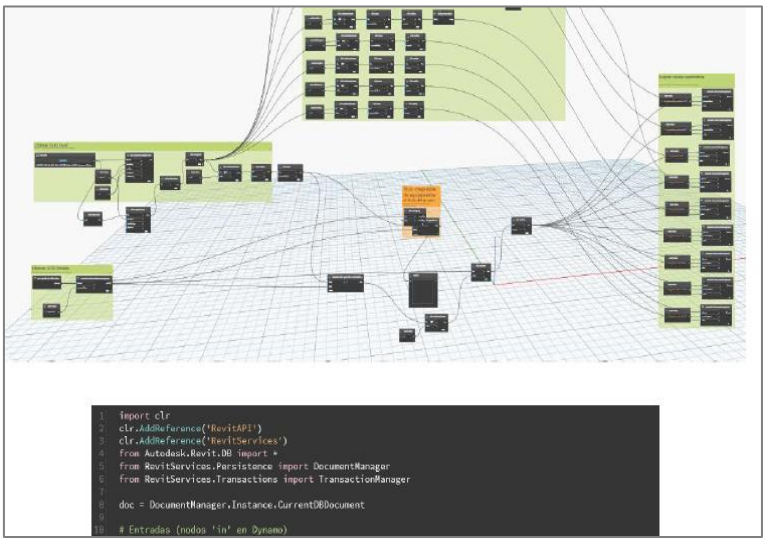


Fig. 4 Automatización de introducción de datos en modelo (Dynamo + Python)

5.1.2. Estrategia BIM

La estrategia planteada abarca los siguientes puntos

- Flujos de trabajo ISO 19650: implementación de un marco de trabajo estandarizado para la gestión de información del proyecto, asegurando claridad y eficiencia en la colaboración.
- Metodología BIM ASCH: aplicación de una metodología diseñada específicamente para proyectos de la empresa, adaptada a las necesidades específicas de la obra.
- Puesta a prueba de la Metodología BIM ASCH: validación y refinamiento de los procesos, utilizando este proyecto como piloto para identificar áreas de mejora.
- Técnico BIM en obra: presencia de un especialista en obra para monitorizar el cumplimiento de los procesos y resolver problemas técnicos en tiempo real.
- Supervisión desde oficina: seguimiento del progreso mediante reuniones de coordinación, herramientas digitales y análisis de información centralizada.
- Métricas de obra: evaluación continua mediante indicadores de rendimiento.

Los flujos de trabajo en ACC incluyen aquellos propios de revisión y validación pero también la comprobación visual de metadatos de los archivos (versiones, estado del trabajo, etc.).

La gestión del CDE, así como el desarrollo de los trabajos y el cumplimiento de los usos han sido llevados a cabo en cumplimiento de los protocolos del Marco Documental BIM de ASCH. Los procesos de mejora que han modificado el marco han generado modificaciones en los propios procesos.

Todo este flujo de trabajo se ha visto reflejado en la redacción y modificaciones del BEP de obra y sus anexos.

La presencia de un técnico BIM en obra ha sido fundamental para identificar necesidades y mejores prácticas. Así mismo ha sido clave para facilitar la implantación BIM en obra y vencer la resistencia inicial al cambio.

 BY-NC-SA

El Técnico BIM, a través del soporte a obra y la resolución de necesidades en tiempos cortos y con resultados de calidad, ha sido el agente de cambio fundamental y necesario para favorecer la implantación BIM en obra.

5.1.3. Usos BIM

- 2D (Documentación y planos): generación de documentación as-built y soporte a la obra.
- 3D (Modelado y coordinación): generación de modelos de las diferentes disciplinas. Gestión de errores del proyecto mediante detección de colisiones y propuestas de cambio.

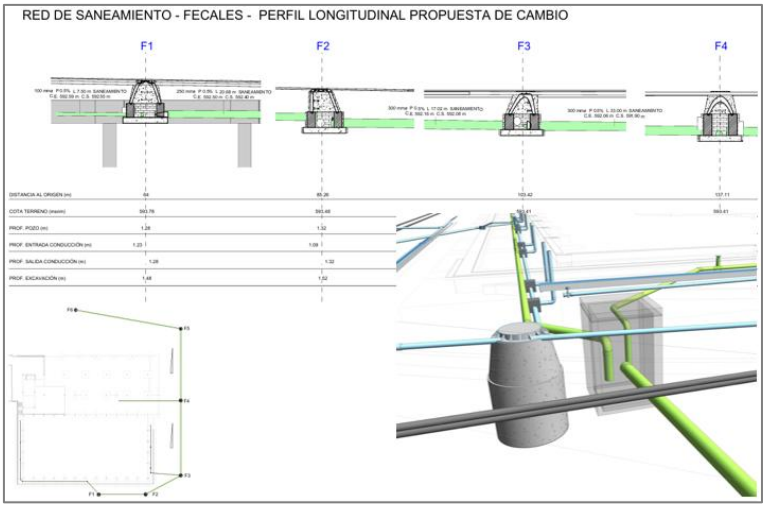


Fig. 5 Propuestas de cambio generadas en el modelo y aprobadas en el CDE.

- 4D (Planificación de tiempos): propuesto para integrar modelos con cronogramas y optimizar la planificación. Este uso se ha implementado parcialmente.
- 5D (Análisis de costes): propuesto para vincular presupuesto y modelo. Se realizan mediciones para contratación sobre el modelo. Se comprueban las diferencias frente al presupuesto del proyecto.
- 7D (Operación y mantenimiento): no aplicable en esta fase inicial del proyecto. Se incluirá información relativa en los parámetros correspondientes.

5.1.4. Resultados

En este caso de estudio es destacable que, gracias a la propuesta de implantación en obra basada el Marco Documental de ASCH y las herramientas de trabajo propuestas, esta implantación ha sido muy superior a los requisitos iniciales del cliente.

En este aspecto hemos conseguido alcanzar el objetivo de lograr una implantación en cumplimiento de los requisitos futuros y no de los actuales del Plan BIM en su nivel inicial.

Se ha conseguido implementar usos 4D y 5D, generando un ahorro de tiempos en la realización de las tareas y una respuesta favorable por parte del personal de la obra implicado en esas tareas. Gracias a los usos 3D se han detectado y modificado errores de proyecto generando ahorros económicos y temporales, incluidos aquellos derivados de desmontajes y/o demoliciones.

5.2. **ENAIRE**

- Ampliación edificio ACC Madrid para la creación de una nueva sala de control
- Adjudicador: ENAIRE
- Presupuesto adjudicación: 16.537.000 euros +IVA
- Superficie: 16.000m^2 Plazo: 24 meses

 BY-NC-SA

5.2.1. Herramientas

- CDE: herramienta para la gestión centralizada de toda la información del proyecto, permitiendo el acceso controlado, versiones de documentos y colaboración en tiempo real.
- Software de modelado y coordinación: utilizado para la creación de modelos BIM detallados y la coordinación entre disciplinas.
- Dynamo: herramienta de automatización que permite optimizar tareas repetitivas para mejorar la eficiencia en el manejo de datos.

5.2.2. Estrategia BIM

La estrategia planteada abarca los siguientes puntos:

- Flujos de trabajo ISO 19650: uso de los principios establecidos en la norma para estructurar la colaboración y garantizar que la información sea accesible, fiable y reutilizable.
- Metodología BIM ASCH: adaptación al marco normativo específico de ENAIRE.
- Ajustes de metodología para cumplimiento de Usos BIM (Agile): incorporación de un enfoque ágil para responder rápidamente a los requerimientos específicos y priorizar el valor en cada etapa.
- Técnico BIM en obra: garantiza la correcta implementación de los procesos BIM en el lugar de trabajo y la resolución rápida de problemas.
- Supervisión desde oficina: análisis y validación del progreso a través de herramientas digitales, reuniones de coordinación y revisión de métricas.
- Métricas de obra: evaluación de la efectividad mediante indicadores como calidad del modelo, tiempos de resolución de problemas y cumplimiento de plazos y presupuestos.

Los flujos de trabajo en ACC incluyen aquellos propios de revisión y validación pero también la comprobación visual de metadatos de los archivos (versiones, estado del trabajo, etc.).

La gestión del CDE, así como el desarrollo de los trabajos y el cumplimiento de los usos han sido llevados a cabo en cumplimiento de los protocolos del Marco Documental BIM de ASCH. Los procesos de mejora que han modificado el marco han generado modificaciones en los propios procesos.

Todo este flujo de trabajo se ha visto reflejado en la redacción y modificaciones del BEP de obra y sus anexos.

En el contexto particular del cliente y los requerimientos que se han ido produciendo ha sido fundamental el trabajo con metodologías ágiles permitiendo generar entregables de calidad y aumentando el nivel de información mediante sprints.

La presencia de un técnico BIM en obra ha sido fundamental para identificar las necesidades y las mejores prácticas. Así mismo ha sido clave para facilitar la implantación BIM en obra y vencer la resistencia inicial al cambio.

El Técnico BIM, a través del soporte a obra y la resolución de necesidades en tiempos cortos y con resultados de calidad, ha sido el agente de cambio fundamental y necesario para favorecer la implantación BIM en obra.

5.2.3. Usos BIM

- 2D (Documentación y planos): generación de documentación as-built y de soporte a obra.
- 3D (Modelado y coordinación): actualización de modelos de las diferentes disciplinas. Gestión de errores del proyecto mediante colisiones y propuestas de cambio.
- 4D (Planificación de tiempos): integrado para vincular el cronograma y modelo simulando procesos constructivos. Incorporación de información específica en set de parámetros.

 BY-NC-SA

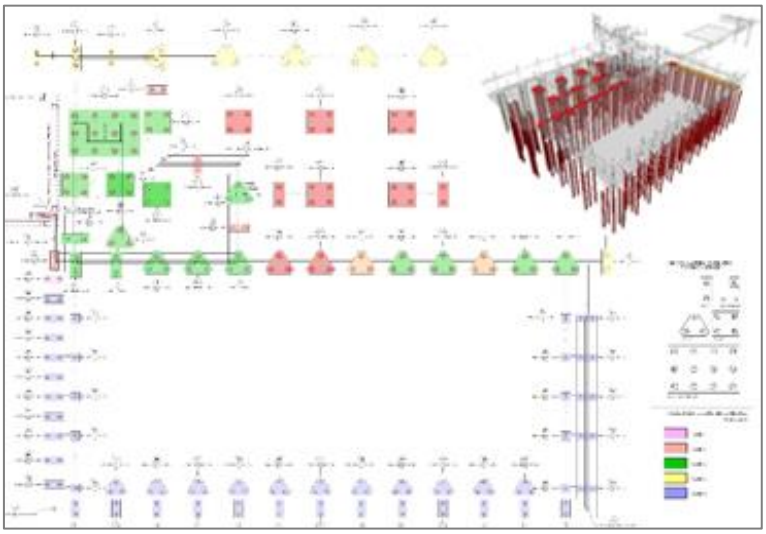
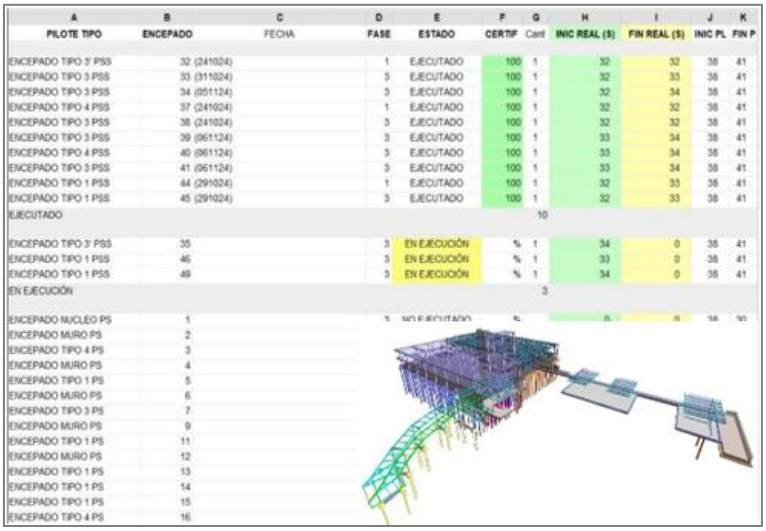


Fig. 6 Cumplimiento de usos 4D

- 5D (Análisis de costes): implementado para realizar estimaciones precisas y gestionar presupuestos basados en el modelo. Incorporación de información específica en set de parámetros.



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
PILOTE TIPO	ENCEPADO	FECHA	FASE	ESTADO	CERTIF	Cant	INIC REAL (S)	FIN REAL (S)	INIC PL	FIN P
ENCEPADO TIPO 3' PSS	32 (241024)		1	EJECUTADO	100	1	32	32	38	41
ENCEPADO TIPO 3 PSS	33 (311024)		3	EJECUTADO	100	1	32	33	38	41
ENCEPADO TIPO 3 PSS	34 (051124)		3	EJECUTADO	100	1	32	34	38	41
ENCEPADO TIPO 4 PSS	37 (241024)		1	EJECUTADO	100	1	32	32	38	41
ENCEPADO TIPO 3 PSS	38 (241024)		3	EJECUTADO	100	1	32	32	38	41
ENCEPADO TIPO 3 PSS	39 (061124)		3	EJECUTADO	100	1	33	34	38	41
ENCEPADO TIPO 4 PSS	40 (061124)		3	EJECUTADO	100	1	33	34	38	41
ENCEPADO TIPO 3 PSS	41 (061124)		3	EJECUTADO	100	1	33	34	38	41
ENCEPADO TIPO 1 PSS	44 (291024)		1	EJECUTADO	100	1	32	33	38	41
ENCEPADO TIPO 1 PSS	45 (291024)		3	EJECUTADO	100	1	32	33	38	41
EJECUTADO						10				
ENCEPADO TIPO 3' PSS	35		3	EN EJECUCIÓN	%	1	34	0	38	41
ENCEPADO TIPO 1 PSS	46		3	EN EJECUCIÓN	%	1	33	0	38	41
ENCEPADO TIPO 1 PSS	49		3	EN EJECUCIÓN	%	1	34	0	38	41
EN EJECUCIÓN						3				
ENCEPADO NUCLEO PS	1		3	NO EJECUTADO	%		0	0	38	41
ENCEPADO MURO PS	2									
ENCEPADO TIPO 4 PS	3									
ENCEPADO MURO PS	4									
ENCEPADO TIPO 1 PS	5									
ENCEPADO MURO PS	6									
ENCEPADO TIPO 3 PS	7									
ENCEPADO MURO PS	9									
ENCEPADO TIPO 1 PS	11									
ENCEPADO MURO PS	12									
ENCEPADO TIPO 1 PS	13									
ENCEPADO TIPO 1 PS	14									
ENCEPADO TIPO 1 PS	15									
ENCEPADO TIPO 4 PS	16									

Fig. 7 Cumplimiento de usos 5D

- 7D (Operación y mantenimiento): Integrado para optimizar la planificación de mantenimiento a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Incorporación de información específica en set de parámetros.ç

5.2.4. Resultados

En este caso de estudio es destacable que, gracias a la metodología de trabajo ágil, hemos sido capaces de dar respuesta a requerimientos del cliente que no estaban previstos o acordados en un inicio.

En este aspecto hemos conseguido alcanzar el objetivo de generar una metodología flexible y adaptable. Como requisitos de esta intervención, contábamos con usos BIM relacionados con una serie de parámetros y unos entregables fijados.

Se ha conseguido aumentar la información requerida para los usos 4D y 5D, generando un ahorro de tiempos en la realización de las tareas y una respuesta favorable por parte del personal de obra implicado en esas tareas. Las mejoras introducidas en la metodología BIM como parte de un proceso ágil, han permitido la generación de un mayor número de entregables no estandarizados en inicio. El uso 3D ha generado unos ahorros económicos y temporales, incluidos aquellos derivados de desmontajes y/o demoliciones.

 BY-NC-SA

6. Conclusiones

A través del análisis de varios casos de estudio (DIT, ENAIRE y otros), se identificaron estrategias y herramientas clave para la adopción de BIM, incluyendo:

- Metodologías ágiles: facilitan la adaptación a los cambios y la optimización de procesos.
- Entornos comunes de datos (CDE): mejoran la colaboración y el intercambio de información entre los actores del proyecto.
- Estandarización de la información: permite cumplir con los objetivos y usos BIM requeridos por la AGE y otras entidades.

Es esencial contar con un marco de referencia flexible y adaptable que debe ser revisado y actualizado periódicamente para incorporar las lecciones aprendidas y las mejores prácticas.

Asimismo, se debe fomentar la colaboración entre los participantes del proyecto mediante el uso de CDEs que permiten la integración de todos los agentes, facilitando una comunicación fluida. Se ha comprobado que los protocolos claros para el intercambio de información entre los diferentes equipos, han garantizado que todos tengan acceso a la información actualizada y relevante.

En general, los casos de estudio validan la importancia de la presencia de un técnico BIM en obra, la supervisión desde la oficina y el uso de métricas de obra para evaluar el progreso y la efectividad de la implementación de BIM. Esta validación se ha visto reflejada en la mejora del Marco Documental con sus procesos y procedimientos, de tal forma que la fase 2 produjo mejores resultados y aceptación de la metodología en la obra.

En resumen, la experiencia demuestra que la implementación de BIM en obras de la AGE, si bien presenta desafíos, puede generar mejoras significativas en la eficiencia y calidad, siempre y cuando se utilicen las estrategias y herramientas adecuadas, y se mantenga un enfoque flexible y adaptable.

Se han identificado una serie de estrategias que han demostrado ser fundamentales, abarcan aspectos técnicos, como metodologías ágiles o uso de CDE, aspectos humanos, como formación continua, cambio cultural o adaptación al cambio, y aspectos metodológicos, como estandarización de procesos y procedimientos para el cumplimiento de objetivos y usos BIM.

El trabajo continuado y la resolución de problemas permiten redefinir manuales de procedimientos, plantillas y otros documentos que han servido de guía para el equipo. Los cambios en la estandarización son trazables y se han comunicado a todo el equipo.

Finalmente, los KPIs utilizados para evaluar de forma continua los procesos y resultados de la implementación de BIM, tanto métricas cuantitativas (costes, plazos, errores, etc.) como cualitativas (satisfacción del cliente, calidad del modelo, etc.), han sido fundamentales para realizar ajustes y mejoras en los procesos y procedimientos.

Fig. 8 Datos extraídos de las tablas de KPIs

Referencias

COLOMA, E. et al. (2021). *Guía para la implementación de BIM en la licitación pública*. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITeC).

COMISIÓN INTERMINISTERIAL BIM (2023). *Plan BIM en la contratación pública*. https://cibim.transportes.gob.es/ [Consulta: 2023].

 BY-NC-SA

COLEGIO DE INGENIEROS TÉCNICOS DE OBRAS PÚBLICAS (2020). *Guía de apoyo a contrataciones con requisitos BIM*. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana.

BUILDINGSMART SPAIN (2023). *Recomendaciones para el uso de BIM en fase de Operación y Mantenimiento*. https://www.buildingsmart.es/2023/02/20/recomendaciones-para-el-uso-de-bim-en-fase-de-operaci%C3%B3n-y-mantenimiento/ [Consulta: 2023].

SPAIN AUDIOVISUAL HUB (2022). *Desarrollo del Metaverso para el sector AECO*. VT-Lab. https://spainaudiovisualhub.mineco.gob.es/es/innovacion/desarrollo-del-metaverso-para-el-sector-aeco [Consulta: 2022].

BUILDINGSMART SPAIN (2021). *Aproximación al gemelo digital para el sector AECO, más allá del BIM*. https://www.buildingsmart.es/2021/06/15/aproximaci%C3%B3n-al-gemelo-digital-para-el-sector-aeco-m%C3%A1s-all%C3%A1-de-bim/ [Consulta: 2021].

OBSERVATORIO EUROPEO DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN (2021). *Digitalización en el sector de la construcción*. European Commission.

QAEC (COMUNIDAD AEC CALIDAD) (2023). *AGILE: SCRUM Y KANBAN*. Asociación Española para la Calidad, comisión de Ingeniería de Calidad.

BUILDINGSMART SPAIN (2024). *Cambio Cultural en empresas constructoras*. https://www.buildingsmart.es/2024/07/11/cambio-cultural-en-empresas-constructoras/ [Consulta: 2024].

UNIÓN EUROPEA (2014). *Directiva 2014/24/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de febrero de 2014*. DOUE, 94, p. 65-242. https://www.boe.es/doue/2014/094/L00065-00242.pdf

AUTODESK (2019). *Digital Asset Management in AEC: BIM Implementation Throughout the Asset's Lifecycle*. Autodesk University.

PÉREZ-GARCÍA, A., MARTÍN-DORTA, N. y ARANDA, J. A. (2021). "BIM Requirements in the Spanish Public Tender – Analysis of Adoption in Construction Contracts" en *MDPI AG*.

LECHHAB, N., IORDANOVA, I. y FORGUES, D. (2023). "Evaluation of the Return on Investment of BIM – The Case of an Architectural Firm" en *Journal of Construction Engineering and Management*.

 BY-NC-SA

DEL RETAIL AL TRAJE A MEDIDA: ADECUACIÓN DE ACTIVOS DIGITALIZADOS

Di Nardo, Franco; Peñas-Ramírez, Sebastián; Pérez-Blanco, José; de Miguel-Simón, Aida; Muñoz-Mínguez, Lucía;
Modelical (Madrid, España), franco.dinardo@modelical.com; Modelical (Madrid, España), sebastian.penas@modelical.com; Modelical (Madrid, España), jose.perez@modelical.com; Modelical (Madrid, España), aida.demiguel@modelical.com; Modelical (Madrid, España), lucia.munoz@modelical.com.

Abstract

Digitising a portfolio of 3.5 million square metres of assets using BIM methodology is a time-intensive process that comes with its own set of challenges. One of the key issues is ensuring that all assets adhere to the same quality, LOD, and LOI standards, especially when years may pass between the first scan and the last, while the client's needs evolve in parallel.

Our approach addresses this challenge in two stages: first, by implementing generalised interventions that apply to all models; and second, by analysing and addressing the specific needs of each case, which stem from the context and conditions under which they were initially created.

This combination of structured methodologies and tailored adjustments allows us to maintain overall model consistency while responding to the unique requirements of each project. This hybrid approach—from general to specific—not only transforms the models into living and sustainable assets but also sets a new trend in the industry: comprehensive updating and management of digital assets to ensure they remain functional and ready to tackle the technological challenges of the future.

***Keywords**: analyse, update, fix, adapt, enhance, standardise*

Resumen

Digitalizar con metodología BIM una cartera de activos de 3,5 millones de metros cuadrados es un proceso que lleva mucho tiempo y trae consigo varios desafíos. Uno de ellos es cómo hacer para que todos los activos sigan los mismos estándares de calidad, LOD y LOI, puesto que pueden transcurrir años desde el primer levantamiento hasta el último, y las necesidades del cliente evolucionan en paralelo.

Nuestra propuesta es abordar el problema en dos etapas: primero, haciendo intervenciones generalizadas que aplican a todos los modelos; en una segunda instancia, se investigan y plantean las necesidades particulares de cada caso, que provienen del contexto de sus condiciones de levantamiento.

La combinación de metodologías estructuradas y ajustes individuales nos permite mantener la coherencia global de los modelos mientras se da respuesta a los requisitos particulares de cada proyecto. Este enfoque híbrido, de lo general a lo específico, no solo transforma los modelos en activos vivos y sostenibles, sino que define una tendencia en el sector: la actualización y gestión integral de activos digitales para que sean más funcionales y puedan afrontar los retos tecnológicos del futuro.

***Palabras clave:** analizar, actualizar, arreglar, adecuar, revalorizar, estandarizar*

BY-NC-SA

Introducción

Nos encontramos en un panorama globalizado, con empresas y organizaciones públicas o privadas cada vez más grandes que se ven en la necesidad de gestionar o ampliar la cartera de edificaciones (fábricas, oficinas, centros comerciales, viviendas…) que componen su estructura. De la mano de este crecimiento aparecen nuevos departamentos y empresas dedicados al control de información y mantenimiento de todos estos activos, cada vez más complejos.

Con el paso del tiempo, las herramientas y metodologías de trabajo tradicionales van siendo sustituidas para evitar los errores que se producen al trabajar con información dispersa en distintas fuentes y para emplear la mejor herramienta disponible para el trabajo a realizar. La necesidad de centralizar los datos en un mismo entorno colaborativo y fácil de consumir ha llevado a la adopción de la metodología BIM como herramienta para, entre otros usos, la digitalización de activos que sirven como fuente de información a la gestión de activos.

1. **Digitalización de activos BIM**

1.1. **¿Qué es la digitalización de activos BIM?**

La digitalización de activos BIM consiste en convertir la información existente de los edificios físicos de una organización o empresa en modelos digitales fiables, consistentes y estructurados, que permitan dar respuesta a sus necesidades de información y procesos específicos. Los modelos BIM son una base de datos que combina la geometría de los elementos constructivos con información contenida en ellos. El detalle geométrico y la información que los modelos deben albergar se define al inicio en unos requisitos, en base a los usos BIM que la organización necesitará de sus modelos. La captura de la realidad se consigue mediante el uso de herramientas como escaneos 3D con nubes de puntos y fotografías 360º, empleando documentación existente disponible para desarrollar los modelos y con buena comunicación con los operadores de los activos para resolver inconsistencias.

La digitalización no se limita a la creación de un modelo geométrico tridimensional, sino que también implica la incorporación de datos en los elementos modelados, parámetros, especificaciones técnicas, de mantenimiento… Se trata de centralizar toda la información, hasta ahora dispersa en diversas fuentes y no accesible en su totalidad, en una única base de datos digital accesible, confiable, actualizada y actualizable.

1.2**. ¿Por qué es necesario?**

Con frecuencia, la organización o el operador a cargo de la gestión de activos dispone de información segregada, repartida en múltiples repositorios, archivos, formatos o entornos, y en ocasiones duplicada. Esto dificulta tener la certeza de que no exista una versión más actualizada en algún otro lugar y que esté coordinada y accesible para todos los agentes involucrados. Para evitar esta situación, la metodología BIM permite disponer de la información de cada activo ordenada y agrupada en una misma fuente: el conjunto de modelos BIM del edificio. (Fig. 1)

BY-NC-SA

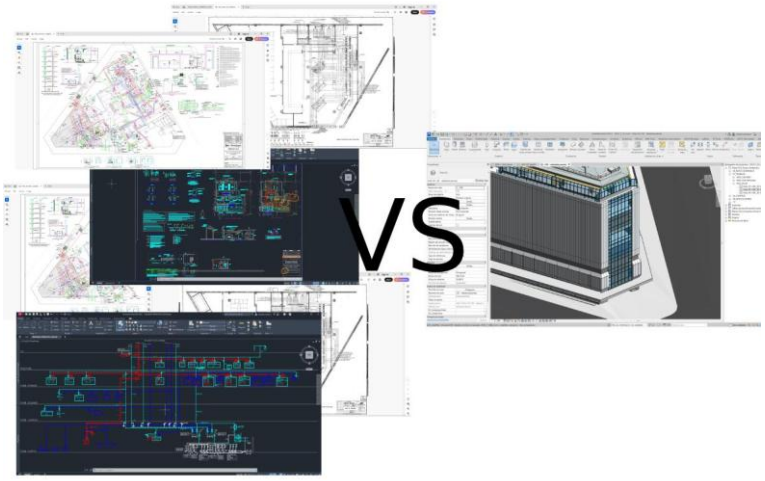


Fig. 1 Metodología tradicional (varias fuentes) vs metodología BIM (fuente única)

1.3. **Digitalización de activos BIM en el sector *retail***

En el sector *retail*, centralizar la información mediante modelos BIM resulta especialmente valioso. Estos modelos no solo permiten gestionar el mantenimiento y las reformas, sino también aprovechar datos clave para el negocio, como la gestión del stock, la optimización de espacios y el análisis económico. De este modo, el modelo se convierte en una herramienta de consulta y análisis que agiliza procesos, mejora la toma de decisiones y extiende su utilidad más allá del ámbito arquitectónico. Hace posible, además, generar interfaces y análisis *ad hoc* alimentados por los datos del modelo.

1.4. **El reto: mantenerse actualizado**

Durante la digitalización de una cartera de activos pueden surgir diversos retos, entre ellos la brecha temporal entre el primer y el último modelo, que genera diferencias debidas a la evolución de las necesidades organizativas y los estándares BIM. Esta disparidad, aunque refleja una creciente y muy positiva madurez en los procesos, puede traducirse en inconsistencias, especialmente cuando los modelos han sido desarrollados por distintos equipos en momentos y contextos distintos. Además, es fundamental establecer estrategias de mantenimiento y actualización a largo plazo, que incluyan procesos claros de comunicación de cambios y revisión interna para garantizar la coherencia de los modelos con el paso del tiempo.

1.5. **Nueva oportunidad**

El desafío consiste en detectar los cambios, actualizar, completar y ajustar a los estándares vigentes los modelos digitales a lo largo del ciclo de vida del activo o edificio. En el caso específico del *retail*, el valor aportado es especialmente relevante, pues las actualizaciones de los espacios ocurren con una frecuencia muy superior frente a otros usos.

Esta necesidad genera, a su vez, una oportunidad: intervenir sobre las digitalizaciones ya realizadas para establecer una metodología y un flujo de trabajo que permitan un mantenimiento riguroso y una actualización constante de la información generada. Este planteamiento, orientado a dar respuesta a las demandas actuales y prepararse para las del futuro, marca el punto de partida del proyecto de «Adecuación de modelos BIM».

BY-NC-SA

2. **El problema: Inconsistencias en la digitalización de activos**

2.1. **Escenario inicial**

En este caso práctico, la organización, en su proceso de adopción de la metodología BIM y de digitalización de su cartera de activos, se enfrentó a todas las dificultades previamente mencionadas. Desde el inicio de la implantación BIM hasta la finalización del proyecto transcurrieron cuatro años (Fig. 2), durante los cuales se digitalizaron 3,5 millones de metros cuadrados y participaron cinco empresas externas en la digitalización de activos.

A medida que avanzaba el proceso, se fueron identificando nuevas necesidades en cuanto al nivel de definición y de detalle de los elementos modelados, lo que llevó a una revisión y actualización progresiva de los requisitos iniciales. Algunos criterios, sistemas y parámetros establecidos al comienzo fueron simplificados, mientras que muchos otros se incorporaron posteriormente. En paralelo, a medida que los procesos internos de elaboración de proyectos en BIM se volvían más complejos y requerían una mayor cantidad de información, también aumentaban las exigencias en cuanto al alcance y nivel de detalle en las digitalizaciones encargadas a los equipos externos.

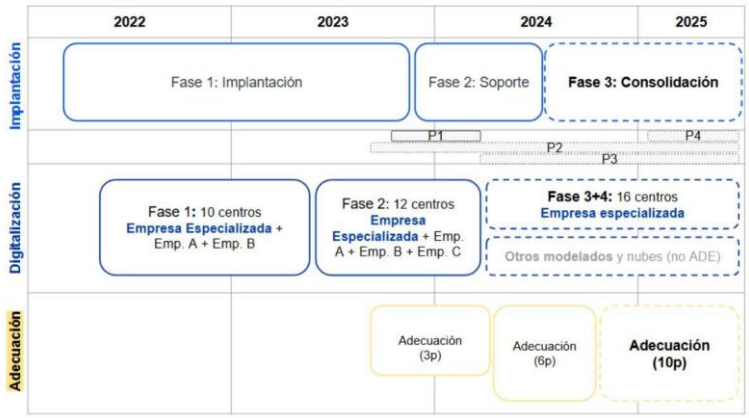


Fig. 2 Contexto y agentes involucrados

El resultado de las dos primeras fases de digitalización, en las que cuatro empresas externas modelaron veintidós edificios según la primera versión de los requisitos, ha sido la creación de modelos con diferencias en los criterios y el contenido, dependiendo de la empresa que los realizó. Esto ha generado inconsistencias al intentar agregar la información de los distintos activos. Por ello, estos modelos requieren un mayor esfuerzo para adaptarse a los estándares y requisitos de contenido actuales.

En cambio, los dieciséis modelos más recientes, digitalizados por distintas empresas pero bajo una oficina de coordinación común, cumplen con los estándares actuales de manera uniforme y solo necesitan ajustes para incorporar el contenido solicitado en la última actualización de requisitos. En todas las fases, cuando los edificios han sufrido reformas fuera del ámbito BIM (debido a que aún estaban en proceso de modelado), el trabajo de revisión de los modelos también incluye incorporar estas reformas. Además, recientemente se ha solicitado como contenido adicional la incorporación de mobiliario y la elaboración de planos en los modelos, un alcance que no estaba contemplado en los contratos de digitalización.

2.2. **La meta**

El objetivo de este proyecto de «Adecuación de modelos BIM» ha sido que la organización pueda disponer de modelos de estado actual de los activos que reflejen la realidad construida y que sean consistentes entre sí, tanto para consultar su información física y comercial como para que el propio equipo de desarrollo de

BY-NC-SA

proyectos y reformas de la organización pueda trabajar en ellos con metodología BIM según los requisitos actualizados.

Para sacar el máximo partido a los modelos BIM ya disponibles, con sus diferentes circunstancias, la organización decidió activar estos trabajos de «adecuación» de modelos por parte de una empresa especializada, que resolviera los problemas anteriormente mencionados con el mayor grado de optimización de recursos posible.

3. **La solución: una estrategia en dos etapas**

La solución planteada frente a este reto ha consistido en intervenciones en dos etapas: una estandarizada, aplicable a todos los activos; y una pormenorizada, en respuesta a la situación particular de cada activo digital.

3.1. **Comunicación con el cliente**

La comunicación constante y directa con la organización propietaria de los activos fue imprescindible para el buen desarrollo del proyecto. En el inicio, se definieron y establecieron conjuntamente los hitos del proyecto para determinar el alcance de las tareas y los tiempos, lo que condujo a realizar una revisión completa de los requisitos aplicables a los modelos según las necesidades del cliente, consiguiendo una homogeneización de los estándares, hasta entonces diferentes entre fases de digitalización.

El protocolo de comunicación se estableció mediante reuniones semanales en la oficina de la organización, en las que cobró mucha relevancia el trato presencial y cercano. En estas reuniones se hizo un seguimiento del avance y dudas sobre los trabajos en curso. Las minutas y correos tras cada reunión fueron clave para garantizar la trazabilidad de las decisiones tomadas.

Se empleó la plataforma Airtable (Fig. 3) para la gestión de tareas y avance, y compartir esta información con el cliente. Se confirmó su utilidad como una herramienta ágil para determinar prioridades y compartir con cualquier departamento.

Fig. 3 Imágenes de Airtable

En este sentido, la buena relación entre las partes, las reuniones presenciales una vez por semana y la posibilidad de comunicación directa mediante Microsoft Teams y llamadas cuando fue necesario, permitió mantener el enfoque en el objetivo en todo momento, limando hasta el último detalle de la calidad de los trabajos y resolviendo dudas de forma ágil.

BY-NC-SA

3.2. **Intervención estandarizada**

3.2.1. Definición de tareas aplicables a todos los modelos

El primer objetivo fue la homogeneización general de todos los modelos, un primer nivel de actualización, en el que se incluyeron tareas de revisión de nomenclatura y la estructura de subproyectos, esenciales para aportar coherencia a los modelos y poder seguir trabajando.

Este paquete de tareas transversales a todos los modelos incluyó:

- Revisión de subproyectos por modelo
- Revisión de niveles asociados de los elementos modelados
- Actualización de sistemas MEP por disciplina
- Actualización y cargado de familias de sistema
- Revisión de parámetros mínimos en los modelos

Todas estas tareas tomaron como referencia los estándares vigentes de la organización.

En este momento, se definieron en detalle tareas no solicitadas en las digitalizaciones, tales como la colocación de mobiliario (por existir ya una biblioteca grande de contenido, no disponible en etapas anteriores) así como la creación de vistas y planos (para aligerar el trabajo del equipo interno en la elaboración de proyectos).

Estas tareas fueron acometidas de manera general y transversal a los modelos de diferentes activos. Se procedimentaron y automatizaron en la medida de lo posible para optimizar el uso de recursos.

Con esta primera fase, los modelos llegaron a un estado base suficiente para que su información pudiera ser consumida y permitieran el diseño de reformas trabajando sobre ellos, aunque aún contenían errores o ausencias más específicas.

3.2.2. La clave: automatizar procesos repetitivos

Alguna de las herramientas disponibles en el mercado que se utilizaron fueron:

- **DiRoots:** Addin de Revit con multitud de aplicaciones, desde la gestión de familias a la edición masiva de vistas y elementos en el modelo.
- **PyRevit:** Addin de Revit con varios comandos que extienden su funcionalidad. Especialmente interesante para crear botones personalizados basados en lenguaje Python, actuando PyRevit como puente.
- **Dynamo:** Complemento de programación visual ampliamente conocido e integrado en Revit. Se empleó para todo tipo de automatizaciones, tanto de gestión de información como de modelado.
- **Google Sheet:** Aplicación de hojas de cálculo de Google. Gestión de información y estándares.

Teniendo en cuenta el gran número de modelos en los que intervenir, además de emplear herramientas ya presentes en el mercado se desarrollaron herramientas propias. Destaca el desarrollo *ad hoc* de una barra de herramientas, empleando lenguaje C# (Fig.4), que agilizó en gran medida la tarea de realizar cambios estandarizados y repetitivos en los distintos modelos.

Este recurso permite comprobar con agilidad:

- Nomenclatura
- Subproyectos
- Sistemas MEP y familias de sistema
- Vistas de coordinación y sus propiedades
- Otras herramientas de modelado

BY-NC-SA

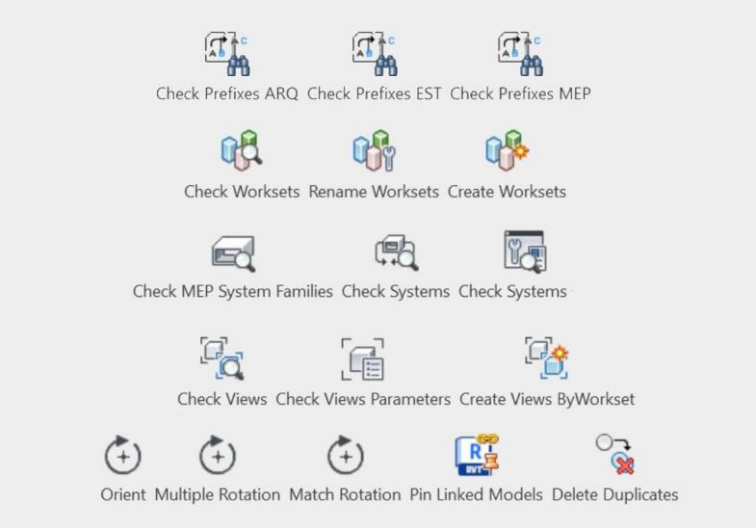


Fig. 4 Comandos del add-in desarrollado

Una tarea a realizar era el control de nomenclatura de los sistemas MEP, para garantizar que cada modelo tuviera todos los sistemas MEP que le correspondiera, bien nombrados y con los valores de RGB especificados en los requisitos. Manualmente, esto implica abrir los cuatro modelos de MEP de cada activo, y es susceptible de error humano.

Por esto, se desarrolló una rutina de Dynamo que, dado un modelo, exporta a una hoja de cálculo la información necesaria de los sistemas de los modelos vinculados, sin necesidad de abrir cada modelo (especialmente valioso al tratarse de más de 140 modelos MEP).

En otra hoja de cálculo, se ordenaba y clasificaba de manera automática la información obtenida. A continuación, mediante una comparación de los nombres, clasificación y colores de sistemas de los modelos con los especificados en los requisitos técnicos, se señalaban automáticamente los sistemas faltantes, sobrantes o que con necesidad de revisión (Fig. 5). Así, la intervención se redujo exclusivamente en los sistemas con errores y se aseguró que los demás cumplían los requisitos.

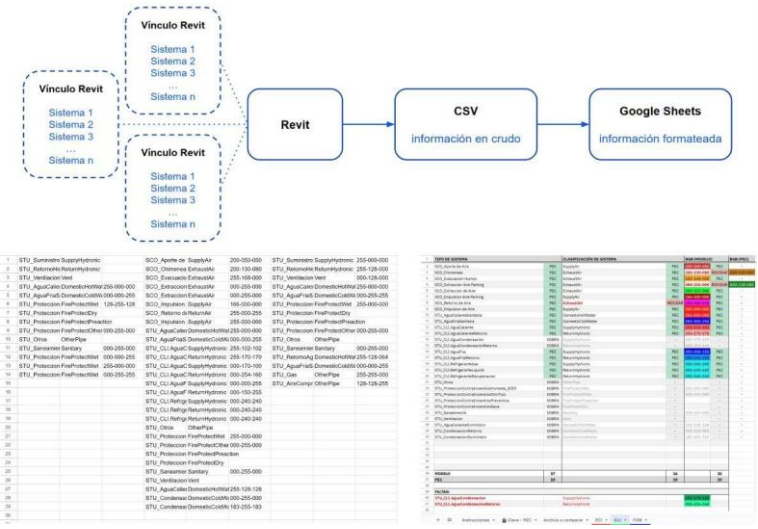


Fig. 5 Extracción de información de sistemas MEP

BY-NC-SA

3.3. **Intervención pormenorizada: el traje a medida**

3.3.1. Estudio previo como diagnóstico del modelo

Una vez concluidas las tareas transversales a todos los modelos, se realizaron diagnósticos individuales para detectar deficiencias en los modelos de cada activo y qué necesitaba para quedar tan acorde como fuera posible a los requisitos vigentes en el plazo acotado para los trabajos. Por ello, el punto de partida y las tareas a realizar variaban caso a caso.

3.3.2. Tareas específicas

Del estudio de cada modelo se confeccionó una lista de tareas específicas. Son ejemplos de tareas específicas:

- La incorporación de reformas (ejecutadas durante o justo después del levantamiento digital sin emplear por ello el modelo BIM)
- Completar o modelar desde cero alguna instalación faltante, ajustar lo modelado o corregirlo. (Fig.6)
- Revisión de todas las salas técnicas, cuyo grado de definición debía ser mayor que en las digitalizaciones iniciales, contrastando con documentación.
- Revisar y coordinar de manera general los elementos MEP entre sí. Nunca se apuntó a una coordinación MEP «cero colisiones», ni en las digitalizaciones ni en las posteriores adecuaciones, ya que se desconoce la realidad de los trazados 3D contenidos en falsos techos.

Fig. 6 Ajuste de modelado en zonas de retail mediante nube de puntos

Para llevar a cabo estas tareas específicas, fue de gran ayuda haber completado previamente las tareas generales: disponer de planos que muestren la información necesaria de la manera correcta facilita cualquier intervención posterior. Además, las digitalizaciones más recientes eran ejemplos claros y actualizados del resultado al que aspirar en la adecuación de modelos antiguos.

3.3.3. Coordinación entre la empresa especializada y la organización propietaria de los activos

Este trabajo, realizado desde una empresa especializada en BIM y procesos digitales, ha sido coordinado semanalmente con el BIM Manager de la organización propietaria de los modelos. Para este trabajo, consistente en ajustar, actualizar y completar por parte de una empresa externa los modelos en los que el propio equipo interno estaba activamente trabajando y realizando proyectos de reforma, ha resultado fundamental mantener una comunicación fluida con la organización, asegurando la coordinación, el mejor uso posible de los recursos y que las intervenciones realizadas se alineasen efectivamente con las necesidades y objetivos propuestos.

BY-NC-SA

Debido a la heterogeneidad del trabajo a realizar en los modelos según los casos particulares, una parte significativa del esfuerzo se dedicó a la elaboración de procedimientos y estandarización, así como a realizar reportes detallados del estado de las tareas, desglosadas paso a paso, para poder compartir el avance. La planificación, aprobación, ejecución y validación del trabajo de manera coordinada entre todos los agentes intervinientes ha sido fundamental para generar confianza mutua y conseguir el mejor funcionamiento posible de los equipos.

En ocasiones se trabajó simultáneamente desde el equipo externo de adecuación y desde la organización sobre el mismo modelo. La coordinación se llevó a cabo mediante la utilización de fases, con estos trabajos de reformas o mantenimiento por parte del cliente realizándose en la fase «nueva construcción», mientras el equipo responsable de las tareas de adecuación trabaja en la fase «existente».

4. **Casos de éxito y lecciones aprendidas**

4.1. **Ejemplos reales de modelos que pasaron por el proceso**

En este proceso, de los 3.500.00 m^2 digitalizados de la organización, se ha trabajado en la adaptación, con grados muy diferentes de intervención, de unos 2.750.000. Esto se corresponde con 35 digitalizaciones y un total de 230 modelos, entre los que destacan algunos casos interesantes:

En el proceso de generar vistas y planos de todas las disciplinas, se estableció el estándar de planos BIM de la organización, incluyendo los requisitos y el procedimiento para realizarlos. El valor aportado está formado tanto por el conjunto de 13.100 planos generados como por el procedimiento que permite crear más en el futuro. Al adecuarse los modelos a los requisitos actualizados, se consigue que la información se pueda consultar correctamente (Fig. 7).

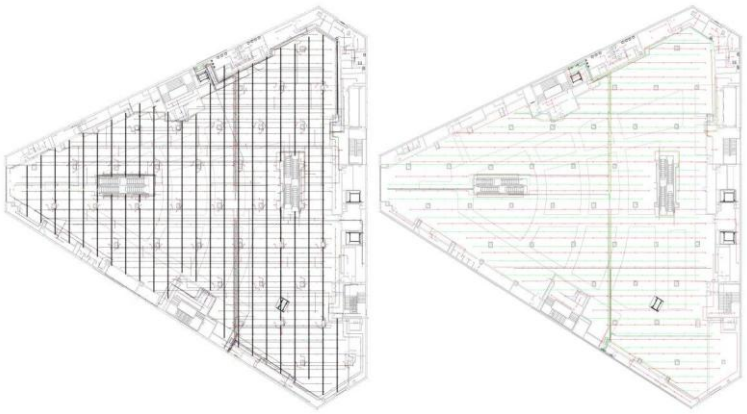


Fig. 7 Creación de planos con información accesible

Durante la incorporación de mobiliario a los modelos, se abordó a la vez la colocación de los elementos disponibles en la biblioteca de contenido de la organización y la detección del contenido no disponible en la biblioteca o con necesidad de correcciones o modificaciones en sus dimensiones. Se entregaron los modelos amueblados junto con el listado de los elementos a generar o corregir para su incorporación a la biblioteca. Finalmente, cuando no existía el elemento de mobiliario en la biblioteca, se colocó un elemento de geometría básica pero codificado correctamente que permite la futura colocación ágil del objeto definitivo.

Las salas técnicas de los edificios se modelaron de formas dispares a lo largo de las fases. En algunos casos, la documentación CAD empleada durante el modelado no recogía algunos cambios de la realidad del activo, y han requerido un trabajo de estudio y modificación exhaustivos (Fig. 8). En estos casos, la

BY-NC-SA

comunicación con la organización fue imprescindible, para completar lo que no aparece en los planos o nubes y llegar a un nivel de modelado que cubre sus necesidades.

Fig. 8 Antes y después de la revisión de una sala técnica

4.2. **Resultados / Beneficios obtenidos**

Los resultados de este trabajo incluyen generar un proceso estandarizado y automatizado para obtener modelos consistentes y al día para poder consultar y trabajar en ellos.

Se han desarrollado guías, en un principio de la empresa especializada a cargo de la adecuación de modelos, que evolucionaron hasta convertirse en referencias de gran valor para técnicos y especialistas de la organización, pues recogen la estandarización y el proceso para dar respuesta a sus necesidades.

A nivel de la empresa externa, ha permitido establecer un flujo de trabajo y un equipo preparado para poder abordar proyectos de este tipo, cada vez más frecuentes en un sector que ya cuenta con modelos BIM existentes que deben ser revisados, actualizados o preparados para nuevos usos.

4.3. **Dificultades encontradas**

Desde el inicio, los cambios en el alcance, prioridades de tareas y necesidades de la organización fueron constantes. Durante el propio desarrollo de los trabajos se fue afinando el resultado objetivo, y se descubrieron problemas específicos imposibles de anticipar. Gracias a la buena comunicación se tomaron decisiones y se planificó en consecuencia, llegando a conseguir el objetivo.

Algunos edificios iban a ser objeto de reforma por parte del equipo interno de la organización. En estos casos, previa solicitud, se realizó una «Adecuación Express», es decir, una revisión y ajuste general de todo el edificio para que se pudiera trabajar con los modelos lo antes posible.

Trabajar sobre modelos «vivos», en uso por el equipo interno de la organización para el desarrollo de reformas, presentó sus propios retos. Se resolvió mediante una constante coordinación y con especial atención y cuidado para evitar errores que afectasen a todos los equipos.

5. **Conclusión**

El trabajo de «adecuación» de modelos BIM es mucho más que un trabajo técnico: parte de un análisis estratégico para sacar el máximo partido a una inversión en digitalización BIM ya realizada, es una inversión en la calidad de los procesos de la organización y en la futura vida y uso de los modelos.

Estandarizar un conjunto de casos particulares pasa por ofrecer una solución híbrida que combine estandarización y personalización, que ha sido la clave del éxito. Plantear procesos totalmente pormenorizados sin una visión general es muy poco eficiente, y una generalización excesiva impediría resolver problemas en profundidad.

BY-NC-SA

Así, se optó por estandarizar todo aquello susceptible de ser estandarizado (en pos de la eficiencia) y completar con los ajustes pormenorizados necesarios caso a caso (en pos de la eficacia, de llegar a un resultado satisfactorio para cada caso en un tiempo adecuado).

Este ejemplo práctico llevado a cabo en estrecha colaboración con una organización propietaria de un *portfolio* digital de activos no es un caso aislado: a medida que crece la cantidad de empresas que apuestan por la metodología BIM para digitalizar y gestionar sus activos, el mantenimiento de los modelos a lo largo del ciclo de vida del edificio, así como la explotación de su información y la mayor ambición de los procesos que alimentan, cobrará cada vez más relevancia.

Invertir recursos en la calidad, coherencia y actualización de los activos digitales marcará la diferencia entre su explotación eficiente o su abandono cuando no respondan exactamente a unas necesidades muy específicas. Además, los beneficios reportados se extenderán a todos aquellos agentes que consultan y emplean la información proveniente de los modelos: propietarios, gestores, negocio, equipos de diseño, equipos de mantenimiento, trabajadores, y a todo aquel que se involucre en procesos y usos que tengan como base estos activos digitales.

BY-NC-SA

PLAN PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN GEMELO DIGITAL PARA LA GESTIÓN PORTUARIA

Pérez Romero, Juan; García Martínez, María Luisa
Ingeniero de Caminos Canales y Puertos, Jefe Departamento Proyectos y Obras, Departamento de Proyectos y Obras del Área de Infraestructuras de la Autoridad Portuaria de Castellón jperez@portcastello.com; Ingeniera Geóloga / Ingeniera Técnica de Obras Públicas, Técnico de Infraestructuras, Departamento de Proyectos y Obras del Área de Infraestructuras de la Autoridad Portuaria de Castellón, mlgarcia@portcastello.com.

Abstract

At the Port Authority of Castellón, within the framework of its Digital Transformation Strategy, it is addressing the comprehensive management of port infrastructure based on a georeferenced BIM-GIS model. This initiative aims to create a collaborative foundation among various stakeholders, such as port operations, port security, public domain, maintenance, projects, and construction, with centralized and updated information. Establishing a working framework that encompasses historical data, point clouds, integration of BIM models, data updates, integration with other applications, incorporation of sensors, management of berths, and real-time management of infrastructure involves creating a digital twin of the port for efficient and agile decision-making. This article discusses the strategy for creating this digital twin, which is based on the needs of management stakeholders, a plan for implementing BIM and GIS within the organization, and a digitalization strategy for port infrastructure aimed at managing and optimizing assets to achieve an efficient and sustainable port, developing an intelligent infrastructure ready for current and future challenges.

***Keywords**: smart port, digital twin, BIM-GIS, digitalization, management, port management.*

Resumen

En la Autoridad Portuaria de Castellón, en el contexto de su Estrategia de Transformación Digital, se está abordando la gestión integral de la infraestructura portuaria a partir de un modelo georreferenciado BIM-GIS, creando una base colaborativa entre los diferentes agentes interesados, tales como explotación portuaria, seguridad portuaria, dominio público, conservación o proyectos y obras, con información centralizada y actualizada. El establecimiento de un marco de trabajo que abarque desde datos históricos, nube de puntos, integración de modelos BIM, actualización de datos, la integración con otras aplicaciones, la incorporación de sensores, la gestión de atraques y la gestión en el tiempo real de la infraestructura supone la creación de un gemelo digital portuario para la toma eficiente y ágil de decisiones El presente articulo aborda la estrategia de creación de este gemelo digital que parte de las necesidades de los agentes de gestión, de un plan de implantación del BIM y GIS en la organización, una estrategia de digitalización de la infraestructura portuaria con el objetivo de gestionar y optimizar los activos y conseguir un puerto eficiente y sostenible desarrollando una infraestructura inteligente preparada para los retos y desafíos actuales y futuros.

***Palabras clave:** puertos inteligentes, gemelo digital, BIM-GIS, digitalización, gestión portuaria*

BY-NC-SA

Introducción

Los puertos son nodos críticos en la cadena de suministro global. Con el aumento del comercio mundial y la necesidad de optimizar recursos, los puertos enfrentan desafíos significativos en términos de logística, mantenimiento y sostenibilidad. La gestión eficiente de puertos es crucial para el desarrollo económico y la sostenibilidad ambiental. El auge de la transformación digital ha impactado en diversas industrias, y el sector portuario no es la excepción. La gestión portuaria ha evolucionado significativamente con la incorporación de nuevas tecnologías, adaptándose a las demandas de un entorno global cada vez más interconectado y competitivo. Los puertos, como infraestructuras críticas en la cadena de suministro, deben gestionar de manera eficiente tanto sus activos físicos como los procesos operativos. La transformación digital en los puertos es una tendencia que ha venido ganando terreno, permitiendo una mejora en la toma de decisiones, la reducción de costos operativos y la optimización del uso de los recursos disponibles.

Uno de los avances más significativos en este ámbito es el concepto de "gemelo digital", que se refiere a la creación de una réplica virtual de una infraestructura física que permite simular, analizar y gestionar su funcionamiento en tiempo real. Este enfoque pretende conseguir un puerto más eficiente, sostenible y resiliente, capaz de enfrentar los desafíos del presente y del futuro, donde la gestión de infraestructuras complejas y la necesidad de garantizar la seguridad y eficiencia operativa son esenciales.

La necesidad de adaptarse a un entorno cambiante exige que las autoridades portuarias adopten soluciones innovadoras. La Autoridad Portuaria de Castellón, ha adoptado una estrategia de transformación digital que busca integrar diversas herramientas y tecnologías para optimizar la gestión de su infraestructura portuaria. En este contexto, la Autoridad Portuaria está desarrollando un modelo georreferenciado que combina BIM, GIS, GMAO y la integración con otras aplicaciones de gestión creando una base colaborativa y centralizada que involucra a todos los agentes relacionados con la gestión portuaria.

El tránsito entre una infraestructura física portuaria hacia un gemelo digital permite una gestión más eficiente y ágil de los activos portuarios donde la integración de datos en tiempo real es crucial para la toma de decisiones. El objeto del presente trabajo es transmitir la estrategia de desarrollo del puerto digital/ gemelo digital para dicha gestión centrándonos en la estrategia de implantación del GIS y BIM en la organización para la gestión del activo de la infraestructura portuaria.

1. Gemelo Digital, contribución del BIM y GIS, retos.

La Autoridad Portuaria de Castellón (APC) se encuentra en un proceso de innovación y digitalización que busca transformar cultural, digital y tecnológicamente la gestión de su negocio. Dentro del marco del Plan Estratégico del Puerto de Castellón 2020-2024, la APC ha establecido la Gestión Avanzada como una de sus líneas estratégicas, promoviendo una cultura de gestión que fomente la innovación y la transformación digital. Este enfoque busca mejorar el posicionamiento y la competitividad del puerto, alineándose con la visión de un Puerto 4.0, que integre digitalmente todos los procesos y agentes involucrados, acercándose más al cliente final y promoviendo modelos más respetuosos con el medio ambiente.

Para la gestión portuaria se encuentran experiencias de desarrollo de Gemelo Digital como en evidencia Aita, D. (2022) para la logística portuaria o Pedraza López, A. (2022) en la implementación de gemelos digitales en el Puerto de Buenaventura.

En este contexto, de estrategia digital como de la experiencia en otras autoridades portuarias se adopta el desarrollo de un Gemelo Digital que suponga la creación de un sistema integrado de gestión portuaria que aproveche las sinergias entre la cartografía inicial, BIM - GIS – GMAO y las herramientas de gestión. Esto permitirá una planificación operativa más efectiva, donde se consideren todas las variables relevantes y se optimicen los recursos. En última instancia, la APC aspira a convertirse en un referente en innovación y gestión portuaria, utilizando la digitalización como motor de cambio y creación de valor sostenible en el desarrollo del puerto de Castellón. Con ello, para la APC un gemelo digital es una plataforma geoespacial que no solo interopere con sus sistemas de información existentes, sino que también genere paneles de control que faciliten la toma de decisiones informadas en tiempo real, ya que proporciona una base sólida

BY-NC-SA

para la gestión unificada de activos e infraestructuras, seguridad, sostenibilidad ambiental y operaciones portuarias donde la integración del GIS y BIM es fundamental.

La APC se encuentra en un proceso de implantación de la metodología BIM y la integración de un Sistema de Gestión de Información Geográfica (GIS). Con esta iniciativa, se busca establecer un marco digital que combine las capacidades del BIM y el GIS, creando un gemelo digital que permita a los actores involucrados en el proceso constructivo diseñar, construir y operar los activos portuarios de manera colaborativa y eficiente. La finalidad es facilitar una gestión más efectiva de los activos de la APC, contribuyendo a la transformación digital necesaria en el entorno portuario, encontrándose esta en diferentes grados de avance con los siguientes alcances:

- Entorno de Información Estructurado, que aglutine de manera lógica y estructurada la información y la documentación gráfica de la infraestructura portuaria, permitiendo una gestión centralizada y accesible de los datos.
- Modelo Tridimensional Colaborativo para la gestión del activo que supone la infraestructura de un Puerto.
- Capacitación y Formación del personal de la APC para poder desempeñar las funciones por parte de los agentes de los activos.

Actualmente se encuentra desarrollando una arquitectura tecnológica GIS que centralice el acceso y gestión de datos geográficos relacionados con la actividad del puerto, permitiendo una solución abierta y modular que se adapte a las necesidades cambiantes de la APC. Este sistema GIS se encuentra integrado con la implantación BIM siendo necesaria el liderazgo por parte del departamento de Infraestructuras en colaboración con otros departamentos relevantes, garantizando que todos los actores implicados interactúen de manera eficaz a través de aplicaciones web o móviles.

El objetivo final es crear un sistema inteligente y escalable que no solo mejore la gestión y operación de los activos portuarios, sino que también ofrezca una plataforma única de información verificada, accesible para múltiples usuarios con distintos perfiles, promoviendo así la eficiencia y la toma de decisiones informadas en la Autoridad Portuaria de Castellón.

Este enfoque integral, que combina BIM y GIS, permitirá a la APC avanzar hacia un modelo de gestión más digitalizado, colaborativo y eficiente, adaptándose a los desafíos del futuro.

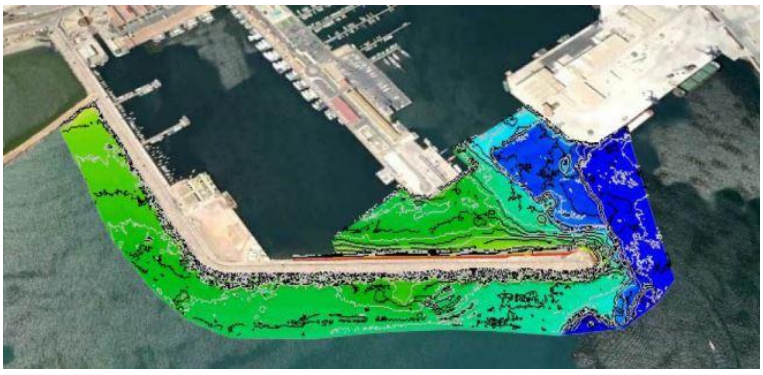


Fig. 1 Modelo digital de batimetría y muelle. Fuente: Autoridad Portuaria de Castellón

En el proceso de creación de un gemelo digital en la Autoridad Portuaria se pueden establecer una serie de retos tales como:

- El conocimiento y el estado actual de la gestión portuaria y los desafíos a los que se enfrenta.
- Ligado al anterior, como el concepto de gemelo digital puede influir en la gestión de los puertos.
- Para ello se debe analizar las necesidades de los diferentes agentes identificando los puntos críticos que pueden ser optimizados en la implementación.
- Establecer un plan de implementación de un gemelo digital que permita la integración de la cartografía actual con el GIS, BIM, GMAO y resto de plataformas de gestión, pero sobre todo tenga en cuenta la actualización continua de datos.

BY-NC-SA

- Desarrollar un modelo georreferenciado que integre BIM, GIS y GMAO para la gestión efectiva de la infraestructura portuaria.
- Explorar los retos y desafíos de la implementación de un gemelo digital en el contexto portuario, así como las soluciones adoptadas para superarlos.
- La mejora continua en el proceso evaluando los beneficios y desafíos asociados con la implementación, en términos de la toma de decisiones, la planificación y eficiencia de operaciones, la gestión del mantenimiento y sostenibilidad en el puerto.

2. Proceso de desarrollo e Implantación

2.1. Desarrollo del Gemelo Digital

El tránsito entre la infraestructura física y el gemelo digital hace necesario un análisis del puerto considerando las capacidades actuales en términos de infraestructura, tráficos, operaciones, dominio público, sostenibilidad, así como sus capacidades de desarrollo a futuro. Para ello, como todo proceso, parte del conocimiento actual siendo necesario una gestión de datos que justifican el desarrollo asociado de diferentes implantaciones tales como:

- Datos geoespaciales, implantación del (GIS), que aporte en la gestión información sobre la ubicación, topografía, infraestructuras y operaciones del puerto. Esto permitirá identificar áreas de mejora en la operativa del puerto y optimizar la planificación.
- Datos de la infraestructura física, implantación del (BIM), mediante modelos tridimensionales de las infraestructuras del puerto, incluyendo muelles, almacenes y edificios administrativos. De esta forma se facilitará la planificación de proyectos y el mantenimiento de activos
- Datos de mantenimiento, implantación del (GMAO), aportando datos de información sobre el estado de los activos del puerto, incluidas las instalaciones, equipos y maquinarias, así como la gestión del mantenimiento. La integración de datos de GMAO en el gemelo digital permitirá un seguimiento en tiempo real del estado de las infraestructuras y equipos, optimizando las intervenciones de mantenimiento y reduciendo el tiempo de inactividad.

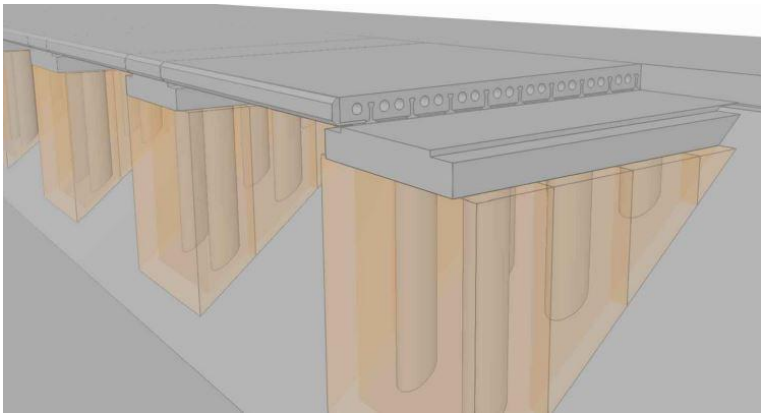


Fig. 2 Muelle Transversal Exterior – Gestión Evolución construcción muelle. Fuente: Autoridad Portuaria de Castellón

Actualmente la APC se encuentra en diferentes fases de desarrollo de la implantación del GIS, BIM y GMAO pero con un enfoque de integración con la gestión del activo portuario hacia un modelo de gemelo digital que permita:

- Integración de datos, estructurada y accesible mediante plataformas que permitan la integración de GIS, BIM, GMAO y otras plataformas de gestión de diferentes agentes.
- Modelado tridimensional que sirva de base para gestionar y simular operaciones y escenarios presentes y futuros del activo portuario. De esta forma se implementan herramientas de gestión de distintos escenarios operativos, como el tráfico de buques, la gestión de mercancías y el mantenimiento de infraestructuras.

BY-NC-SA

En ese sentido el gemelo digital debe permitir la integración y gestión con plataformas geoespacial y generación de los paneles de control que den soporte a los procesos de toma de decisiones operativas de la APC y en especial las indicadas en la tabla 1.

Tabla 1. Integración del Gemelo Digital en la APC. Fuente: Elaboración Propia

Plataformas de gestión	
PMS (Port Management System) Posidonia	PCS (Port Community System).
Integrados	ERP- Navision
Control de accesos.	Catastro
Circuito cerrado de TV.	Alarmas.
Puntos de red de suministro de agua y energía.	Contabilidad.
Ubicaciones de buques en tiempo real.	Emergencias.
Activos.	Telecontrol de faros y balizas.
Sanciones.	Control y maniobras de instalaciones.
Amarres.	Seguimiento de flota de vehículos.
Control de mercancías peligrosas.	Sistema de Información al Viajero (SIV).
Procesos de inspección.	Control del alumbrado público.
Control de cargas/descargas.	Estaciones meteorológicas.
Expedientes administrativos.	Predicción SAMOA.
Calidad del aire y ruido.	Mareógrafos.
Huella de Carbono	Control carga de vehículos eléctricos.

2.2. **Estrategia de Implantación GIS**

La implantación y desarrollo de un sistema GIS (Sistema de Información Geográfica) como parte de una estrategia hacia la creación de un gemelo digital en el Puerto de Castellón implica varias fases y actividades claramente delineadas. Previamente se deben establecer los agentes interesados así como las necesidades de gestión del activo. En este sentido, teniendo en las necesidades de cada uno de los agentes interesados en el gemelo digital del puerto, se establecen en la tabla 2 una serie de requerimientos establecidos en la APC.

Tabla 2. Requerimientos. Fuente: Elaboración Propia

Departamento/ Agente Interesado	Fuente
Infraestructuras	Gestión de los activos del puerto Muelles y pantalanes así como su tipología Red viaria Red ferroviaria Edificios y usos Parques, jardines y zonas lúdicas Canales y sistemas de drenaje Límites zona concesionada - zona pública Redes de servicios y características principales (pluviales, agua potable, electricidad, alumbrado, telefonía, saneamiento, fibra…) Plazas de aparcamiento Señalización viaria y ferroviaria (vertical y horizontal) Señalización marítima Vallado y accesos Mobiliario urbano Cualquier otro elemento que configure un activo del Puerto.
Dominio Público	Concesiones y autorizaciones georreferenciadas. Planes urbanísticos, Plan Especial del Puerto, Delimitación de Espacios y Usos Portuarios, Zonas de Valoración.

BY-NC-SA

	Referencia Catastral Inmovilizado de la APC Coordinación con la plataforma Integrados. Incidencias de Policía Portuaria y contestables desde Dominio Público. Interrelación, Visualización y retroalimentación. Expediente-representación gráfica Ubicación de los servicios e instalaciones de suministros.
Operaciones Portuarias	Detalle de terminales y sus instalaciones. Definición de muelles y líneas de atraque. Definición de elementos de los mismos: Norays, bolardos, defensas, escaleras, tomas de agua y luz, red contra incendios y tomas, etc. Posicionamiento de maquinaria y equipos de los muelles. Ubicación, estado y evolución de las averías y obras. Puntos de luz diferenciando entre las específicas para los buques y las incluidas en los servicios generales. Información y delimitación de las concesiones así como ficha resumen de cada expediente asociado a la misma. Ocupaciones de superficie en tiempo real y con datos en ficha resumen. Posicionamiento real de las mercancías y acopios en los muelles. Posicionamiento real de las mercancías peligrosas. Localización de los vehículos oficiales y de la Policía Portuaria. Ubicación y estado de los accesos habilitados para los tráficos rodados y ferroviarios. Información real sobre las estaciones meteorológicas.
Medio Ambiente	Infraestructuras Estaciones de medida de la calidad del aire Contadores digitales (agua, …) Lavarruedas Ubicaciones actuaciones de mantenimiento Mercancías peligrosas + seguridad protección Mangas de viento Medios lucha contra contaminación marina Pantallas atrapapolvo/cortaviento y separadores de hormigón Puntos de muestreos trimestrales de agua y sedimentos marinos (Zona I) Puntos de toma de agua de mar y puntos de vertido a aguas interiores Red de pluviales y balsas de decantación o areneros Red de agua, luz y fibra Contenedores de basura (punto limpio, RPs taller APC, servicio MARPOL) Fosas sépticas y conexiones a la red municipal de saneamiento Emisiones canalizadas de contaminantes atmosféricos Zonas de especial protección (aves y fauna) Zonas de parking y puntos de recarga eléctrica Depósito elevado, aljibe, caldera ACS, fuentes ornamentales, riegos de jardines Instalaciones fijas de suministro de combustible a embarcaciones Licencias y autorizaciones en material ambiental Registro de sanciones e incidencias medioambientales Planes de seguridad y medioambiente Terrenos concesionados y/o en autorización
Innovación	Interconexión con plataformas de cualquier Administración u Organismo vinculado con la APC Consulta en la plataforma de la gestión e información georreferenciada.
Económico Financiero	Geolocalización de infraestructura y todos sus datos asociados (costes, facturación.)

BY-NC-SA

Bienes de explotación de dominio público
Bienes de infraestructuras (muelles, viales)
Subvenciones
Integración Navision
Integrados, plataforma de gestión.
Bienes inmuebles registro portuario – referencias catastrales
Plataformas de gestión

Con el objeto de poder llegar a gestionar estos activos, en la estrategia de la APC, se encuentra desarrollando las siguientes fases de la implantación, resumiendo a continuación las distintas etapas y enfoques principales.

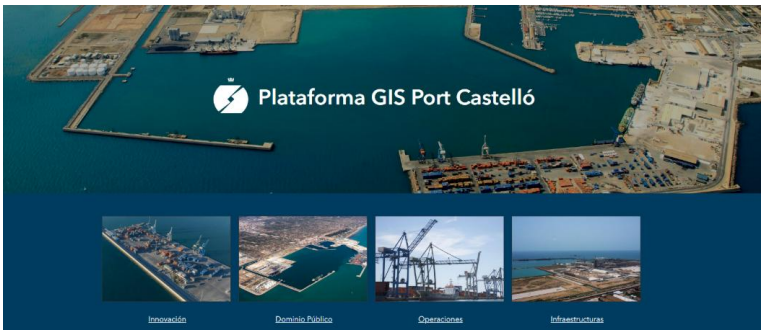


Fig. 3 Plataforma GIS. Fuente: Autoridad Portuaria de Castellón

2.2.1. Creación de una Base de Datos

Previamente se parte de un análisis de Cartografía: La Evaluación de la cartografía existente y realización de trabajos de campo para actualizar y complementar los datos debe permitir crear un inventario de infraestructura portuaria, elementos de gestión como arquetas y redes de servicios, y la incorporación de datos georreferenciados mediante escáneres láser. Con ello se consigue un inventariado de todos los elementos físicos.
Esta fase finaliza con el desarrollo de una Geodatabase Espacial, diseñando un repositorio centralizado que contenga información territorial relevante para diversos departamentos de la Autoridad Portuaria. Este repositorio debe ser compatible con la plataforma GIS y facilitar el acceso y gestión de datos, almacenando la información territorial.

2.2.2. Conversión y Estandarización de Datos

El tratamiento de datos es fundamental para el éxito de la implantación. Para ello la migración y estandarización de datos existentes al nuevo modelo de base de datos se hace fundamental. Esto requiere la implementación de un sistema de gestión de bases de datos que permita la integración de nuevos elementos y la actualización de información, desarrollando herramientas para la creación y gestión de metadatos.

2.2.3. Implementación del GIS

La puesta en marcha de la plataforma GIS debe estar basada en la capacitación del personal técnico en su uso y administración. Se busca garantizar que los usuarios comprendan las funcionalidades de la plataforma para maximizar su utilidad. Además, se debe integrar con los sistemas existentes y aplicaciones de la APC, como PMS, ERP y sistemas de control de acceso, desarrollando paneles de control y aplicaciones que faciliten la toma de decisiones operativas.

BY-NC-SA

Fig. 4 Plataforma GIS – Activos de Infraestructuras. Fuente: Autoridad Portuaria de Castellón

Fig. 5 Plataforma GIS. Portal de Infraestructuras – Representación arquetas de servicios. Fuente: Autoridad Portuaria de Castellón

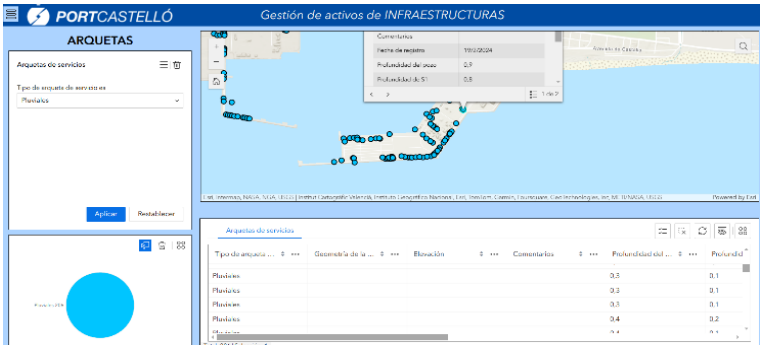


Fig. 6 Plataforma GIS. Portal de infraestructuras – Representación geográfica de arquetas de pluviales. Fuente: Autoridad Portuaria de Castellón

2.2.4. Soporte y Mantenimiento

Mediante la creación de una oficina GIS, como soporte técnico continuo para la gestión y optimización de la plataforma GIS. Esta oficina se encarga de la actualización de datos mediante el mantenimiento periódico de la base de datos con nueva información generada, así como actualización y ampliación de la cartografía.

2.2.5. Formación

La capacitación del personal es fundamental para asegurar que los usuarios y agentes interesados estén preparados para utilizar eficazmente la plataforma GIS y sus herramientas asociadas.

2.2.6. Resultado de la implantación del GIS

La estrategia hacia el gemelo digital del Puerto de Castellón se fundamenta en una integración efectiva de la información geoespacial y tecnológica, garantizando que los datos sean precisos, accesibles y útiles para

BY-NC-SA

la toma de decisiones. Cada fase del proceso está interrelacionada y busca establecer un sistema robusto y adaptable que evolucione con las necesidades del puerto

2.3. **Estrategia de Implantación BIM**

El proceso de desarrollo de un gemelo digital tiene como uno de los pilares la gestión de activos de la infraestructura mediante la implantación de la metodología BIM, la cual permite la creación de modelos digitales que reflejan la realidad física y funcional del puerto. Desde Puertos del Estado se ha fomentado la *Guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal*, que según la experiencia de proyectos de la Autoridad Portuaria está como base en la implantación. En este contexto, la Autoridad Portuaria de Castellón (APC) se embarca en un ambicioso proyecto de implementación de BIM, estructurado en varias fases que aseguran una integración efectiva y sostenible de esta metodología en su operativa diaria. A continuación, se describen las fases que componen este desarrollo, alineadas con la implantación de BIM.

2.3.1. Fase de Gestión Inicial

La Fase de Gestión Inicial es crucial para establecer las bases del proyecto. Se establece el proyecto formalmente, validando y adaptando el plan de trabajo. Esta fase es crucial para sentar las bases del éxito futuro. Previo a la implementación de BIM, es esencial realizar un diagnóstico de la situación actual de la APC. Este análisis busca evaluar el grado de digitalización y la predisposición de la organización hacia el uso de BIM.

Aquí se formaliza el inicio del desarrollo del gemelo digital, validando un plan de trabajo que contemple los aspectos técnicos y organizativos necesarios. Obtener un diagnóstico de la situación actual de la APC en términos de digitalización y automatización de procesos permite:

- Evaluar el estado de madurez BIM en la APC. Conclusiones claras sobre la preparación de la APC para adoptar esta metodología.
- Identificar los estándares y procedimientos existentes, así como el software utilizado que se relaciona con BIM.
- Software actual: Análisis de las herramientas utilizadas, como GIS y GMAO, y su adecuación a las necesidades futuras.
- Definir un punto de partida claro para la implementación del gemelo digital.

El resultado de este diagnóstico permitirá establecer un punto de partida para la implementación de BIM. Este diagnóstico se traducirá en un informe que identifique las problemáticas y oportunidades para el uso de BIM en la gestión de activos portuarios, sentando las bases para las fases siguientes.

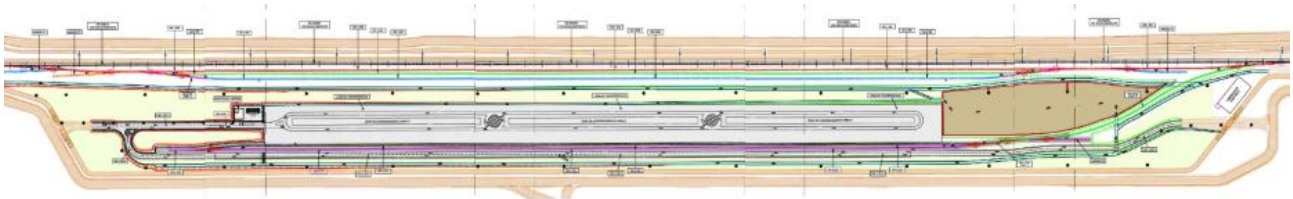


Fig. 7 Estación Intermodal – Piloto implantación BIM-GIS en APC. Fuente: Autoridad Portuaria de Castellón

2.3.2. Fase de Gestión de Ejecución

En esta fase, se procede a la ejecución de las tareas y procesos necesarios para el desarrollo de la implantación incluyendo:

El desarrollo de un Plan de Implantación BIM, desarrollando una hoja de ruta que detalle los pasos necesarios para la implementación del gemelo digital mediante la definición de tareas específicas con cronogramas y recursos necesarios, diferenciando entre procesos internos y aquellos que requieren apoyo

BY-NC-SA

externo. La clave es la creación de un plan de actuación que contemple todas las etapas necesarias para una integración exitosa de BIM.

Para el desarrollo de la gestión se hace necesario definir las Especificaciones Técnicas para Entregas BIM, con requisitos claros para las entregas en formato BIM, asegurando que todos los documentos y modelos digitales cumplan con las normativas y estándares establecidos, como el formato IFC para la interoperabilidad. La definición de especificaciones técnicas es fundamental para asegurar que los futuros proyectos se alineen con los estándares BIM. Estas especificaciones incluirán, entre otros aspectos:

- Datos de partida y software a utilizar.
- Formatos de los entregables y criterios de nomenclatura.
- Sistemas de clasificación y segregación de información.

Estas directrices garantizarán que toda la documentación recibida esté debidamente estructurada y referenciada, facilitando así la gestión integral de los activos.

La creación de un “Common Data Environment (CDE)” es esencial para la implementación de BIM. Este entorno servirá como plataforma colaborativa para la gestión estandarizada de proyectos. El Repositorio Común de Datos (CDE), punto base de implantación de un entorno colaborativo que facilite la gestión digital de proyectos. Este repositorio permitirá la organización y accesibilidad de la información, alineándose con la ISO 19650 y asegurando que toda la documentación sea fácilmente accesible y utilizable en el futuro.

Para la correcta implementación de BIM, es necesario establecer procedimientos y protocolos claros para cada fase del ciclo de vida del proyecto: planificación, ejecución, construcción y explotación. Esto incluye la estandarización de archivos, flujos de trabajo y condiciones de intercambio de información, de forma que todos los actores involucrados sigan un marco de trabajo estandarizado.

Fig. 8 Edificio Nueva Sede – Piloto implantación BIM-GIS en APC. Fuente: Autoridad Portuaria de Castellón

2.3.3. Procesos de Gestión de Finalización

La fase de gestión de finalización se centrará en cerrar formalmente el proyecto, asegurando que toda la documentación y los modelos digitales sean entregados y validados.

El control de calidad será una parte integral del proceso, garantizando que los modelos 3D entregados cumplan con los requisitos establecidos. Esto incluye la revisión de proyectos, asistencia en la dirección de obra y la integración de modelos en el sistema general. Este control incluirá la verificación de la integración del modelo con otros sistemas, como GIS y GMAO, para asegurar la interoperabilidad

Una transición exitosa hacia BIM requiere que el personal de la APC esté adecuadamente capacitado. Por eso, la formación especializada y asistencia técnica continua asegura una correcta utilización de la metodología BIM y el gemelo digital. Actualmente se encuentra desarrollando proyectos piloto para asegurar la correcta aplicación de la metodología en todas las fases del ciclo de vida del proyecto.

Finalmente, la gestión del cambio será un aspecto crítico en la implementación de BIM. Se diseñará un plan de formación que abarque desde la capacitación básica hasta la formación técnica avanzada, asegurando

BY-NC-SA

que tanto el personal de la APC como los proveedores estén preparados para adoptar esta metodología de manera efectiva, buscando minimizar la resistencia al cambio y fomentar la adopción de nuevas tecnologías.

2.3.4. Resultado de la implantación del BIM

La implementación de un gemelo digital en la Autoridad Portuaria de Castellón, a través de la metodología BIM, no solo mejorará la gestión y mantenimiento de los activos, sino que también proporcionará una plataforma para la toma de decisiones informadas y eficientes. Al seguir un enfoque estructurado que abarca desde la gestión inicial hasta la finalización, la APC está bien posicionada para aprovechar al máximo las ventajas que ofrece BIM, facilitando una gestión más eficiente y sostenible de sus activos en el futuro. Con ello la APC podrá maximizar el valor de sus inversiones y asegurar la sostenibilidad de sus operaciones en el futuro. Este proceso de transformación digital se convertirá en un modelo a seguir para otras autoridades portuarias y organizaciones en el ámbito de la infraestructura.

3. **Conclusiones**

La transición hacia un gemelo digital en la Autoridad Portuaria de Castellón representa para la organización un avance significativo en la gestión de infraestructura del Puerto de Castellón. La integración de tecnologías GIS, BIM y GMAO está permitiendo la creación de un modelo colaborativo que no solo centraliza la información, permite una mejor toma de decisiones, una planificación más eficiente y una gestión más sostenible de los recursos.

Este proceso no solamente tendrá en cuenta la gestión de la infraestructura física sino también la incorporación de la operativa portuaria de forma que contribuya a la eficiencia del proceso al pretender analizar en tiempo real la capacidad de gestión de atraques y reducir tiempos de inactividad. Además, se está incorporando la monitorización del entorno ambiental del puerto. Con ello, para el éxito de la implementación se tienen en mira los siguientes puntos:

- Optimización de procesos, identificando áreas de mejora en la gestión y mantenimiento de la infraestructura, pero también en la gestión de atraques y operaciones portuarias.
- Mejora en la seguridad, incorporando la monitorización en tiempo real con el objeto de mejorar la seguridad general de una infraestructura estratégica y crítica como es un puerto.
- Sostenibilidad mediante una gestión eficiente de los recursos.

El gemelo digital, como herramienta de simulación y análisis en tiempo real, aplicado al Puerto de Castellón pretende transformar la forma en que se gestionan los activos y se toman decisiones dentro del puerto. Al proporcionar una visión integral y actualizada de la infraestructura, los responsables podrán planificar mejor las operaciones, anticiparse a posibles problemas y responder de manera más eficiente a las demandas del entorno.

Actualmente se encuentra en un proceso de creación de una plataforma común de acceso a la información que permita una gestión más ágil y coordinada, contribuyendo a la creación de un puerto más eficiente, seguro y sostenible, y en conclusión poder afrontar los desafíos del futuro garantizando un desarrollo del puerto sostenible. La implementación de esta estrategia digital es un paso crucial hacia un puerto más inteligente, eficiente y sostenible.

4. **Mejora Continua**

Como en todo proceso de implantación, en el caso del desarrollo e implantación del gemelo digital que aglutina tanto el GIS, BIM, GMAO así como otras herramientas de gestión que se encuentran en diferentes fases de avance, nos encontramos con la necesidad de la mejora continua del proceso, ya que a medida que se integran nuevas tecnologías y se recopilan datos más precisos, el modelo digital se ajusta y optimiza de forma constante. La mejora continua se ve reflejada en la constante retroalimentación de los diversos agentes involucrados en la gestión portuaria, desde la explotación y seguridad, pasando por la sostenibilidad ambiental, la económica, la innovación hasta el mantenimiento y proyectos de obras. Esta

 BY-NC-SA

interacción constante permite identificar áreas de oportunidad para perfeccionar procesos, reducir costos operativos y mejorar la eficiencia en la gestión de los activos, asegurando que el puerto esté preparado para afrontar los retos del presente y del futuro de forma ágil y efectiva. Para ello, a partir de la experiencia del actual proceso, se pueden establecer las siguientes recomendaciones siempre con el objetivo de maximizar y hacer uso de los beneficios del gemelo digital:

- Formación, se debe asegurar que todo el personal esté capacitado en el uso de las nuevas tecnologías y herramientas digitales.
- Fomentar la colaboración continua entre los diferentes agentes involucrados en la gestión portuaria para garantizar una integración efectiva de los procesos.
- La actualización continua de datos, manteniendo la base de datos actualizada así como permitir la incorporando de nuevas tecnologías y fuentes de información.
- Realizar evaluaciones periódicas del impacto del gemelo digital en la eficiencia y sostenibilidad del puerto.

La transformación digital en los puertos es una tendencia inevitable y necesaria. La Autoridad Portuaria de Castellón se encuentra en este proceso implementación de desarrollo de un gemelo digital con el objetivo de transformar la gestión portuaria en un marco de colaboración e integración de tecnologías tales como el GIS y BIM en la búsqueda de puertos más eficientes y sostenibles.

Referencias

Aita, D. (2022). Digitalización en puertos: aplicación de gemelos digitales en la complejidad logística. CEPAL.

Pedraza López, A. (2022). Evaluación de implementación utilizando iTwin. js para la integración de gemelos digitales en el Puerto de Buenaventura.

Puertos del Estado. (2019). *Guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal*.

 BY-NC-SA

MODELO BIM DE LA CENTRAL NUCLEAR DE ALMARAZ

Lopez de Bustos, María; del Pino Herrera, Julio; Rojas Moreno, Víctor; García Vargas, Jesús.
Coordinador BIM Instalaciones (INCOSA S.A.), España, mlopezb@incosa.es; BIM Manager (Empresarios Agrupados Internacional), España, jdpino@empre.es; Jefe de Transición de Activos (Centrales Nucleares Almaraz-Trillo), España, v.rojas@cnat.es; Responsable de actividades preparatorias del desmantelamiento (Centrales Nucleares Almaraz-Trillo), España, j.garcia@cnat.es;

Abstract

The project consists of creating a BIM model of the Almaraz Nuclear Power Plant. The objective is to optimize the management of changes and modifications to be made at the plant during the different operational phases: operation, shutdown, and decommissioning.

The project is divided into two phases in which the automated modeling of the architecture and structure of the buildings and the systems of the plant is carried out as well as the acquisition and integration of physical parameters of buildings and components into the model. It is developed with a LOD 300, allowing the user to perform analyses with a high degree of detail.

The presentation addresses the complexity of integrating the document management of a plant of these characteristics with the use of advanced techniques to perform modeling with necessary quality and within a tight schedule. For this purpose, a methodology has been developed that has allowed integration of point cloud and plant documentation, with management and development programming and modeling automation routines in processing using tools such as Dynamo or Python.

***Keywords**: BIM, nuclear power station, dismantling, data, methodology, Dynamo, automation, interoperability, point cloud.*

Resumen

El proyecto consiste en la creación de un modelo BIM de la Central Nuclear de Almaraz. El objetivo es optimizar la gestión de cambios y modificaciones que se deben realizar en la planta durante las diferentes fases operativas: operación, parada y desmantelamiento.

El proyecto se divide en dos fases en las que se lleva a cabo la modelización automatizada de la arquitectura y estructura de los edificios y los sistemas de la planta, así como la adquisición e integración de parámetros físicos de edificios y componentes en el modelo. Se desarrolla con un LOD 300, permitiendo al usuario realizar análisis con un alto grado de detalle.

La presentación aborda la complejidad de integrar la gestión documental de una planta de estas características con el uso de técnicas avanzadas para realizar la modelización con la calidad necesaria y dentro de un plazo ajustado. Para ello, se ha desarrollado una metodología que ha permitido la integración de nube de puntos y documentación de la planta, con la programación de gestión y desarrollo y rutinas de automatización de modelización en el procesamiento utilizando herramientas como Dynamo o Python.

***Palabras clave:** BIM, central nuclear, desmantelamiento, datos, metodología, Dynamo, automatización, interoperabilidad, nube de puntos.*

BY-NC-SA

Introducción

Las centrales nucleares que actualmente operan en nuestro país se diseñaron durante el último tercio del siglo pasado. La documentación inicial de estas centrales se realizó en papel mediante métodos manuales. Con la llegada de las herramientas informáticas se digitalizó gran parte de esta documentación, creando bases de datos que han ido mejorándose con el paso de los años.

Aun habiendo evolucionado notablemente la forma de trabajar y documentar la información, hasta ahora no se disponía de un modelo digitalizado de la C.N. Almaraz que integrase la información de los componentes y estructuras. Por ello, dentro de las actividades preparatorias del desmantelamiento, sujetas a acuerdos con ENRESA, se decidió realizar un inventario físico preliminar de estructuras y componentes, y un modelo BIM (Building Information Modelling) de la Central.

El presente artículo trata de mostrar los resultados del trabajo realizado durante el último año en el que se ha desarrollado un modelo BIM de la Central siguiendo los requisitos de Garantía de Calidad aplicables en proyectos del sector nuclear. En particular se centra en el modelado de sistemas de tuberías.

Adicionalmente, se expone la integración del inventario de componentes de la central en el modelo BIM y cómo éste ha servido para completarlo. Gracias a la integración de ambos se ha generado una herramienta con un gran potencial de uso en los trabajos que se realizan durante la explotación de la Central, pero también servirá para analizar, plantear y optimizar los trabajos que se realizarán en las futuras fases operativas de la Central: cese de explotación y desmantelamiento.

1. La Central Nuclear de Almaraz y la documentación en torno a ella

1.1. La Central Nuclear de Almaraz y alcance del modelo BIM inicial

La C.N. Almaraz es una planta de generación de energía eléctrica ubicada en el municipio de Almaraz, en la provincia de Cáceres, España. Fue inaugurada en 1983 y cuenta con dos unidades de reactor nuclear, conocidas como Almaraz I y Almaraz II, ambas de tipo PWR (Reactor de Agua a Presión). Es la Central de mayor capacidad de generación en España. Está operada y gestionada por la empresa Centrales Nucleares de Almaraz y Trillo (CNAT).

El emplazamiento en el que se encuentran las dos unidades de reactores nucleares cuenta con diversos edificios cuyo uso está destinado a la operación y mantenimiento de los reactores.

El modelo BIM inicial de la Central tiene como alcance todo el emplazamiento, centrándose en la mayor parte de la superficie y construcciones de la Central.

En particular, se modelan 27 áreas/edificios de la Central, que se encuentran divididas en función de si son zonas de exposición radiológica o no.

Esta diferenciación, como se expone más adelante, tiene un impacto muy importante en la organización del Proyecto tanto desde un punto de vista de recursos como de gestión de la información.

El nivel de detalle del modelado incluye los siguientes elementos:

- Estructuras de todo tipo (metálicas y de hormigón), incluyendo edificios, túneles, estructuras de toma, cimentaciones, conducciones embebidas y subterráneas, puertas, plataformas, escaleras, pasarelas, etc.
- Grandes componentes mecánicos (vasija, generadores de vapor, presionador, bombas, cambiadores, filtros, desmineralizadores, tanques, grandes válvulas, ventiladores, housings, chimeneas, etc.), sin necesidad de modelar detalles internos.
- Grandes componentes eléctricos y de I&C.
- Conducciones de tubería y válvulas y dispositivos asociados, incluyendo conducciones de ventilación.
- Conducciones eléctricas (agrupaciones de bandejas).

BY-NC-SA

- Grandes soportes de conducciones mecánicas y eléctricas.

Todo este alcance se ha dividido en dos grandes hitos:

- Hito 1. Modelado de estructuras y arquitectura de los edificios.
- Hito 2. Modelado de sistemas de la Central, dividido en diferentes hitos por tipo de sistema (tuberías, conductos de ventilación y climatización, conducciones eléctricas, equipos) y por edificio.

1.2. **Organización de la información de la Central**

Cualquier central nuclear es en realidad un proyecto de ejecución que se mantiene vivo a lo largo de toda su vida operativa y más allá de ésta, es decir, durante las fases de cese de explotación y desmantelamiento. Por ello, es importante mantener la documentación actualizada y adecuadamente organizada por áreas y sistemas, preferiblemente, para facilidad de consulta y manejo.

La Central dispone de diferentes bases de datos en las que se encuentra guardada toda la información asociada a la operación, el mantenimiento y la gestión. Dicha información es la que se ha utilizado para la elaboración del modelo BIM de la Central: datos técnicos, planos…

Como complemento se ha utilizado la nube de puntos de la Central realizada con anterioridad a este proyecto. La nube de puntos permite, además de resolver dudas y complementar la información en la documentación, llevar a cabo la revisión del modelado de los sistemas.

En España, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) establece regulaciones sobre la seguridad y control del acceso a material nuclear y áreas de alto riesgo. Estas regulaciones incluyen limitaciones en el acceso a información confidencial sobre las instalaciones nucleares y tecnologías críticas. Los ciudadanos de ciertos países pueden estar sujetos a restricciones debido a consideraciones sobre la seguridad nacional y la protección contra espionaje. Esto deriva en tener que crear diferentes grupos de trabajo, según la procedencia de cada trabajador.

Por todo lo expuesto anteriormente, este tipo de proyectos exige que los intervinientes en todo el proceso se ajusten a un procedimiento de trabajo exhaustivo y detallado. La gestión de la información impacta directamente tanto en la preparación y definición de alcances, como en su reparto entre los grupos de modeladores.

2. **Preparación y organización del entorno para el modelado BIM de la Central**

Dada la complejidad del proyecto y el plazo tan ajustado (ligeramente inferior a un año), la búsqueda de las herramientas que permitiesen cumplir con todos estos requisitos expuestos resultó vital para el buen desarrollo del proyecto. Para ello, se definieron los requisitos que debía cumplir la herramienta a emplear:

- Centralizar y controlar el acceso a la información para garantizar el cumplimiento con los niveles de seguridad que requería este proyecto.
- Permitir llevar un control e histórico de toda la información compartida, además de poder dividir la información a compartir de forma que fuese asumible para personal que no está familiarizado con el proyecto.
- Permitir llevar un control y seguimiento de la revisión que se realizase, que debía cumplir, además, con el sistema de Garantía de Calidad de un proyecto en una central nuclear.
- Generación de incidencias, seguimiento y resolución de las mismas.

A pesar de que toda la información de la central ya se encontraba en software internos de gestión documental, como se ha expuesto anteriormente, se optó por el uso de la herramienta Autodesk Construction Cloud (ACC) como herramienta de gestión (CDE, Common Data Environment) del proyecto para el desarrollo del modelo BIM inicial.

La CDE se configuró según los requisitos definidos en el plan de ejecución BIM (BEP), que fue aprobado tanto por CNAT como por ENRESA para garantizar que se cumplían todos los requisitos especificados.

BY-NC-SA

Junto a esta herramienta de organización del CDE, el desarrollo y control de seguimiento del modelo BIM se apoyó en herramientas de análisis de datos (bases de datos internas, Excel, programación de rutinas) y tratamiento de información extraída de documentos y planos 2D y 3D (Pdf, AutoCAD, Revit, Navisworks), que fue utilizada para todo el modelado de la Central, incluido los sistemas de tuberías.

2.1. **Información de partida para el modelado de los sistemas de tuberías**

Como se ha expuesto anteriormente la herramienta ACC se configuró para utilizarse en todos los modelos que componen el proyecto del modelo BIM de la Central. Para poder generar el modelado de sistemas de tuberías se utilizó como documentación de partida:

- Documentación de proyecto: planos de tuberías, diagramas de flujo (P&ID), isométricos, planos de fabricante, etc. Se ha extraído la información que se modela: identificación de tuberías y válvulas, recorridos por la central, dimensiones, elevaciones, etc.
- Inventario de componentes. El inventario físico preliminar de componentes y estructuras, en el que se ha recogido la información de los componentes y estructuras de la central, en cuanto a ubicación, material, volumen y superficie, y peso principalmente.
- Este trabajo se ha realizado en otro proyecto en paralelo, dentro de las actividades sujetas a acuerdos con ENRESA, bajo un programa de Garantía de Calidad para actividades relacionadas con la seguridad nuclear, conforme a normativa nuclear específica.
- De él se han obtenido las características físicas (superficie externa e interna, volumen, peso y ubicación, entre otros) de las tuberías y válvulas.
- Modelo BIM de estructuras. El modelo de los edificios se ha realizado de forma que se diferencian todas las salas que hay en cada edificio. Además, se diferencia la cara del muro a la que pertenece cada recinto, al igual que techos y suelos. Esto se hace para poder caracterizar el nivel de radiación que hay en cada cerramiento y poder conocer la longitud de las conducciones que se encuentran instaladas en cada recinto.
- Nube de puntos. Se ha utilizado para la revisión del modelado de los sistemas, además de utilizarse como apoyo para la comprensión y análisis de la documentación.

2.2. **Interrelación con el inventario físico preliminar de componentes**

El inventario físico preliminar de componentes ha servido, de dato de partida para alimentar de información al modelo (identificación de componentes, datos geométricos, etc.), pero para el caso de las tuberías el modelo BIM ha servido para completarlo.

Uno de los requisitos que debía cumplir el inventario de componentes, que en general se ha cumplimentado a partir de la información extraída de las bases de datos de C.N. Almaraz, es incluir la longitud de tubería que hay instalada por cada recinto.

Se analizó la información informatizada disponible, pero sólo se disponía de la longitud total instalada de cada tubería, pero no diferenciada por recintos.Por ello, se decidió que la forma óptima de obtener esta información era a través del modelo BIM, lo cual impactó en la forma de modelar la estructura de los edificios.

A continuación, se muestran los campos que componen el inventario de componentes de la Central. En negrita se identifican los campos que se obtienen a partir del modelo BIM, el resto se obtiene de la información extraída de las bases de datos de C.N. Almaraz y se cargan en cada componente como datos asociados a cada uno.

Tabla 1. Campos inventario físico de componentes

Campos	**Descripción**
CodComponente	**Codificación del componente**

BY-NC-SA

Campos	**Descripción**
TipoComponente	Tipo de componente: motor, bomba, tubería
CodUbicación	Localización: edificio, elevación y cubículo. Campo requerido por requisitos de AERI (Automatic Estimation of Radiological Inventory) [1]
Cota	Elevación
CodEdificio	Código de identificación del Edificio
CodZona	**Recinto**
DesZona	Texto descriptivo del cubículo
CodSistema	Código de identificación del sistema
DesSistema	Descripción del Sistema
CodSubsistema	Código de identificación del subsistema
DesSubsistema	Descripción del subsistema
Material	Tipo de material, (acero al carbono, acero galvanizado...)
	Materiales que lo conforman. Composición química, si aplica
	Materiales peligrosos con los que ha estado en contacto, si aplica
Masa	Masa (g)
DesComponente	Descripción del componente
Alto	Alto (cm)
Ancho	Ancho (cm)
Fondo	Profundidad (cm)
Longitud	**Longitud (cm)**
DiámetroExt	Diámetro externo (cm)
Espesor	Espesor (cm)
VolAparente	Volumen aparente (cm^3)
ContInterna (*)	Puede tomar sólo los valores 0 ó 1: 0 Subsistema SIN contaminación interna 1 Subsistema CON contaminación interna
SupExt (cm2)	Superficie externa (cm^2)
Sup Int (cm2)	Superficie interna (cm^2)
Acabado Final	Identificador de acabado o tratamiento de superficie (pintura, pintura epoxi, electropulido, desnudo…)
Corriente	Identificador de corriente. Sólo se admiten los siguientes valores: Hormigón, acero, materiales no férricos, cables, aislamientos, otros.

3. **Desarrollo del modelado BIM de sistemas de tuberías de la Central**

El modelo BIM inicial de la Central Nuclear de Almaraz se ha realizado conforme a los estándares definidos al respecto por AEN/CTN 41/SC 13 de AENOR, CEN/TC 442 de CENELEC y ISO/TC 59/SC13 de ISO. Estos trabajos se han realizado bajo un programa de Garantía de Calidad para actividades relacionadas con la seguridad nuclear, conforme a normativa nuclear específica. El nivel de desarrollo del modelo es de un LOD 300 según lo definido por BIM Fórum y acorde a la ISO 19650.

BY-NC-SA

El modelado de sistemas de tuberías de la Central ha supuesto un gran reto por el gran volumen de información (más de 20.000 isos de tuberías, a lo que hay que añadir más de 35.000 válvulas y equipos) y el plazo, ligeramente inferior a un año. Por ello, fue necesario organizar diferentes equipos de modeladores de forma que se pudieran acometer actividades en paralelo tanto de modelado como de revisión, optimizándose así el tiempo de duración del Proyecto.

3.1. **Estructura de Proyecto**

El equipo para llevar a cabo el modelo BIM de la Central ha contado con más de 35 personas. La estructura del proyecto creada y sus funciones para el modelado de sistemas de tuberías han sido:

- Dirección de Proyecto del modelo BIM en la que se integra el BIM Manager del Proyecto, encargada de:
    - Preparación y gestión de la información para la transmisión a los diferentes equipos de modeladores.
    - Definir los criterios a seguir por todos los equipos de modeladores.
    - Resolución de dudas y consultas.
    - Definición de objetivos y seguimiento de los mismos.
    - Coordinación de equipos de modeladores y equipos de revisores.
- Equipos de modeladores:
    - Coordinadores de equipos de modeladores: analiza y organiza la información recibida para modelar: documentación, instrucciones e incidencias asociadas al proceso de revisión. También participa en las tareas de modelado según las necesidades del Proyecto.
    - Responsables de equipo: transmite a los modeladores las tareas asignadas: modelado y resolución de incidencias. Centraliza y resuelve dudas del equipo, modela y realiza un control directo de la producción. Se encarga de transmitir las dudas al Coordinador de forma que la resolución de las mismas se asegure que sigue el mismo criterio que en otros equipos.
    - Modeladores: genera el modelo BIM y resuelve las incidencias generadas en los plazos definidos.
- Equipos de revisores:
    - Coordinador de equipos de revisores: distribuye los sistemas a revisar, según necesidades definidas por la Dirección del Proyecto. Asegura que la carga de incidencias en la ACC y el proceso de revisión se realiza de acuerdo con el proceso definido en el apartado 4 de este documento.
    - Revisores: realza la revisión según las instrucciones y en el plazo definido.

3.2. **Proceso de modelado seguido**

Con el objetivo de poder estandarizar procesos y cumplir con los plazos definidos se generaron rutinas en Dynamo y Python de forma que el tratamiento de la información fuera de la forma más automatizada posible. De este modo, además de reducir tiempos, se disminuía la probabilidad del error humano.

En el hito 1:

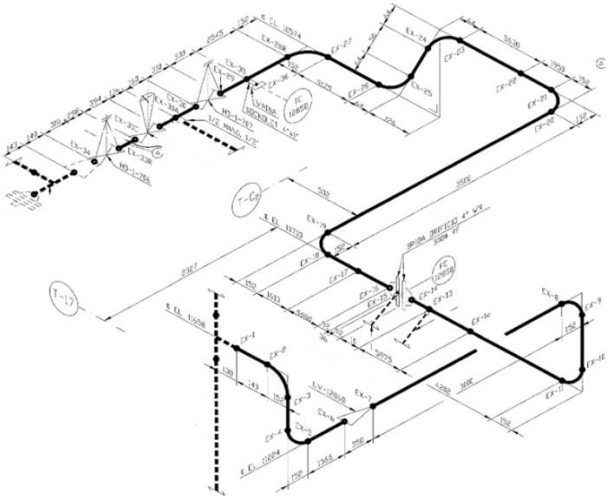
- Ubicación de elementos.
- Rellenado de parámetros a partir de masas.
    - Superficies: Se calcularon las superficies a partir de la superficie en contacto con las masas. Para elementos como barandillas o vigas semiempotradas permitió obtener este dato de manera rápida y exacta.
    - Rellenado masivo del parámetro CodZona.
- Validación de la información.

BY-NC-SA

En el hito 2 se dividió el modelado de los sistemas en diferentes tareas que además de organizar el proceso, permitía controlar el avance y poder reforzar aquellas tareas en las que se detectaba una desviación con respecto a la planificación definida.

Para ello, se analizaron más de 20.000 isométricos, para descartar aquellos que fueron anulados durante la fase de operación o que quedaban fuera del alcance.

- Tarea 1: Extracción de datos de los isométricos a hojas de cálculo de Excel. El proceso consistió en:
  - Generar la hoja de cálculo asociada al isométrico.
  - Con la información de las cotas presentes en el isométrico, se obtenían las coordenadas X, Y y Z de inicio y fin de los tramos de tuberías.
  - Adicionalmente se añadía información relativa a cada tramo de tubería:
    - Si hay asociada una brida o válvula (y el código de identificación de ese componente).
    - Continuidad entre isométricos, especificando cual, lo que permite verificar la Tarea 3.
    - Otros parámetros del inventario físico de componentes.



Documento	Linea	Sistema	Tipo Linea	Diametro	X	Y	Z	x	y	z	100	Comentarios
D-M-00282-001HD-1416892	4"-HD-1-75d-306G				0	0	10574	407,48031496063000000	407,48031496063000000	34,69160149868800000	124200	C_ISO HD-1-711d-306G
D-M-00282-001HD-1416892	4"-HD-1-75d-306G	Drenajes de calentadores (HD)	CNA-INC-MTB-TUBE-AceroSoldado	100	0	4497	0	407,48031496063000000	422,23425196850400000	34,69160149868800000	124200	C_Valvula
D-M-00282-001HD-1416892	4"-HD-1-75d-306G	Drenajes de calentadores (HD)	CNA-INC-MTB-TUBE-AceroSoldado	100	5381	0	0	425,13451443569600000	422,23425196850400000	34,69160149868800000	124200	
D-M-00282-001HD-1416892	4"-HD-1-75d-306G	Drenajes de calentadores (HD)	CNA-INC-MTB-TUBE-AceroSoldado	100	126	0	126	425,54790026246700000	422,23425196850400000	35,10498687664040000	124200	
D-M-00282-001HD-1416892	4"-HD-1-75d-306G	Drenajes de calentadores (HD)	CNA-INC-MTB-TUBE-AceroSoldado	100	7796	0	0	451,12532808399000000	422,23425196850400000	35,10498687664040000	124200	
D-M-00282-001HD-1416892	4"-HD-1-75d-306G	Drenajes de calentadores (HD)	CNA-INC-MTB-TUBE-AceroSoldado	100		-3804		451,12532808399000000	409,75393700787400000	35,10498687664040000	124200	
D-M-00282-001HD-1416892	4"-HD-1-75d-306G	Drenajes de calentadores (HD)	CNA-INC-MTB-TUBE-AceroSoldado	100	17961			510,05249343832000000	409,75393700787400000	35,10498687664040000	124200	C_Brida
D-M-00282-001HD-1416892	4"-HD-1-75d-306G	Drenajes de calentadores (HD)	CNA-INC-MTB-TUBE-AceroSoldado	100			524	510,05249343832000000	409,75393700787400000	36,82414698162730000	124200	
D-M-00282-001HD-1416892	4"-HD-1-75d-306G	Drenajes de calentadores (HD)	CNA-INC-MTB-TUBE-AceroSoldado	100		-5320		510,05249343832000000	392,29986876640400000	36,82414698162730000	124200	
D-M-00282-001HD-1416892	4"-HD-1-75d-306G	Drenajes de calentadores (HD)	CNA-INC-MTB-TUBE-AceroSoldado	100			434	510,05249343832000000	392,29986876640400000	38,24803149606300000	124200	
D-M-00282-001HD-1416892	4"-HD-1-75d-306G	Drenajes de calentadores (HD)	CNA-INC-MTB-TUBE-AceroSoldado	100	-422	0	0	508,66797900262500000	392,29986876640400000	38,24803149606300000	124200	

Fig. 1 isométrico y Excel. Trazado de tuberías. Fuente: Propia

- Tarea 2: Modelado de isométricos y ubicación según nube de puntos-isométricos. Se desarrollaron rutinas en Dynamo y Python que permitían procesar la información de la hoja de cálculo de Excel, generando cada trazado de tuberías de forma automática y agrupada. Para su ubicación en el modelo, se tomó como referencia las distancias a ejes del edificio indicadas en el isométrico y se confirmaba la posición con la nube de puntos. De esta forma, cada modelador realizaba una primera revisión para confirmar que lo generado coincidía con la ubicación real en la Central.

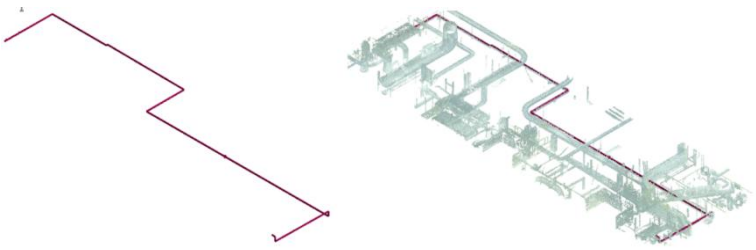


Fig. 2 Trazado de tubería y verificación con nube de puntos. Fuente: Propia

BY-NC-SA

- Tarea 3: Modelado de uniones entre isométricos. Debido a que cada isométrico no siempre contiene todo el recorrido de una tubería por la Central, ha sido necesario modelar las uniones entre isométricos. Para ello, se desagruparon los trazados de tuberías generados en la tarea 2, se generó la unión y se comprobó que el sistema de tuberías es correcto. En aquellas ocasiones que se producía cambio de edificio, se confirmaba que las coordenadas a cada lado del muro del edificio coincidían, para así asegurar la continuidad de la tubería.
- Tarea 4: Modelado de válvulas y bridas. Una vez se tenía modelada toda la tubería:
    - Modelado de válvulas y bridas, para lo que se realizaban los siguientes pasos:
        - En las hojas de cálculo de Excel generadas en la Tarea 1 se asociaron a cada tramo información relativa a la existencia de estos elementos.
        - Uso de filtros de vista para diferenciar los tramos de tuberías con dicha información y así poder modelar las válvulas o bridas en los casos que aplicaba.
        - Entre los datos asociados en la Tarea 1, el documento de partida nos permite verificar en el isométrico el código de componente de la válvula y se cotejar dicho dato con la hoja de cálculo del inventario para saber el tipo de válvula.
- Tarea 5: Se realizaban varias tareas:
    - Coordinación de interferencias entre sistemas y con la estructura y arquitectura de los edificios.
    - Corte de tuberías por recintos para poder obtener la longitud de las tuberías por cada uno de ellos. Para ello se usó Dynamo y las “masas” que representaban el volumen de cada recinto.

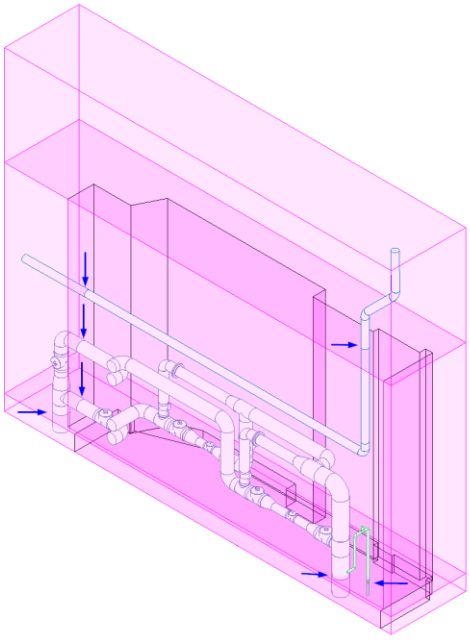


Fig.3 Masas, corte de tuberías por recintos. Fuente: Propia.

    - El código de zona se asoció a cada recinto modelado mediante la “masas” que permitían completar el parámetro de ubicación asociado a cada componente.
    - Completado de parámetros de longitud y código de componente con Dynamo.

Estas “masas” fueron generadas durante el hito 1 de modelado de estructuras y arquitectura de edificios. Esto evidencia la importancia de la preparación del Proyecto adecuada en las fases tempranas del mismo, identificándose todos los requisitos, no solo los asociados al hito que se empieza en cada fase.

BY-NC-SA

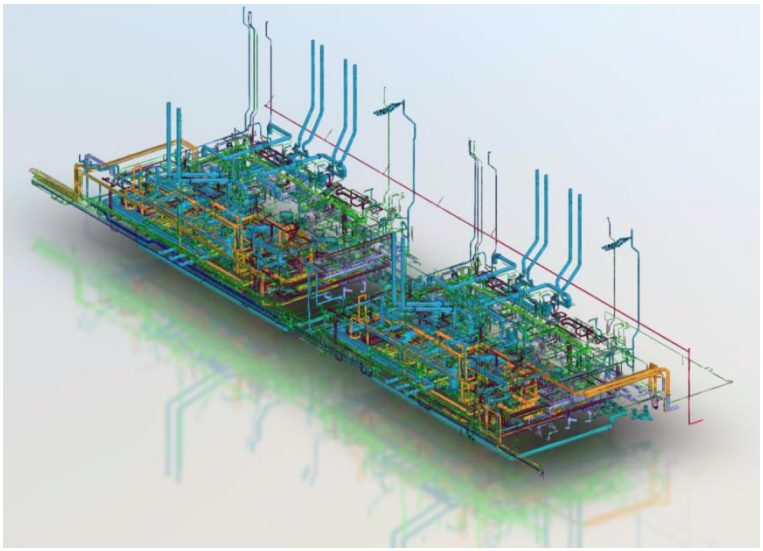


Fig.4 Edificio de Turbinas. Modelado completo de tuberías. Fuente: Propia.

Para el control y seguimiento del avance de cada una de las tareas se generaron hojas de cálculo por cada sistema en las que se controlaba el avance vinculado a los isométricos, así como el control de incidencias, tanto las generadas como dudas por los equipos de modeladores como las generadoras como errores por el equipo de revisores.

Gracias a estas hojas de cálculo se obtenían métricas de tiempos medios de producción, pudiendo reforzar los equipos según las necesidades de cada momento.

Toda esta información parcial de cada sistema se vinculaba una hoja de cálculo master (ver imagen) de manera que la información de totales y porcentajes se actualizaba en tiempo real.

SISTEMA MECÁNICO	Nº ISO	Nº ISO >2"	ANULADO	Tarea 1 OK	% T1	Tarea 2 OK	% T2	Tarea 3 OK	% T3	Tarea 4 OK	% T4	Tarea 5 OK	% T5	% SISTEMA
Agua de aportación (AP)_UdX	147	93	93	0	100%	0	100%	0	100%	0	100%	0	100%	100%
Agua de aportación al reactor (MW)_Ud1	60	42	1	41		41		41		41		41		
Agua de aportación al reactor (MW)_Ud2	47	28	0	28	100%	28	100%	28	100%	28	100%	28	100%	100%
Agua de aportación al reactor (MW)_UdX	57	24	0	24		24		24		24		24		
Drenajes de planta primaria (DR)_Ud1	454	90	12	78		78		78		78		78		
Drenajes de planta primaria (DR)_Ud2	427	94	3	91	100%	91	100%	91	100%	91	100%	91	100%	100%
Drenajes de planta primaria (DR)_UdX	84	24	3	21		21		21		21		21		
Muestreo de la planta primaria (SS)_Ud1	76	4	1	3		3		3		3		3		
Muestreo de la planta primaria (SS)_Ud2	88	6	0	6	100%	6	100%	6	100%	6	100%	6	100%	100%
Muestreo de la planta primaria (SS)_UdX	1	0	0	0		0		0		0		0		
Presurización del recinto de contención (PR)_Ud1	21	16	0	16	100%	16	100%	16	100%	16	100%	16	100%	100%
Presurización del recinto de contención (PR)_Ud2	59	54	12	42		42		42		42		42		
Refrigeración de componentes (CC)_Ud1	582	310	10	300		228		162		165		0		
Refrigeración de componentes (CC)_Ud2	691	287	6	282	100%	193	69%	192	59%	192	59%	0	4%	58%
Refrigeración de componentes (CC)_UdX	103	47	8	39		2		0		0		0		
Tratamiento de purgas de generadores de vapor (SB)_Ud1	112	61	1	60		60		60		60		60		
Tratamiento de purgas de generadores de vapor (SB)_Ud2	108	57	0	57	100%	57	100%	57	100%	57	100%	57	100%	100%
Tratamiento de purgas de generadores de vapor (SB)_UdX	49	23	0	23		23		23		23		23		
Venteo filtrado de contención (FCV)_Ud1	25	15	0	15	100%	15	100%	15	100%	15	100%	15	100%	100%
Venteo filtrado de contención (FCV)_Ud2	25	15	0	15		15		15		15		15		
Vigilancia de hidrógeno en contención (HC)_Ud1	61	4	3	1	100%	1	100%	1	100%	1	100%	1	100%	100%
Vigilancia de hidrógeno en contención (HC)_Ud2	71	3	2	1		1		1		1		1		
	3348	1297	155	1143	100%	945	97%	876	95%	879	95%	522	89%	95%

Fig. 5 Control de avance de tareas. Fuente: Propia.

4. **Revisión del modelado**

Para poder garantizar que el modelo se ajustaba a la documentación de partida utilizada se desarrolló un proceso de revisión específico ajustado a los requisitos de Garantía de Calidad en proyectos en centrales nucleares. Para ello, se desarrolló un manual de Calidad específico en el que además del proceso de revisión a seguir, se definían los intervinientes en el proyecto, las reuniones de seguimiento a realizar y los requisitos (los definidos en el BEP).

Debido a la complejidad y el elevado número de revisores necesario, se definió una check-list que permitió estandarizar el proceso de forma que se realizase del mismo modo y con el mismo grado de detalle sin importar quién lo hiciese. Los principales aspectos a revisar han sido:

- Si se han modelado las tuberías, válvulas y equipos en el modelo adecuado. Las instrucciones estaban definidas en el BEP.

BY-NC-SA

- Si todas las tuberías, válvulas y equipos se encuentran modelados. En los diagramas de flujo de cada sistema se encuentra esta información.
- Si todas las tuberías, válvulas y equipos se encuentran modelados en la ubicación correcta. Para ello se comprueba con la nube de puntos que modelo y nube coinciden en recorrido y forma.
- Que todos los parámetros asociados a cada componente se encuentran cumplimentados. Para ello se realizaba una extracción de los campos obtenidos del modelo

Por cada error detectado se generó una incidencia en la ACC de forma que cada equipo de modeladores pudiera resolverla. Una vez resuelta, el revisor revisaba que estuviera adecuadamente corregida y en caso de ser así ésta se cerraba.

Para cada sistema se ha cumplimentado una check-list a la que se adjuntaron los registros de incidencias de la herramienta de forma que pudiese ser verificado que el proceso se había seguido de forma correcta.

Gracias a este proceso de revisión se ha podido garantizar que el modelo cumple con los requisitos y el nivel de detalle exigido, pudiéndose confirmar mediante auditoría de Calidad.

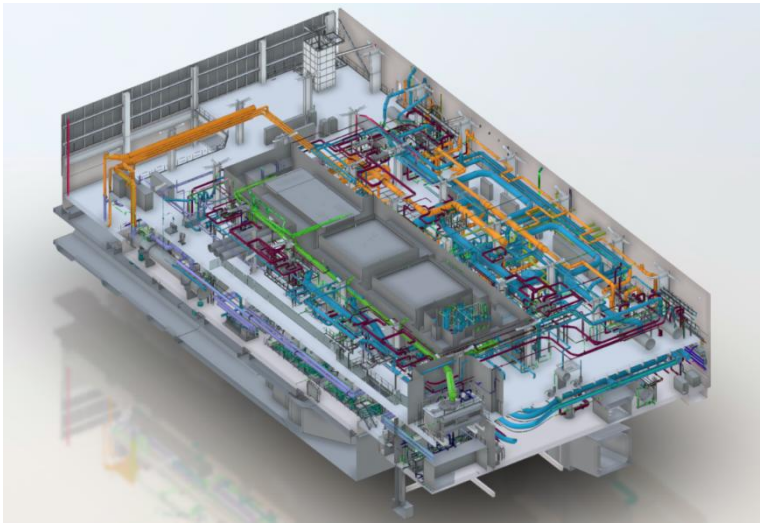


Fig. 6 Vista parcial Edificio de turbinas y tuberías. Fuente: Propia.

5. **Conclusiones**

El modelo BIM de la Central Nuclear de Almaraz es un proyecto coordinado por la empresa que gestiona la explotación de la Central, CNAT, y financiado por la empresa que gestionará su futuro desmantelamiento, ENRESA. La elaboración del modelo BIM ha sido coordinada y realizada por Empresarios Agrupados. El modelado de edificios y tuberías lo ha realizado en colaboración con Incosa, la cual ha llevado a cabo gran parte del modelado de este alcance particular, además de desarrollar automatismos para mejorar la productividad de los procesos de modelado.

El modelo BIM inicial de la C.N. Almaraz ha tenido como alcance todo su emplazamiento, centrándose en la mayor parte de la superficie y construcciones de la Central. En particular, se han modelado 27 áreas/edificios de la Central. En particular, relativo a sistemas de tuberías alcance tratado en la presente publicación, se han modelado 19.433 isométricos, 29.465 válvulas manuales, 3.091 válvulas automáticas y 4.797 equipos de sistemas mecánicos.

La elaboración de un modelo BIM de estas características ha supuesto un reto desde un punto de vista técnico y humano. Exige un grado de detalle y rigurosidad a la altura de una central nuclear, que está sometida a los controles más estrictos de Garantía de Calidad. Por ello, resulta imprescindible formar un equipo multidisciplinar que permita aportar la experiencia y conocimiento en proyectos de ingeniería de esta índole, así como del manejo de herramientas informáticas que permitan tratar la información de una forma eficaz y enfocada al propósito que se tiene.

BY-NC-SA

El análisis de la información de partida, con la perspectiva del resultado final ha permitido desarrollar estrategias apropiadas sin perder de vista la relación con las necesidades de otros hitos del proyecto.

Aunque todos los equipos de modelado han participado los diferentes hitos, la especialización en tareas concretas ha permitido en ciertas fases del proyecto un mayor control y eficacia.

La generación de este modelo, junto con la integración del inventario físico de componentes y estructuras, permitirá mejorar y optimizar actividades rutinarias de la Central, como son, entre otras, los análisis de montaje o desmontaje de componentes, la generación de escenarios para llevar a cabo reparaciones de componentes o facilitar el desarrollo de modificaciones del diseño de la Central.

Además, facilitará la formación y la transmisión del conocimiento de la Central entre aquellos agentes que están encargados de la gestión y el mantenimiento. Es decir, una herramienta con un gran potencial, que gracias a la integración del inventario físico multiplica sus posibilidades para facilitar, mejorar y optimizar los trabajos que se realizan durante la fase de explotación de la Central, pero también en las que se realizarán en las futuras fases operativas de la Central: cese de explotación y desmantelamiento.

Referencias

MUÑOZ PORTELA, V. / COLINO IZQUIERDO, P. / ROJAS MORENO, V. / GARCÍA VARGAS, J. (2024) “Inventario físico preliminar y modelo BIM inicial de C.N. Almaraz para la preparación del desmantelamiento”. En: *50ª Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española (9-11.10. 2024. Córdoba, Andalucía).*

 BY-NC-SA

COORDINACIÓN BIM EN PROYECTO EJECUCIÓN MULTIDISCIPLINAR 30: EL CASO DEL CENTRO DE CÁRITAS EN LANZAROTE

Lázaro Cardiel, Fernando; De la Rocha Duarte, José Luís; Coya Piñero, José Carlos; Donet Galán, Borja; Barbero Coria, Íñigo

Arquitecto, España, fernando@lazaroarquitectura.es; Arquitecto, España, arquitectura@delarochaduarte.es; Arquitecto, España, josecarlos.coya@gmail.com; Ingeniero técnico, España, borja@bdgingenieria.tech; Modelador BIM, España, barbero14@gmail.com.

Abstract

This presentation addresses the coordination and BIM management of the Caritas Comprehensive Care Centre in Lanzarote, a project of € 8,000,000 of P.E.M. developed within 30 days. The technical and organisational challenge required coordinating multidisciplinary TEAMS for the design, calculation, documentation and measurement of structures and installations (HVAC, plumbing, electricity, among others), ensuring compliance with the CTE and the efficient integration of systems.

Collaborative strategies will be presented in #openBIM environments, highlighting the interoperability between tools such as EDIFICIUS, CYPE, GOOGLE DRIVE, DISCORD and TEAMS, which optimised the workflow and decision-making. In addition, it will be analysed how BIM processes reduced times, improved technical quality and strengthened customer confidence.

The presentation will conclude with key learnings and best practises in the management of complex projects, offering a guide to implement BIM effectively and collaboratively.

***Keywords**: Interoperability, efficiency, optimisation, BIM, coordination, nomenclature, optimisation*

Resumen

En esta ponencia se aborda la coordinación y la gestión BIM del Centro de Atención Integral de Cáritas en Lanzarote, un proyecto de 8.000.000 € de P.E.M. desarrollado en un plazo de 30 días. El desafío técnico y organizativo requirió coordinar equipos multidisciplinares para el diseño, cálculo, documentación y medición de estructuras e instalaciones (HVAC, fontanería, electricidad, entre otros), asegurando el cumplimiento del CTE y la integración eficiente de sistemas.

Se presentarán estrategias colaborativas en entornos #openBIM, destacando la interoperabilidad entre herramientas como EDIFICIUS, CYPE, GOOGLE DRIVE, DISCORD y TEAMS, que optimizaron el flujo de trabajo y la toma de decisiones. Además, se analizarán cómo los procesos BIM redujeron tiempos, mejoraron la calidad técnica y reforzaron la confianza del cliente.

La ponencia concluirá con aprendizajes clave y mejores prácticas en la gestión de proyectos complejos, ofreciendo una guía para implementar BIM de forma eficaz y colaborativa.

***Palabras clave:** Interoperabilidad, eficiencia, optimización, BIM, coordinación, nomenclatura, optimización*

 BY-NC-SA

Introducción

En el ámbito de la arquitectura y la construcción, la metodología BIM (Building Information Modeling) se ha consolidado como una herramienta fundamental para la gestión integral y colaborativa de proyectos. Esta metodología, que trasciende la mera representación tridimensional, integra datos y procesos a través de un entorno común de datos (CDE), facilitando la interoperabilidad entre distintas disciplinas y equipos de trabajo.

El presente documento expone la experiencia real de coordinación BIM en la redacción del Proyecto de Ejecución del Centro de Atención Integral de Cáritas en Lanzarote. Este proyecto se caracterizó por un plazo de entrega sumamente ajustado de 30 días, partiendo de un Proyecto Básico aprobado seis meses antes. El ambicioso plazo respondió a la necesidad administrativa de presentar la documentación ante el Cabildo de Lanzarote para la asignación de una subvención sujeta a partidas presupuestarias específicas.

El encargo que se recibe por parte del arquitecto redactor del proyecto básico y de ejecución es la formalización del coordinador general BIM de un equipo que permita todo el desarrollo de las instalaciones del edificio, la estructura y la redacción del estudio de seguridad y salud, así como de la generación de memorias, pliegos, control de calidad y mediciones con valoraciones aproximadas.

El equipo de trabajo estuvo compuesto por nueve unidades técnicas independientes, con perfiles de arquitectura, ingenierías de instalaciones, cálculo estructural, técnicos BIM y delineación, todos ellos con experiencia previa en metodología BIM. Se establecieron roles claros: coordinación general BIM, responsables disciplinares, modelador y responsables de documentación y medición.

1. Antecedentes del Proyecto

El Proyecto Básico se basó en un diseño original de un edificio similar desarrollado hace quince años. En su momento, se ejecutó parcialmente la cimentación y parte de la estructura, quedando posteriormente paralizada la obra hasta la reactivación actual. El destino del edificio fue replanteado para albergar un centro de atención integral de Cáritas, compuesto por diversas áreas funcionales con horarios y usos diferenciados.

El edificio estaba planteado con un programa:

Módulo común	Planta -1.	1.920 m²	Aparcamientos y servicios
Módulo A	Planta 0 y 1	990 m²	Cocina, comedor y residencia de baja intensidad
Módulo B	Planta 0 y 1	940 m²	Oficinas y centro de formación homologada
Módulo C	Planta 0 y 1	940 m²	Residencia. 25 camas
Módulo D	Planta 0, 1 y 2	1.440 m²	Centro de día, ropero, banco alimentos y viviendas

El modelo arquitectónico ya se encontraba desarrollado en el software EDIFICIUS, lo que permitió agilizar el proceso de ejecución. El presupuesto final de contrata se limitó a un máximo de 8 millones de euros, y las instalaciones a proyectar incluían sistemas de saneamiento, abastecimiento de agua, protección contra incendios, climatización, ventilación, térmica, gas, electricidad e iluminación. Además, se requería la certificación energética y la elaboración de documentos justificativos del cumplimiento normativo del Código Técnico de la Edificación (CTE). El proyecto también debía integrar sistemas desarrollados por equipos externos, como la red fotovoltaica y las telecomunicaciones.

El redactor del proyecto contaba con su propia plataforma de comunicación basada en TEAMS, ya que mantenía relaciones de invitados con agentes externos y suministradores ajenos a la producción del ejecutivo.

BY-NC-SA

2. **Retos del Proyecto**

Dada la magnitud del proyecto y el reducido margen temporal, se identificaron los siguientes retos principales:

- Tiempo: Completar la redacción en 30 días con un alto nivel de precisión técnica.
- Plataformas de colaboración: Seleccionar y estructurar un entorno digital eficiente que facilitara la comunicación y coordinación entre los distintos equipos.
- Ubicación de archivos previos y de trabajo: Organizar la documentación existente y los ficheros generados durante el proceso de manera accesible y ordenada.
- Criterios de trazabilidad y nomenclatura: Definir un sistema de clasificación que garantizara la coherencia documental y facilitara la identificación y seguimiento de los distintos elementos del proyecto.

3. **Organización del trabajo y Metodología**

3.1. **Implementación del Entorno de Trabajo**

La fecha límite del 30 de diciembre estableció por parte del gestor BIM una planificación estricta, de compartimentos de trabajo bastante estancos para tener un control y eficiencia de todos los integrantes, ya fuesen internos o externos.

La identificación de las diversas plataformas empleadas se puede reconocer por los niveles de acceso.

Como primer nivel se mantuvo la localización en la plataforma TEAMS del redactor del proyecto, con sus canales, dando acceso a los integrantes del equipo como invitados a su temática específica. A parte del arquitecto redactor del proyecto, tan solo el gestor BIM, te nía acceso a todos los canales.

Con esto se permitía que cada integrante del equipo pudiese realizar consulta de manera directa, en caso de urgencia técnica. Se mantenía la vía directa entre todo el equipo y el redactor. Al final esta vía no se llegó a utilizar.

En el segundo nivel, la plataforma de intercambio general de información no documental fue la aplicación DISCORD. El gestor BIM montó un servidor propio, con canales de texto y de video.

La estructura de los canales estaba basada en unos códigos propios que provienen de la estructura SIA (Trimble.MEP), pero adaptados al entorno español. Más adelante se desgranará dicha nomenclatura.

El acceso a todos los canales de DISCORD era completo para todo el equipo interno. A los responsables externos, no del equipo, se les facilitó acceso sólo a su canal específico.

Esto permitía que de manera general se pudiesen plantear cuestiones globales, y las específicas en el canal correspondiente, pero con visibilidad por parte de todos para poder comprobar si existían sombras con los propios. El canal de video permitía una interacción de manera simultánea de varias retransmisiones, no de manera secuencial, permitiendo que varios redactores estableciesen de manera conjunta condicionados comunes, fue muy empleado para localizar e identificar los pasos verticales de las varias instalaciones a la vez en el cuerpo estructural, incluso resolviendo de manera gruesa interferencias entre instalaciones.

En el mismo nivel dos, el gestor BIM optó por crear un entorno rápido, fiable, con trazabilidad de ficheros y que fuera fácilmente accesible por todos los participantes del proyecto en una localización en la nube de Google Drive. La estructura de carpetas partía del mismo concepto del servidor de Discord, de manera que siempre la referencia numeral mantenía la identidad en todo el proyecto. Esta plataforma se empleaba exclusivamente para la documentación previa (id. 200) y. la de ejecución (id. 500). La previa corresponde a la documentación en distinto formato que se aportaba para la comprensión y ejecución del proyecto, siendo la de ejecución la documentación que fuese como resultado de los cálculos y diseños para incorporar por el redactor del proyecto a su proyecto global.

BY-NC-SA

En el nivel tres, pero en otro compartimento estanco se empleó la plataforma BIMserver.center como sistema para los documentos de cálculo en el entorno de Cype. A esta plataforma, sólo tenían acceso los miembros del equipo de cálculo de las instalaciones y del estudio de seguridad y salud. Era aquí donde se mantenía un control de autoría y versiones de cada modelo da cálculo de las instalaciones.

En el nivel cuatro estaba la plataforma Airtable de creación y acceso único por el gestor BIM, esta plataforma permitía organizar, mantener y controlar todos los datos del proyecto, integrantes, requisitos y puntos de información del proyecto. (Fig. 1)

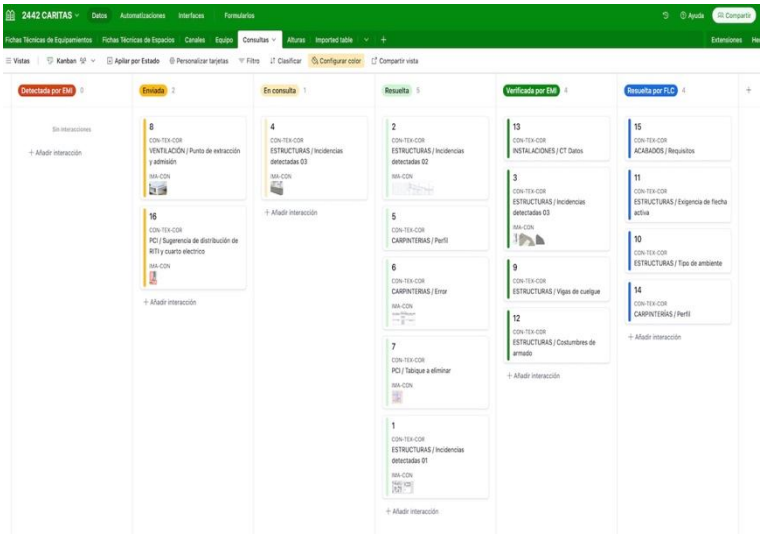


Fig. 1 AIRTABLE como plataforma de control. Fuente: Propia (2025)

Como guía conceptual para todo el desarrollo el gestor BIM estableció un codificación numeral siguiendo el patrón SIA (Trimble.MEP, 2023), se establece que todo documento, canal, comunicación debe tener las mismas pautas numerales de tres cifras:

Las centenas que indican el ámbito, los números van desde el 0 al 9, aunque en el presente proyecto se construyeron a los siguientes: el 0 para la información de plantillas, estándares de documentos, etc.; 2 para documentación previa, 3 para los proyectos básicos, 5 para el proyecto de ejecución y el 9 para la documentación de entrega o final. Las decenas y unidades abarcaban las distintas especialidades.

Esta nomenclatura se aplicó en los canales de Discord (Fig. 3), a la estructura de archivos de Drive (Fig. 2) y en la documentación digital, asegurando una estructura homogénea. Se definió el uso de guiones bajos para separar conceptos dentro de una misma categoría y guiones medios para diferenciar categorías.

BY-NC-SA

Fig. 2 Google Drive: Relación de carpetas. Nomenclatura. Fuente: Propia (2025)

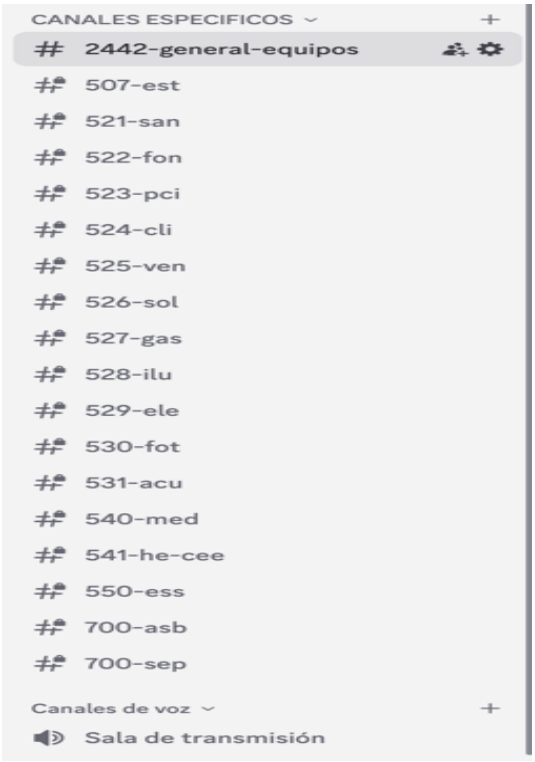


Fig. 3 Discord: Relación de canales. Nomenclatura. Fuente: Propia (2025)

En cuanto al contenido documental se necesitaba, aparte de lo anterior en cuanto a la especialidad, la identificación del autor del fichero, pues en procesos de cálculos se podían emplear diversas soluciones generadas por diversos autores para una misma especialidad. Es por ello por lo que en la plataforma BIMserver.center se obligó a incorporar dichos datos junto con las versiones y ámbito de actuación dentro de las funciones del proyecto, motivada por los módulos de compartimentación de los diversos usos.

BY-NC-SA

Esta concepción de nomenclatura se obligó a mantener también en todos los ficheros que se generasen en Google Drive.

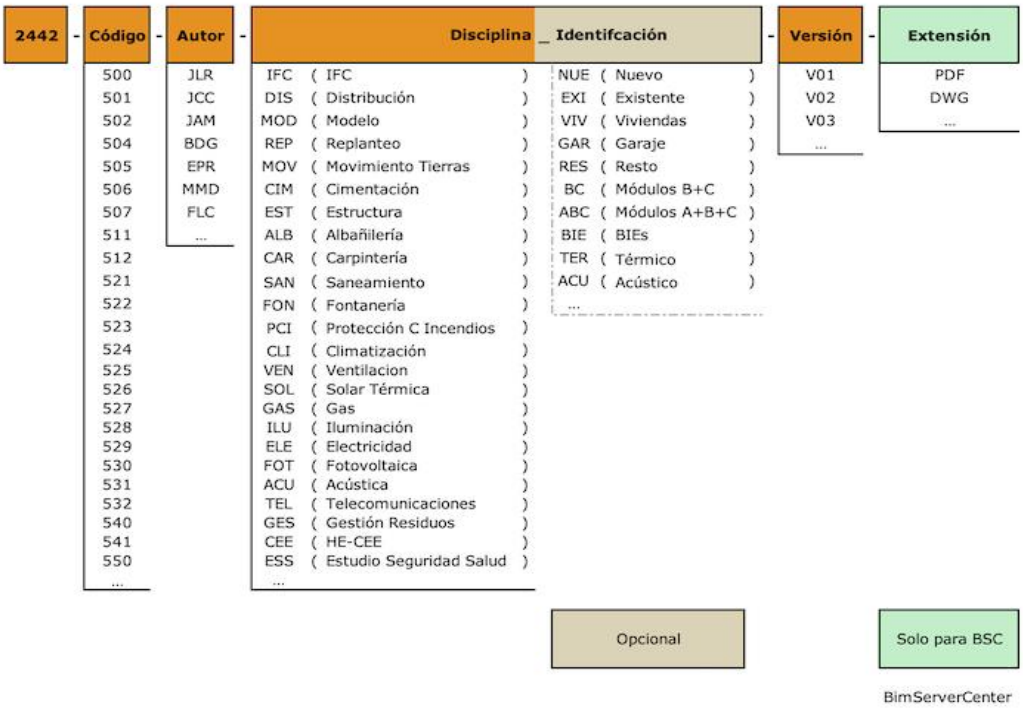


Fig. 4 Nomenclatura para BIMserver.center. Fuente: Propia (2025)

4. Procesos de Control y Seguimiento

4.1. Reuniones y Coordinación

La coordinación efectiva entre equipos multidisciplinarios es fundamental en proyectos de construcción complejos. La metodología BIM facilita esta colaboración al centralizar toda la información del proyecto en un único modelo de información creado por todos los agentes participantes, lo que permite una planificación más precisa y detallada del proyecto. (Badlwin, M. 2018)

El autor del proyecto estableció una reunión semanal general, celebrada los martes en MICROSOFT TEAMS, que incluía al equipo interno y a los colaboradores externos. Estas reuniones eran grabadas y resumidas automáticamente.

El gestor BIM mantuvo todos los jueves con el equipo interno reuniones en Discord por, lo que permitía compartir múltiples pantallas en simultáneo para la revisión coordinada de modelos y documentación.

El gestor BIM canalizaba la información y las decisiones tomadas a través de TEAMS, asegurando un único punto de referencia documental que se plasmaba en un canal de Discord (500-general)

4.2. Ordenación y Modelado de Instalaciones

El complejo asistencial cuenta con 6.245,89 m² distribuidos en cuatro módulos conectados, por el sótano y el módulo D. Para coordinar las instalaciones, cada equipo debía declarar sus necesidades espaciales durante la primera semana de trabajo, así como los requisitos técnicos de los equipamientos planteados. Esta información se trasladaba a los canales de Discord correspondiente, para que fuese fácilmente identificable y para control interno de las posibles incidencias en cada ámbito de especialidad.

BY-NC-SA

Como consecuencia de esta primera revisión del edificio planteado en el momento llevó a la necesidad de la necesidad de aumentar la altura libre entre forjados y modificar la distribución de escaleras y espacios colindantes. Esto permitió a que el equipo interno pudiese mantener los requisitos y avanzase en los cálculos. La rápida adaptación del equipo de modelado permitió que se generasen en uno o dos días todas los correspondientes ficheros en formatos IFC y DWG que se subían a Google Drive.

Naturalmente se producían requisitos técnicos por todas las especialidades que obligaban a la modificación continua del modelo del edificio, desde resistencias de protección de incendios de materiales y elementos, composiciones de la estratigrafías de los paramentos motivadas por las diversas especificaciones del CTE (Fig. 5), eliminación de un centro de transformación, refuerzos estructurales para nuevos elementos en la edificación existente.

4.3. **Modelado y Coordinación en BIM**

Se implementó un sistema estructurado para la generación y gestión de modelos:

Modelado IFC en EDIFICIUS: Se exportaban periódicamente tres modelos separados (arquitectura, estructura y mobiliario) al directorio de trabajo.

Para instalaciones, se utilizó CYPECAD MEP: Empleando módulos OpenBIM para saneamiento, abastecimiento, térmica y protección contra incendios, mientras que CYPECAD MEP se usó para climatización, gas, electricidad e iluminación.

Se estandarizaron las mediciones: Se creó una estructura de medición en Arquímedes, integrada con el Generador de Precios, permitiendo la consolidación de las mediciones de las 14 especialidades involucradas.

Fig. 5 Estratigrafías selectivas en GOOGLE DRIVE. Fuente: Propia (2025)

5. **Protocolo de Revisión y Control de Interferencias**

5.1. **Modelo base limpio y estructurado**

- Responsable: Coordinador BIM + equipo de arquitectura.
- Herramienta: Edificius (modelo base).
- Objetivo: Proporcionar a todos los equipos una geometría de referencia sin errores básicos de modelado.

BY-NC-SA

5.2. **Planificación de entregas y publicación de versiones**

- Frecuencia mínima: 1 entrega semanal por especialidad (viernes 18:00 h).
- Ubicación: BIMserver.center (IFC por especialidad) y notificación en Discord.
- Versión del modelo: Cada archivo IFC debe incluir nomenclatura con fecha y código de disciplina.
- Control de versiones: Alojadas en carpeta protegida de Google Drive para histórico y respaldo.

5.3. **Federación de modelos y detección de interferencias**

- Software: BIMcollab Zoom (gratuito y ligero, ideal para revisión rápida).
- Método:
  - Importación de los modelos IFC desde BIMserver.center y Edificius.
  - Revisión visual de colisiones geométricas entre arquitectura, estructura e instalaciones.
  - Aplicación de reglas específicas: por ejemplo, permitir 10 cm de paso libre entre instalaciones; detectar intersecciones con estructura o zonas restringidas.

5.4. **Registro y comunicación de interferencias**

- Herramienta: BIMcollab Zoom + plataforma Discord + hoja de control Airtable.
- Procedimiento:
- El coordinador genera una imagen con capturas e hipervínculos.
- Se comparte vía Discord en el canal correspondiente (ej. 507-Estructura).

5.5. **Resolución y nueva versión**

- Cada equipo técnico resuelve las colisiones asignadas antes del miércoles siguiente a la entrega.
- Se publica una nueva versión del modelo con las correcciones (mismo código, fecha actualizada).
- Se deja constancia en Google Drive y se reemplaza en BIMserver.center.

5.6. **Revisión final y aprobación**

- Los martes por la mañana, el gestor BIM verifica que:
- Se han cerrado los tickets del reporte anterior.
- No existen nuevas colisiones críticas.
- Los modelos pueden pasar a “consolidado semanal”.
- Solo estas versiones se consideran válidas para cálculo, mediciones y documentación.

6. **Resultados y Validación**

La implementación de un flujo de trabajo basado en metodología BIM no solo facilitó una coordinación transversal entre los distintos equipos implicados, sino que optimizó significativamente los tiempos de validación y revisión, elevando la calidad y coherencia de la documentación generada. Este grado de eficiencia fue posible gracias a una selección estratégica de los perfiles técnicos, priorizando no solo su dominio de herramientas y entornos BIM, sino también su capacidad de adaptación a dinámicas colaborativas bajo estándares interoperables. Cabe destacar que, en un contexto tradicional no soportado por metodología BIM, el desarrollo integral del proyecto habría requerido al menos tres o cuatro meses adicionales, evidenciando así el impacto tangible de la colaboración y la gestión integrada de la información en la productividad y en el control del proceso proyectual.

BY-NC-SA

Los resultados obtenidos no solo confirmaron la viabilidad del enfoque adoptado, sino que pusieron de manifiesto una serie de logros clave que reflejan el valor añadido de una gestión BIM rigurosa y bien estructurada:

Reducción de conflictos: Gracias a la revisión temprana de interferencias mediante modelos federados.

Mejora en la precisión de mediciones: La integración con bases de datos de precios permitió una estimación presupuestaria más precisa.

Optimización del tiempo de entrega: La automatización de informes y verificaciones redujo el tiempo necesario para la generación de documentos.

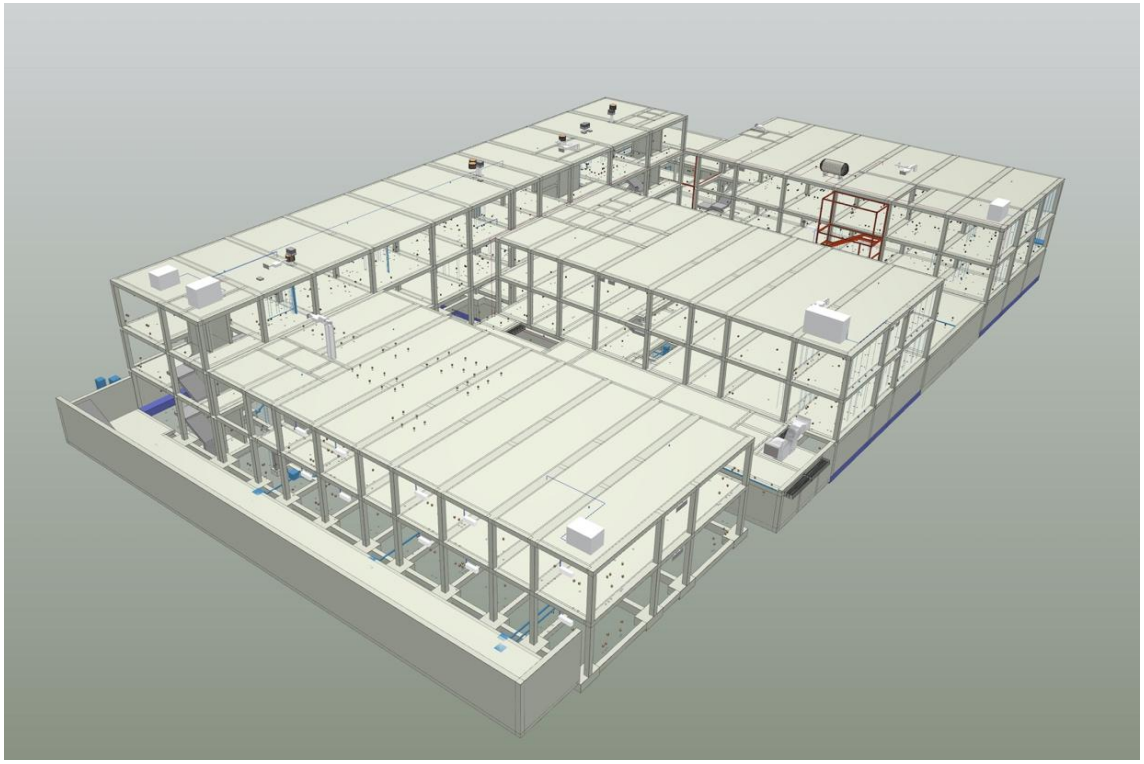


Fig. 6 Resultado final coordinación en BIMCollab Zoom. Fuente: Propia (2025)

7. **Conclusiones**

El establecimiento de reglas claras y procesos estructurados permitió la colaboración eficiente de nueve equipos independientes, logrando completar la documentación en el tiempo previsto. Los principales logros del proyecto fueron:

Claridad metodológica: Se definieron estándares específicos para cada entorno de trabajo que demostraron ser vitales para un proceso rápido y con un objetivo de entregar una documentación acorde al proyecto y plazo.

Eficiencia en tiempos: Se respetaron los plazos sin comprometer la calidad técnica.

Siendo un mes un plazo más que ajustado se ha comprobado que se puede realizar un proyecto de misma envergadura en el doble de tiempo con unos resultados excelentes, considerando los obtenidos como muy buenos. Par ello hay que tener presente que desde el primer momento el encargante y redactor del proyecto junto con la propiedad valoraron económicamente el esfuerzo y el trabajo a realizar.

Integración de sistemas: Se logró la coordinación de múltiples especialidades, minimizando interferencias de gran calado. Es primordial el poder visualizar de manera simultánea las necesidades de cada equipo siendo la opción de uso empleada, Discord, como la más eficiente.

BY-NC-SA

Supervisión administrativa: La documentación final fue aprobada para la licitación sin observaciones significativas.

Se deben mantener las pautas de los criterios de la nomenclatura en general para toda la documentación, siendo por ello necesaria la predisposición de todos los integrantes del equipo a adaptarse a sistemas distintos a los propios.

Equipos externos: Las equipos externos al conjunto coordinado mantuvieron relaciones muy distintas, involucrándose uno de ellos en toda la forma de trabajar emplead, manteniendo los criterios de nomenclatura, incidencias, documentación, etc. El otro equipo externo, no se adaptó a todo.

La plataforma Teams funciona bastante bien para un entrono cerrado de equipos propios dentro de la misma empresa, pero no tiene una fluencia para los equipos externos a dicha plataforma mediante accesos como invitados, así mismo es el gestor BIM, es quien debe controlar completamente el flujo de la información entre todos los integrantes del proyecto, lo que permitía dada la amplia diversidad de equipos que se usase una plataforma para el control documental como Google Drive y de comunicación la de Discord.

El éxito del proyecto demuestra que una planificación meticulosa y el uso estratégico de herramientas BIM pueden permitir el desarrollo de proyectos de alta complejidad en tiempos extremadamente ajustados, sentando un precedente metodológico aplicable en futuras iniciativas similares.

Referencias

BARCO MORENO, D. (2018). *Guía para implementar y gestionar proyectos BIM. Diario de un BIM Manager.* Madrid*:* Editorial Cosmos

BARCO MORENO, D (2023). *Diario de un BIM Manager: Guía para Desarrollar Proyectos de Instalaciones con Revit MEP.* Madrid: Editorial Comos.

TRIMBLE.MEP. *Schweizer Baupräzision: SIA-Phasen in der Praxis*. https://mep.trimble.com/de/resources/mep-blogs/schweizer-baupräzision-sia-phasen-in-der-praxis [Consulta: 10/04/2025]

BALDWIN, M. (2018) *Der BIM-Manager. Praktische Anleitung für das BIM-Projektmanagement.* Berlin: Beuth Verlg Gmbh.

Declaración de uso de IAgen

Para realizar esta comunicación se ha hecho uso de chatbots de IAgen ChatGPT-4 (OpenAI) en la plataforma https://chat.openai.com para la estructuración de los apartados y reformulación de ideas de los autores.

Los prompts utilizados y sus resultados no se incluyen en un anexo por las limitaciones de espacio establecidas en el formato de las comunicaciones, pero se incluye esta cita declarativa dentro de las Referencias Bibliográficas en reconocimiento a su uso e inclusión de la información generada dentro del contenido de esta comunicación.

BY-NC-SA

GEMELO DIGITAL DE UN ESTUDIO DE ARQUITECTURA. CASO PRÁCTICO (DIY)

Alba Dorado, José Antonio
Departamento de Expresión Gráfica y Arquitectónica, Universidad de Sevilla, España, alba@us.es; labBIM Arquitectos SLP, Sevilla, España. Arquitecto, joseantonio.alba@labbim.com

Abstract

The digital twin is emerging as a revolutionary solution for managing any workspace or residence, by integrating a BIM model, IoT sensors, and real-time data analysis. By employing open-source technologies, it enables greater control over equipment, data, and outcomes, thereby monitoring and optimizing thermal comfort, lighting, occupancy, and energy consumption—ultimately enhancing efficiency and occupant well-being.

In this practical case, a BIM model of a small architectural office serves as the foundation for developing a digital twin that collects information through sensors and processes it using AI. Accordingly, the system anticipates needs and facilitates decision-making regarding space allocation, resource planning, and project management. Furthermore, the scalability and flexibility of these tools' foster collaboration, spurring innovation in both design and construction.

Consequently, this approach lays the groundwork for a more sustainable, agile, and human-centered future within work environments. The case is scalable and closely mirrors what could be achieved in a residential setting.

***Keywords**: digital twin, BIM, IoT, open source, efficiency, comfort, well-being, scalability, innovation*

Resumen

El gemelo digital se perfila como una solución revolucionaria para la gestión de cualquier espacio de trabajo o vivienda, al integrar un modelo BIM, sensores IoT y análisis de datos en tiempo real. Al emplear tecnologías open source, se logra un mayor control de los equipos, datos y resultados, supervisando y optimizando el confort térmico, la iluminación, la ocupación y el consumo energético, lo que mejora la eficiencia y el bienestar de los espacios.

En este caso práctico, partimos de un modelo BIM de una pequeña oficina de arquitectura como base para desarrollar un gemelo digital que recopila información mediante sensores y la procesa con IA. De este modo, el sistema anticipa necesidades y facilita la toma de decisiones sobre la disposición de espacios, la planificación de recursos y la gestión de proyectos. Además, la escalabilidad y flexibilidad de estas herramientas fomentan la colaboración, impulsando la innovación en el entorno del diseño y la construcción.

Con ello, se sientan las bases para un futuro más sostenible, ágil y centrado en las personas dentro de los entornos de trabajo.

El caso es escalable y muy similar al que podríamos realizar en nuestra propia vivienda.

***Palabras clave:** gemelo digital, BIM, IoT, open source, eficiencia, confort, bienestar, escalabilidad, innovación*

 BY-NC-SA

Introducción

En un mundo en constante evolución, la transformación digital está redefiniendo la manera en que trabajamos y gestionamos espacios. Si bien en sus inicios el concepto de gemelo digital se asoció casi exclusivamente con sectores industriales (Grieves, 2014), hoy en día su aplicación se ha extendido a nuevos entornos, como las oficinas modernas. Este cambio responde a la necesidad de optimizar procesos, agilizar la toma de decisiones y mejorar la experiencia de las personas que interactúan con el espacio de trabajo.

En términos generales, un gemelo digital es la representación virtual de un objeto o sistema físico, actualizada en tiempo real a través de datos procedentes de sensores y otras fuentes. Dicho de otro modo, es una especie de "reflejo" dinámico del mundo real que facilita la monitorización, el control y la simulación de escenarios futuros. El potencial de esta tecnología radica en su capacidad para proporcionar información fiable y detallada sobre el rendimiento de los sistemas, permitiendo anticipar fallas, reducir costes y mejorar la eficiencia de las operaciones.

En el contexto de una oficina, un gemelo digital se basa en tres pilares tecnológicos fundamentales: la integración de modelos BIM (Building Information Modeling), la adopción de dispositivos IoT (Internet de las Cosas) y el uso de plataformas de software capaces de procesar y analizar grandes volúmenes de datos. Gracias a estos elementos, es posible supervisar en tiempo real aspectos como la ocupación de las salas de reuniones, la calidad del aire, la climatización o el consumo energético.

La popularización de soluciones de código abierto (Open Source) ha jugado también un papel clave en la expansión de los gemelos digitales para oficinas. Herramientas como Home Assistant o Node-RED (Home Assistant, 2023; Node-RED, 2023) hacen más accesibles las funciones de monitorización y control, mientras que plataformas de base de datos y brokers de mensajería abiertos (como MySQL o Mosquitto) permiten gestionar y almacenar la información de manera eficiente y escalable. Todo ello se traduce en una democratización de la tecnología, que ahora resulta alcanzable incluso para oficinas de tamaño medio o empresas emergentes.

1. ¿Qué es un gemelo digital?

A comienzos de la década de 2000, el investigador Michael Grieves sentó las bases de lo que hoy conocemos como Gemelo Digital (Grieves, 2014). Su trabajo se centró en la idea de vincular un sistema físico con su representación virtual de manera que existiera un flujo de datos continuo y bidireccional entre ambos. De este modo, se lograba una integración que no se limitara a una maqueta estática o a una simulación aislada, sino que facilitara la retroalimentación y el control en tiempo real.

Grieves enfatizó tres conceptos que a menudo tienden a confundirse:

- **Digital Model (Modelo Digital)**: Se trata de una versión virtual de un sistema u objeto físico, pero sin la conexión dinámica a datos en tiempo real. En otras palabras, puede ser un excelente recurso para visualizar, planificar o diseñar, pero no se nutre de la información proveniente del entorno real mientras opera. Es un modelo estático, útil para etapas de planificación y análisis preliminar, pero limitado en su capacidad de reflejar el comportamiento real del activo o sistema físico.
- **Digital Shadow (Sombra Digital)**: En este caso, sí existe un flujo de datos, pero unidireccional, desde el objeto físico hacia la representación virtual. El sistema real "alimenta" al modelo virtual con datos, permitiendo monitorear o simular ciertas condiciones basadas en la información disponible. Sin embargo, no hay retroalimentación o control desde la parte digital al mundo físico. Es un paso intermedio hacia la digitalización avanzada, pero aún carece de la bidireccionalidad fundamental para cerrar el ciclo de interacción y control.
- **Digital Twin (Gemelo Digital)**: Aquí radica la innovación principal. El Gemelo Digital se define por un flujo de datos bidireccional, donde no solo el sistema físico envía datos para actualizar la réplica virtual, sino que la representación digital también puede influir en el mundo real. Esto posibilita acciones automatizadas, mantenimiento predictivo, simulaciones de escenarios futuros e incluso

 BY-NC-SA

ajustes en tiempo real para optimizar procesos y recursos. Es, en esencia, una versión viva y sincronizada de un objeto, edificio, proceso o sistema.

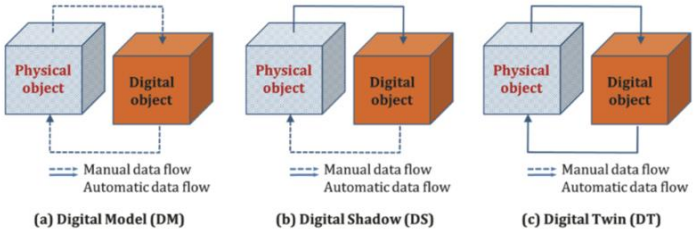


Fig. 1 Diferencia entre un Digital Model, Shadow y Twin. Fuente: (Grieves, 2014)

En la actualidad, el término "Gemelo Digital" se ha popularizado enormemente, generando cierta confusión en su aplicación. Es común que se llame Gemelo Digital a un simple modelo 3D o a una maqueta virtual estática, cuando en realidad no cumplen con los requisitos fundamentales descritos por Grieves. La clave de un verdadero Gemelo Digital no radica únicamente en la representación visual, sino en la capacidad de intercambiar datos en tiempo real y ofrecer información procesable que permita la toma de decisiones y el control del sistema físico.

En síntesis, la aportación de Michael Grieves radica en su definición de un sistema virtual interconectado y sincronizado con la realidad, capaz de brindar información precisa y ejercer control sobre el entorno físico. Reconocer las diferencias entre Digital Model, Digital Shadow y Digital Twin es fundamental para comprender en qué punto de la transformación digital se encuentra un proyecto y hacia dónde evolucionar para lograr el máximo valor. Asimismo, sirve para evitar la confusión reinante cuando se califica cualquier representación 3D de "Gemelo Digital" sin contar con la inteligencia y la conexión de datos que verdaderamente lo distinguen.

2. Principales usos de un gemelo digital

Los usos generales de un gemelo digital en edificios de cualquier índole podrían ser:

- **Monitorización y control en tiempo real**: Un Gemelo Digital recopila datos de sensores (temperatura, humedad, luminosidad, consumo eléctrico, etc.) y los refleja en un modelo virtual. De este modo, se pueden detectar anomalías o incidencias rápidamente, optimizando el funcionamiento de los sistemas de climatización, iluminación y seguridad.
- **Mantenimiento predictivo**: Gracias a la analítica de datos, es posible anticipar fallos en equipos críticos (bombas, calderas, sistemas HVAC), programar revisiones y evitar averías costosas. Esto se traduce en una mayor vida útil de los componentes y una mejora en la seguridad del edificio.
- **Optimización energética**: Al disponer de información detallada sobre consumos y condiciones ambientales, se pueden aplicar estrategias de ahorro y eficiencia (ajustes de temperatura, iluminación según ocupación, etc.). Además, la plataforma permite simular cambios (p. ej., aislamiento térmico, sustitución de luminarias) para valorar su impacto antes de implementarlos.
- **Análisis de uso y ocupación**: El Gemelo Digital puede mostrar en qué horarios o zonas del edificio se concentra la actividad, posibilitando una mejor gestión de los espacios (reserva de salas, escalonamiento de turnos) y fomentando el confort de los usuarios.
- **Gestión de emergencias**: En caso de incendio, inundación o cualquier imprevisto, el modelo virtual con datos actualizados facilita la localización de personas, la identificación de rutas de evacuación y la coordinación con los servicios de emergencia.

En oficinas podemos tener los siguientes usos específicos:

- **Asignación de puestos de trabajo y salas**: Mediante un análisis continuo de la ocupación, se pueden automatizar reservas de espacios y adaptar la configuración según las necesidades del equipo. Por ejemplo, gestionar salas de reuniones de distintos tamaños o reasignar escritorios flexibles (hotdesking) a los empleados que acudan a la oficina.

BY-NC-SA

- **Confort del empleado y calidad del aire**: El Gemelo Digital integra sensores de CO_2, temperatura, humedad y nivel de ruido. Al correlacionar estos datos con la ocupación, se programan ajustes automáticos del sistema HVAC y la ventilación para mantener un entorno saludable y productivo.
- **Planificación de la expansión o reorganización**: Cuando la empresa crece o se modifica la forma de trabajar (espacios colaborativos, cabinas insonorizadas, etc.), el Gemelo Digital ofrece simulaciones de distintas configuraciones. Así, se pueden probar distribuciones antes de realizar obras o compras de mobiliario.
- **Control de seguridad y accesos**: A través de la integración con sistemas de videovigilancia y tarjetas de acceso, la oficina puede monitorear entradas y salidas en tiempo real. Con un Gemelo Digital, se detectan zonas de alto tráfico y se configuran controles adicionales en áreas críticas.
- **Concienciación energética y sostenibilidad**: Visualizar consumos y métricas de ocupación en paneles informativos o aplicaciones móviles fomenta la responsabilidad de los empleados, animándolos a apagar luces, cerrar ventanas o ajustar la climatización si la sala no está en uso.

En definitiva, el Gemelo Digital se consolida como una herramienta que trasciende la mera visualización virtual, ofreciendo un sistema integral de control, análisis y simulación.

3. Fundamentos tecnológicos para crear un gemelo digital (enfoque open source)

En la implementación de gemelos digitales para edificios, tanto en oficinas como en otras tipologías, cobra especial importancia la selección de tecnologías que permitan escalar el proyecto de forma sostenible, flexible y colaborativa. El enfoque Open Source resulta idóneo, pues ofrece una comunidad activa, documentación abundante y la posibilidad de personalizar y adaptar el software y hardware a las necesidades específicas del inmueble.

Herramientas y plataformas como Home Assistant (2023), Node-RED (2023), bases de datos MySQL o InfluxDB, y brokers MQTT como Mosquitto (Mosquitto, 2023) forman un ecosistema modular, fácil de integrar y económico, que permite ir incorporando funcionalidades conforme evoluciona el proyecto. Cada uno de estos componentes puede integrarse de forma modular, lo que facilita la implementación gradual del proyecto y la actualización continua conforme evolucione el edificio o cambien los requerimientos de uso.

En los próximos puntos, se profundizará en cómo estas tecnologías se enlazan para sentar las bases de un Gemelo Digital robusto. Se comenzará revisando la relevancia de los modelos BIM como punto de partida para organizar la información arquitectónica y de ingeniería, para luego adentrarse en la tecnología IoT y los sistemas de software orientados al análisis y la toma de decisiones.

3.1. Modelo BIM como base del gemelo digital

El Building Information Modeling (BIM) agrupa planos, datos estructurales e instalaciones en un entorno digital unificado (Eastman, 2011). A diferencia de los modelos 2D, un BIM contiene datos tridimensionales y metadatos relacionados con materiales, sistemas constructivos, rutas de instalaciones, etc.

En el contexto de un Gemelo Digital, el modelo BIM actúa como la columna vertebral de la representación virtual del edificio. Contiene no solo la geometría (formas, dimensiones, disposiciones espaciales), sino también información relevante como materiales de construcción, características de aislamiento, trazados de tuberías, redes eléctricas e, incluso, rutas de evacuación. Esta complejidad de datos se convierte en una ventaja crítica al momento de integrar sensores y sistemas de control, ya que facilita identificar ubicaciones exactas donde colocar dispositivos IoT (por ejemplo, en conductos de aire o en puntos estratégicos para medir la calidad ambiental).

Otro aspecto relevante es que la metodología BIM promueve la colaboración interdisciplinar. Con la vista puesta en el Gemelo Digital, los equipos de diseño, construcción, mantenimiento y operación pueden trabajar sobre el mismo modelo, incorporando o actualizando información en tiempo real. Así, el modelo se convierte en un “repositorio vivo” que documenta desde la fase de planificación hasta la etapa de uso y operación del edificio.

 BY-NC-SA

Finalmente, la integración del modelo BIM con otras herramientas Open Source resulta clave para la funcionalidad del Gemelo Digital. Una vez que el edificio está representado de manera exhaustiva en BIM, se pueden enlazar plataformas de análisis y monitorización, donde la información obtenida por los sensores (temperatura, ocupación, consumo energético) se vincula a elementos específicos del edificio, ofreciendo una visión completa y actualizada para la toma de decisiones. De esta forma, BIM deja de ser solamente un modelo estático y pasa a ser la base fundamental sobre la que se construye un Gemelo Digital plenamente funcional y orientado a la eficiencia y la sostenibilidad de la edificación.

3.2. **Tecnología IoT: la base sensorial del Gemelo Digital**

Uno de los pilares fundamentales de un Gemelo Digital es la capacidad de recopilar información en tiempo real sobre el estado y funcionamiento del edificio. Esto es posible gracias a la **Internet de las Cosas (IoT)**, un ecosistema de dispositivos interconectados que incluyen **sensores, actuadores y sistemas de comunicación**. La irrupción de esta tecnología ha sido clave en la evolución de los gemelos digitales, permitiendo no solo el monitoreo de variables ambientales, sino también la automatización y el control de distintos elementos dentro del inmueble.

En este sentido, la aparición de hardware Open Source como **Arduino y Raspberry Pi** (Arduino, 2023; Raspberry Pi, 2023) ha sido un punto de inflexión. Antes, la implementación de sistemas sensoriales en edificios estaba reservada para proyectos de gran presupuesto con soluciones propietarias y cerradas. Sin embargo, la democratización del hardware a bajo costo ha permitido que cualquier usuario o empresa pueda desarrollar su propio ecosistema de sensores, actuadores y sistemas de automatización sin depender de soluciones costosas.

Sensores y actuadores en el Gemelo Digital

Dentro de un Gemelo Digital, los sensores cumplen la función de capturar datos del entorno físico y enviar la información a la plataforma de procesamiento, mientras que los actuadores permiten modificar el estado del edificio en respuesta a las condiciones detectadas. Entre los más utilizados en un entorno de oficina, destacan:

- **Sensores ambientales**: temperatura, humedad, calidad del aire (CO_2, partículas en suspensión), nivel de ruido, presión atmosférica.
- **Sensores de ocupación y movimiento**: detección de presencia en salas, conteo de personas, sensores de apertura de puertas y ventanas.
- **Sensores de consumo energético**: monitorización de la demanda eléctrica en tiempo real, medición de consumos individuales por circuito o equipo.
- **Actuadores**: controladores de iluminación (atenuadores, encendido/apagado automático), termostatos inteligentes, reguladores de ventilación y climatización.

Todos estos elementos trabajan en conjunto dentro del Gemelo Digital, permitiendo no solo visualizar el estado del edificio, sino también **automatizar su operación**. Por ejemplo, si un sensor detecta un exceso de CO_2 en una sala de reuniones, el sistema puede activar automáticamente la ventilación o ajustar el caudal de aire acondicionado. De la misma manera, la monitorización del consumo eléctrico en tiempo real puede generar alertas o sugerencias para reducir el gasto energético.

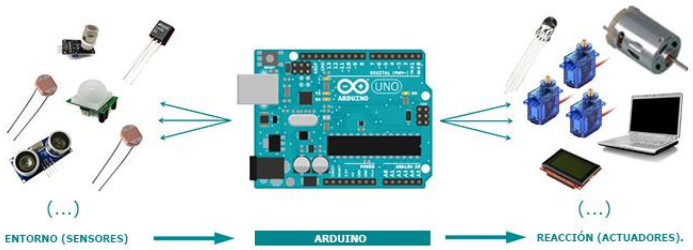


Fig. 2 Arduino. Sensores y Actuadores

 BY-NC-SA

La aplicación de la domótica en oficinas

La aplicación de tecnologías IoT dentro de los Gemelos Digitales ha favorecido enormemente el desarrollo de la domótica, permitiendo que los edificios sean más inteligentes y eficientes. A través de protocolos abiertos como MQTT o Zigbee, dispositivos de diferentes fabricantes pueden comunicarse entre sí y con plataformas de gestión centralizadas como Home Assistant o Node-RED. Esto posibilita crear automatizaciones avanzadas, como el ajuste de iluminación en función de la luz natural o la regulación de la climatización según la ocupación de cada espacio.

En el caso de un edificio de oficinas, la integración de IoT con el Gemelo Digital permite:

- Optimizar la climatización para evitar el desperdicio de energía en salas vacías.
- Automatizar la iluminación en función de la presencia de personas.
- Mejorar la calidad del aire para favorecer el confort y la productividad de los empleados.
- Generar informes detallados de consumo energético y fomentar la concienciación sobre el ahorro de recursos.

Gracias a la combinación de hardware Open Source y plataformas de gestión inteligentes, la tecnología IoT se ha convertido en un pilar clave para la expansión de los Gemelos Digitales, ofreciendo soluciones asequibles, escalables y eficientes para la optimización de edificios.

3.3. Software Open Source para recopilación, análisis y gestión de datos en un gemelo digital

Así como el hardware IoT proporciona la infraestructura para la captura de datos en un Gemelo Digital, el software se encarga de recopilar, analizar, almacenar y gestionar la información generada por los sensores y dispositivos del edificio. En un enfoque Open Source, existen múltiples herramientas que permiten desarrollar una arquitectura flexible y modular, sin depender de soluciones privativas.

A continuación, se describen los principales programas open source, que conforman el ecosistema de software para un Gemelo Digital enfocado una oficina.

3.3.1. Home Assistant – Plataforma de automatización y visualización

Home Assistant es una de las plataformas de automatización más potentes dentro del ecosistema Open Source (Home Assistant, 2023). Permite:

- Recibir datos en tiempo real desde sensores IoT.
- Crear paneles de control personalizados para visualizar información como temperatura, calidad del aire o consumo energético.
- Definir reglas y automatizaciones para que el edificio responda de manera inteligente a los eventos detectados (por ejemplo, apagar luces si una sala está vacía).
- Integrarse con cientos de dispositivos y protocolos de comunicación como MQTT, Zigbee, Z-Wave, Modbus o KNX.

Fig. 3 Ecosistema Home Assistant – Node-RED

 BY-NC-SA

3.3.2. Node-RED – Organizador de procesos y análisis de datos

Node-RED es una herramienta gráfica basada en flujos de trabajo (Node-RED, 2023), ideal para:

- Procesar y filtrar datos antes de almacenarlos en la base de datos.
- Integrar información de múltiples fuentes sin necesidad de programar manualmente.
- Enviar alertas o generar acciones automáticas en función de ciertos parámetros (por ejemplo, si el nivel de CO_2 es alto, encender la ventilación).
- Facilitar la conexión entre sensores, bases de datos y paneles de visualización sin depender de código complejo.

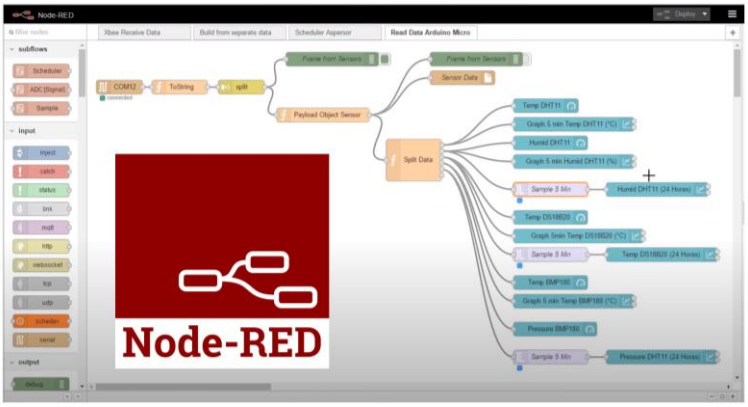


Fig. 4 Interface Node-RED

3.3.3. Bases de datos – MySQL para almacenamiento estructurado

Para gestionar la gran cantidad de datos generados por los sensores, es imprescindible contar con una base de datos eficiente. **MySQL**, una de las bases de datos relacionales más utilizadas en el mundo Open Source, es una opción sólida debido a su:

- Capacidad para manejar grandes volúmenes de datos con estructuras bien definidas.
- Integración con otros sistemas como Home Assistant y Node-RED.
- Seguridad y escalabilidad, permitiendo consultas avanzadas para análisis históricos.

Alternativamente, para proyectos con necesidades más dinámicas, se pueden considerar bases de datos **NoSQL** como **MongoDB** o **InfluxDB**, especialmente útiles para almacenar datos de series temporales y métricas en tiempo real.

3.3.4. Mosquitto – Broker MQTT para comunicación entre dispositivos

El **protocolo MQTT** se ha convertido en el estándar para la comunicación eficiente entre dispositivos IoT y servidores de procesamiento. **Eclipse Mosquitto** es un broker MQTT Open Source (Mosquitto, 2023) que permite:

- Gestionar la transmisión de datos entre sensores, Home Assistant y Node-RED.
- Optimizar el envío de información con un consumo de ancho de banda mínimo.
- Asegurar una comunicación confiable y en tiempo real entre los diferentes sistemas del Gemelo Digital.

Su integración con Home Assistant es nativa, lo que permite que cualquier sensor compatible con MQTT pueda enviar sus datos de manera inmediata al sistema. Además, al ser de código abierto, su configuración puede ajustarse para manejar grandes volúmenes de información sin costes adicionales.

El éxito de un Gemelo Digital depende tanto del hardware IoT como del software que lo gestiona. Gracias a herramientas Open Source como **Home Assistant, Node-RED, MySQL y Mosquitto**, es posible desarrollar

 BY-NC-SA

un sistema potente y completamente personalizable sin depender de plataformas privativas. Esta combinación de tecnologías no solo permite la monitorización en tiempo real del edificio, sino que también habilita la automatización, el almacenamiento de datos históricos y la comunicación eficiente entre todos los elementos del sistema.

3.4. **Retroalimentación y control a tiempo real**

Una vez recibidos y depurados los datos en Home Assistant y Node-RED, el gemelo digital cierra el ciclo de información actuando sobre el entorno físico mediante relés y controladores inteligentes. Cada automatización se estructura en tres pasos:

- Detección – El sensor publica su lectura vía MQTT; Home Assistant actualiza la entidad y Node-RED la consume en un flujo.
- Decisión – En Node-RED se evalúan reglas (“Escenarios”) que combinan el valor del sensor con el estado de los equipos y el horario.
- Acción + Registro – Si la condición se cumple, Node-RED envía un comando MQTT al actuador correspondiente y escribe el evento en la base de datos para que el modelo BIM registre el nuevo estado.

Un ejemplo sería: en la oficina a partir de las 19:00h, si los sensores de presencia no detentan ocupación, y el sistema de climatización o luminarias están encendidos, Node-Red ejecuta un nodo que envía la orden de apagado. En el mismo “escenario” registra en la base de datos MySQL el evento y modifica en el modelo BIM los parámetros (“OFF”) en las instalaciones. Con eso se sincroniza la presencia virtual con el estado físico durante las horas de inactividad.

Con esta lógica, el gemelo no solo refleja lo que sucede, sino que modifica el edificio y registra de nuevo el cambio en el modelo BIM, garantizando la bidireccionalidad exigida por la definición clásica de Grieves (2014).

4. **Flujo de trabajo para montar un gemelo digital de una oficina**

4.1. **Creación del modelo BIM**

Generación del modelo BIM

- Se parte de un levantamiento digital del espacio de la oficina utilizando software BIM.
- El modelo BIM debe incluir zonificación, instalaciones eléctricas y de climatización para que sirva como base del Gemelo Digital.
- Exportación a formato IFC, que permite la interoperabilidad con otras herramientas Open Source.

El modelo IFC podemos usarlo con programas Open Source de mantenimiento de edificios como openMAINT (openMAINT, 2025), o incluso crear un visor gráfico sincronizado con el modelo IFC y los datos de la base de datos. Es un trabajo de investigación en fase de desarrollo mediante la aplicación web-ifc-viewer de Antonio González Viegas GONZÁLEZ VIEGAS, Antonio (2023)

4.2. **Instalación de hardware IoT**

4.2.1. Sensores y actuadores

Se instalan dispositivos IoT basados en Arduino y Raspberry Pi (Arduino, 2023; Raspberry Pi, 2023) para capturar y controlar parámetros clave:

- Sensores ambientales: temperatura, humedad, CO_2, calidad del aire.
- Sensores de ocupación: detección de presencia en salas, aforo.
- Sensores de consumo energético: monitoreo de circuitos eléctricos y dispositivos.
- Actuadores: control de iluminación, climatización, persianas motorizadas.

 BY-NC-SA

Para la instalación y programación de sensores y actuadores, podemos utilizar los recursos que hay de Arduino, con una comunidad y desarrollo muy grande, y fácil de entender y grandes recursos. Para ello con nuestros dispositivos y la IDE de Arduino (https://www.arduino.cc/en/software) podemos configurar todos nuestros equipos.

4.2.2. Configuración del servidor en Raspberry Pi (Raspberry Pi, 2023)

Instalaremos el sistema operativo en la Raspberry Pi.

- Descargar la imagen de Ubuntu Server 64 bits desde la web oficial (Ubuntu, 2023)
- Utilizar Balena Etcher para grabar la imagen en una tarjeta microSD. (Etcher, 2023)
- Cargar la tarjeta en la Raspberry Pi y arrancar el sistema, conectamos la Raspberry Pi a la red y actualizamos el sistema operativo.
- Instalamos Docker y Docker Compose (Docker, 2023)
- Instalamos Portainer (Portainer, 2023), el cual es un administrador de contenedores de Docker y nos servirá para instalar el resto de software a través del navegador utilizando la potencia de Docker Compose al cual accedemos mediante “https” que es mucho mas seguro y escuchando a través del puerto 9443 (por ejemplo: https://192.168.0.XXX:9443)
- Instalamos Home Assistant (Home Assistant, 2023) desde Portainer con Docker Compose y accedemos a él mediante https en el puerto 8123 (por ejemplo: https://192.168.0.XXX:8123)
- Instalamos Node-Red (Node-RED, 2023) desde Portainer con Docker Compose y accedemos a él mediante https en el puerto 8123 (por ejemplo: https://192.168.0.XXX:8123)
- Instalamos Eclipse Mosquitto (Mosquitto, 2023) como broker MQTT
- Podríamos integrar también Grafana (Grafana, 2023) para la visualización de datos.

4.2.3. Conexión con la Raspberry Pi mediante MQTT

Para que los sensores y actuadores instalados en la oficina puedan enviar y recibir información en tiempo real, se necesita un protocolo de comunicación eficiente y ligero. En este caso, MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) es la mejor opción, ya que está diseñado específicamente para dispositivos con recursos limitados, como los microcontroladores Arduino y Raspberry Pi.

El broker MQTT es el intermediario que recibe los datos publicados por los sensores y los distribuye a los suscriptores (Home Assistant, Node-RED y otros dispositivos). Para este proyecto, utilizaremos Eclipse Mosquitto, una de las soluciones Open Source más populares y livianas.

Una vez configurado el broker en la Raspberry Pi, el siguiente paso es hacer que los sensores conectados a un Arduino (ESP8266, ESP32 o similar) envíen datos mediante MQTT. Para esto, se necesita instalar la librería PubSubClient en el IDE de Arduino.

4.2.4. Configuración de las automatizaciones

Una vez tenemos conectados todos los sensores y actuadores mediante MQTT a nuestra Raspberry Pi, y tenemos conectado nuestro Home Assistant con Node-Red. Podemos configurar los flujos de automatización, por ejemplo:

- Ajuste de temperatura según la ocupación.
- Apagado automático de luces en espacios vacíos.
- Alertas de calidad del aire cuando los niveles de CO_2 sean altos.

Y podemos también crear paneles en Home Assistant o con Grafana para:

- Visualización del estado de la oficina: temperatura, humedad, consumo energético.
- Control manual y automático de dispositivos.

 BY-NC-SA

Un último apartado sería realizar pruebas y optimizaciones para comprobar que el gemelo Digital que hemos creado funciona correctamente:

- Verificar que los sensores envían datos correctamente a Home Assistant.
- Comprobar la ejecución de flujos en Node-RED.
- Ajustar las reglas de automatización para optimizar el consumo energético.
- Testear accesibilidad a Home Assistant y Portainer desde dispositivos móviles

Fig. 5 Monitorización Home Assistant - Node-RED

5. **Resultados preliminares de la implantación**

En un caso práctico que se está desarrollando, sobre una oficina de arquitectura de 60 m^2, en una primera fase de sensorización, se han instalado 24 nodos de sensorización IoT con los siguientes dispositivos:

- Medición de temperatura y humedad, mediante 8 sondas DHT22, distribuidas por las diferentes espacios y en el exterior
- Medición de la calidad del aire , mediante 4 sensores NDIR CO_2, (rango 0–5 000 ppm)
- Medición de iluminación, mediante 6 sensores de luz digital TSL2591, a nivel de plano de trabajo.
- Medición de energía eléctrica, mediante 6 medidores de circuitos colocados en el cuadro eléctrico (KETOTEK Smart Medidor de Consumo Electrico Monofásico)

Todos los dispositivos publican lecturas cada minutos via MQTT, almacenando los datos en la base de datos MySQL y se visualizan a tiempo real en un panel Grafana integrado en Home Assistant, y se han configurado escenarios en Node-Red para tomar decisiones y actuar sobre el modelo físico de la oficina cuando sea necesario.

Todos los interruptores y conmutadores analógicos se ha digitalizado mediante relés Sonoff-Mini, sobre los cuales se pueden actuar en caso de necesidad de apagar o encender alguna luminaria o dispositivo.

Y se ha equipado la oficina con SAIs que mediante unos nuevos SAIs que mantiene durante unos minutos los equipos (ordenadores, switch y router) encendidos y conectados para mantener la comunicación y hacer una apagado correcto de los equipos en caso de corte de suminsitro eléctrico avísando via internet de cualquier posible incidencia a través de la app de Home Assistant.

BY-NC-SA

6. Conclusiones

La implementación de un gemelo digital en un estudio u oficina de arquitectura, siguiendo un enfoque de tecnologías abiertas, ofrece múltiples ventajas:

- Optimización continua: Gracias al flujo de datos bidireccional y a la analítica en tiempo real, la oficina puede ajustarse de manera constante a las necesidades de sus ocupantes, mejorando eficiencia energética y confort.
- Escalabilidad y flexibilidad: El uso de hardware y software Open Source permite comenzar con un sistema sencillo (monitorización básica) e ir incorporando funcionalidades, sensores y automatizaciones a medida que crecen las necesidades del espacio de trabajo.
- Sostenibilidad y concienciación: La visualización de consumos y el control automatizado de recursos fomentan prácticas más responsables y un menor impacto ambiental.
- Colaboración multidisciplinar: El BIM como base del proyecto facilita el intercambio de información entre arquitectos, ingenieros y especialistas en IoT, integrando todas las fases del ciclo de vida del edificio.
- Futuras líneas de investigación: La integración con algoritmos avanzados de Inteligencia Artificial, la predicción de comportamiento de usuarios y la conexión con sistemas externos (por ejemplo, redes eléctricas inteligentes) abren un amplio abanico de posibilidades para la evolución de los gemelos digitales.

En resumen, el gemelo digital basado en herramientas Open Source aporta un marco sólido para la transformación digital de espacios de trabajo. Su naturaleza modular y escalable lo convierte en una alternativa viable tanto para grandes corporaciones como para estudios de arquitectura de menor tamaño, permitiendo innovar y responder a los retos del sector de forma ágil y sostenible.

Referencias

Libros y capítulos

EASTMAN, C., TEICHOLZ, P., SACKS, R. y LISTON, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors. 2.ª ed. Hoboken (NJ): John Wiley & Sons.

GRIEVES, M. (2014). “Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication”. White Paper. Florida Institute of Technology.

Páginas web y software

GONZÁLEZ VIEGAS, Antonio (2023). web-ifc-viewer. https://github.com/ThatOpen/web-ifc-viewer [Consulta: 10 de abril de 2025].

ARDUINO (2025). Arduino IDE. https://www.arduino.cc/en/software [Consulta: 10 de abril de 2025].

DOCKER (2025). Docker Documentation. https://docs.docker.com [Consulta: 10 de abril de 2025].

ETCHER (2024). Balena Etcher Documentation. https://etcher.balena.io/ [Consulta: 10 de abril de 2025].

GRAFANA (2025) Grafana Documentation. https://grafana.com/ [Consulta: 10 de abril de 2025].

HOME ASSISTANT (2025). https://www.home-assistant.io/ [Consulta: 10 de abril de 2025].

MOSQUITTO (2025). Eclipse Mosquitto. https://mosquitto.org/ [Consulta: 10 de abril de 2025].

NODE-RED (2024). Node-RED: Low-code programming for event-driven applications. https://nodered.org/ [Consulta: 10 de abril de 2025].

OPENMAINT (2025). https://www.openmaint.org/en [Consulta: 10 de abril de 2025].

PORTAINER (2025) Portainer Doumentation. https://docs.portainer.io/start/install-ce/server/docker/linux [Consulta: 10 de abril de 2025].

RASPBERRY PI (2025). Raspberry Pi Documentation. https://www.raspberrypi.org/documentation/ [Consulta: 10 de abril de 2025].

UBUNTU (2025) Ubuntu Server Documentation. https://ubuntu.com/download/server [Consulta: 10 de abril de 2025].

 BY-NC-SA

14º Encuentro de Usuarios BIM
CONGRESO INTERNACIONAL BIM
BIM INTERNATIONAL CONFERENCE

BIMcollab

COAT VALENCIA
Colegio Oficial de la Arquitectura Técnica de Valencia

lumion

hiberus

MagiCAD GROUP

ACCA SOFTWARE

Leica Geosystems

GstarCAD

SketchUp

DALUX

RIB | Presto

Berrilan
advanced building projects

Posgrado BIM UPV

Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas
INGENIEROS CIVILES.ES
CITOP Valencia y Castellón

tinforsound
Informática • Sonido • Comunicación

CTAV COLEGIO TERRITORIAL DE ARQUITECTOS DE VALENCIA

VIRCORE

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA