

EUBIM 2024

13º Encuentro de Usuarios BIM

CONGRESO INTERNACIONAL BIM
BIM INTERNATIONAL CONFERENCE

**IMpossible is
BIMpossible**

Valencia 22, 23, 24, 25 de mayo 2024

LIBRO DE ACTAS

Organizadores:



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Entidades Participantes:

GURV



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ



www.EUBIM.com

Congresos UPV

EUBIM2024. International BIM Conference EUBIM 2024. 13º Encuentro de usuarios BIM

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

© Edición Científica

Begoña Fuentes Giner
Inmaculada Oliver Faubel

Comité Organizador

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

© de los textos: los autores

© 2024, de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València.

www.lalibreria.upv.es Ref.: 6793_01_01_01

ISBN: 978-84-1396-269-6

DOI: <https://doi.org/10.4995/EUBIM2024.2024.19015>



EUBIM2024. International BIM Conference EUBIM 2024. 13º Encuentro de usuarios BIM

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

Basada en una obra en <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/EUBIM/EUBIM2024>

PRESENTACIÓN

EUBIM 2024: IMpossible is BIM possible

La metodología BIM ha revolucionado por completo la percepción de lo que antes se consideraba inalcanzable, **imposible**, abriendo las puertas a nuevas posibilidades en el ámbito de la construcción y el diseño. En proyectos de una complejidad sin igual, donde convergen diversas ingenierías, despachos de arquitectura, constructoras y entidades públicas, BIM se ha convertido en el pilar fundamental que permite la materialización de ideas que antes solo podían ser sueños lejanos. La colaboración basada en modelos de información y plataformas de datos comunes ha demostrado su valía, logrando objetivos como la coordinación, el cumplimiento de plazos, la transferencia de información sin fisuras, la eliminación de errores y el análisis exhaustivo del estado de los datos. En entornos empresariales más pequeños, la metodología BIM también ha dejado su huella, generando resultados en plazos y con una calidad que anteriormente se consideraban casi imposibles de alcanzar con métodos tradicionales.

Aunque aún queda un largo camino por recorrer hasta una completa industrialización del sector, el uso de BIM lo ha allanado hacia una mayor eficiencia y productividad. Si bien otros sectores pueden estar más adelantados en términos de industrialización, la metodología BIM ha acortado la distancia y ha impulsado un cambio significativo en la forma en que concebimos y llevamos a cabo proyectos de construcción y diseño. Cada avance, por pequeño que sea, nos acerca un poco más a una realidad donde la construcción se convierte en un proceso más ágil, colaborativo, eficiente y **posible** con todo ello.

El comité organizador de EUBIM se siente profundamente emocionado y honrado de ser parte de este viaje hacia el futuro de la industria de la construcción. Nos llena de alegría compartir conocimientos, fomentar conexiones entre empresas y profesionales, y expresar nuestra más sincera gratitud a todos los que hacen posible este evento. Desde los valientes asistentes que siempre confiáis en nosotros a veces incluso sin conocer previamente el programa ni a los ponentes, hasta las empresas participantes y patrocinadores que apoyáis esta iniciativa con entusiasmo, cada uno de vosotros juega un papel fundamental en el éxito de este congreso.

Agradecemos sinceramente a los autores de comunicaciones por enriquecer nuestro programa con su experiencia y sabiduría. Pero, en este sentido, queremos hacer un llamamiento a todos los profesionales, responsables de los departamentos de I+D+i de las empresas, investigadores, docentes y cualquier persona que desee contribuir al avance de la industria de la construcción. Nuestro desafío común para las próximas ediciones es aumentar significativamente el número de comunicaciones recibidas en el congreso. Queremos que este evento sea una plataforma viva donde se compartan una amplia gama de conocimientos, experiencias y avances. Vuestro aporte es crucial para hacer realidad este objetivo y para enriquecer aún más nuestra comunidad EUBIM y convertir este desafío en una oportunidad para impulsar el crecimiento y la excelencia en nuestra industria. Contamos con vosotros para hacer de cada edición de EUBIM un éxito aún mayor. Igualmente agradecemos a los ponentes invitados por compartir sus historias inspiradoras y a los miembros del comité científico por su labor incansable en la revisión y selección de comunicaciones. También queremos extender nuestro agradecimiento a todos aquellos que trabajan en la sombra para que este congreso se convierta en una realidad. Su dedicación y compromiso son la fuerza impulsora que nos impulsa a seguir adelante y a hacer de cada edición de EUBIM una experiencia inolvidable.

Así que, queridos EUBIMmers, ¡bienvenidos a una semana llena de descubrimientos, aprendizaje y conexiones que trascienden las fronteras de lo profesional para convertirse en experiencias que nos enriquecen a nivel personal! Juntos, estamos construyendo un futuro más brillante y prometedor para nuestra industria y para las generaciones venideras.

El Comité Organizador de EUBIM 2024

COMITÉ INSTITUCIONAL

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

COMITÉ CIENTÍFICO

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

COMITÉ ORGANIZADOR UPV-GURV

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

TEMAS DEL CONGRESO

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

1. FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

1. FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

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

1.1 Investigación

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

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

1.2 Formación

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

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

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

1.3 Empleabilidad

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

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

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

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

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

2.1 Costes, mediciones y presupuestos

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

2.2 Gestión de las TI

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

2.3 Gestión de los espacios

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

2.4 El mantenimiento de los activos, mantenimiento preventivo y correctivo

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

2.5 Aplicaciones de las nubes de puntos

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

2.6 Facility Management

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

2.7 Metodologías BIM al servicio del FM

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

2.8 Propiedad y Legalidad en BIM

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

2.9 Conexión de programas BIM con bases de datos y BMS

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

2.10 El papel del BIM en las smart cities

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

2.11 Normalización

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

2.12 Programación Visual y Desarrollo de aplicaciones vía API

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

2.13 Realidad Virtual, Realidad aumentada y Realidad Mixta

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

3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

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

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

3.1 Experiencias reales

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

3.2 Casos de éxito

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

3.3 Coordinación entre diferentes agentes del proceso constructivo

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

3.4 Procesos

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

3.5 Adaptación de Flujos de Trabajo

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

3.6 Generación de documentos de Construcción

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

ÍNDICE DE COMUNICACIONES Y PONENCIAS

1. FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

- 1.1 OPTIMIZACIÓN DEL REGISTRO DE LESIONES CONSTRUCTIVAS A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA Scan-to-BIM
García Valldecabres, Jorge L; Escudero, Pablo Ariel; López González Concepción; Cortés Meseguer, Luis Pág.13
- 1.2 AUTOBIM. AUTOMATIZACION DEL RECONOCIMIENTO DE OBJETOS EN NUBES DE PUNTOS PARA UN MODELADO BIM SEMI AUTOMÁTICO
Quintana-Romo, Mikel; Capelastegui-Lasso, Abel; Macias-Ruiz, Izaskun; Cacheiro-Larios, Asier; Moros-Montañés, Jacinto Jesús.....Pág.22
- 1.3 USO DEL BIM PARA EL DESARROLLO DE UNA INFRAESTRUCTURA DE DATOS PARA ESTIMAR LA HUELLA DE CARBONO QUE GENERAN LOS EDIFICIOS A LO LARGO DE SU CICLO DE VIDA EN ESPAÑA
García Martínez, Antonio; Soust-Verdaguer, Bernardette; Rey-Álvarez, Belén; Máximo Cubero, Germán Sicre; Alba Dorado, José Antonio Pág.33
- 1.4 BIM-GIS INTEGRATION OF 3D THERMAL POINT CLOUDS
Ramón-Constantí, Amanda; Castilla-Pascual, Francisco Javier y Adán-Oliver, Antonio..... Pág.43
- 1.5 CONSTRUCCIÓN DE MODELOS BIM EN EL ESQUEMA DE DATOS IFC CON LA LIBRERÍA IFCOPENSHELL
Pastor Villanueva, José María..... Pág.54
- 1.6 TRABAJO COLABORATIVO EN EL MÁSTER BIM DE LA UDC
Romero-Fernández, José; Garrido-Iglesias, André y Pérez-Ordoñez, Juan Luis..... Pág.65
- 1.7 PROCESO DE VISADO Y VERIFICACIÓN DE MODELOS IFC EN PLATAFORMAS DE VISADO COLEGIAL CON BLOCKCHAIN
Alonso-Martin, Jerónimo; Acebes-Senovilla, Fernando; López-Paredes, Adolfo..... Pág.76

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

- 2.1 ENFOQUE BASADO EN BIM-GIS ALINEADO CON ISO 9001 PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD
Araya-Santelices, Pablo; Moraga, Pedro; Atencio, Edison; Lozano-Galant, Fidel y Lozano-Galant, José Antonio.....Pág.83
- 2.2 AUTOMATIZACIÓN DEL POSICIONAMIENTO DE SISTEMAS CIMBRADO EN TABLEROS DE HORMIGÓN
Loza-Remón, Raquel; Barbeta-Acerete, José Mauricio; Briz-Millán, José María; Garate-Arrazola, Alex; Blazquez-Recio, Alfonso y Espinós-Andrés, Jesús.....Pág.92
- 2.3 URBAN TACTICS - PLATAFORMA WEB BIM BASADA EN DISEÑO GENERATIVO PARA OPTIMIZAR ESTUDIOS DE VIABILIDAD URBANÍSTICA
Quintana-Romo, Mikel; Capelastegui-Lasso, Abel; Moros-Montañés, Jacinto JesúsPág.102

3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

- 3.1 ESTRATEGIAS BIM PARA LA ELABORACIÓN DE UN PROYECTO DE REHABILITACIÓN: EL CASO DE ESTUDIO DE LA RPMD DE CARLET
Galiano-Garrigós, Antonio, Patón-Ballester, Marina y Marco-Peñas, Francisco.....Pág.115
- 3.2 INDUSTRIA 4.0: BIM COMO DIRECTOR DE ORQUESTA EN EL DISEÑO, FABRICACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE EDIFICACIÓN INDUSTRIALIZADA
Lacalle-Usabiaga, Raúl; Rebollar-Buldain, Pedro; Aznar-Martínez, Cristina y Used-Vivas, Adrián..... Pág.127
- 3.3 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE GESTIÓN DE CASTILLO DE ACTIVOS A PARTIR DE MODELOS BIM
Moya Sala, Joaquim; Jardí Margalef, Agustí; Iglesias Gamella, Fernando.....Pág.133
- 3.4 BIM AND IPD: THE DEVELOPMENT OF COLLABORATIVE-CONTRACT MODELS - CASE STUDIES
Orsi, AlessandroPág.144
- 3.5 AGILIZANDO BIM
Gutiérrez_Sánchez, Ana Belén; Benítez_García, Armando.....Pág.154
- 3.6 METODOLOGÍAS ÁGILES EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURAS.
Benítez Balseiro, María Pág.164

FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

OPTIMIZACIÓN DEL REGISTRO DE LESIONES CONSTRUCTIVAS A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA Scan-to-BIM

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

^aProfesor titular de Universidad (Universitat Politècnica de València, España) jvallde@ega.upv.es,

^bArquitecto investigador (PEGASO, Universitat Politècnica de València, España) pabes@upv.edu.es,

^cCatedrática de Escuela Universitaria (Universitat Politècnica de València, España) mlopezg@ega.upv.es y

^dProfesor contratado doctor (Universitat Politècnica de València, España) luicorme@upv.es

Abstract

This study presents a methodology for analyzing and storing records obtained through laser scanning within a Building Information Modeling (BIM) environment of surfaces affected by various lesions. This methodology has been applied to one of the walls of the Chapel of the Holy Chalice in the Metropolitan Cathedral of Valencia. Following laser scanning, the information has been integrated and detailed into a BIM model, achieving an accurate representation of the affected surface. The presentation of collected information is enriched through the application of visualization filters, providing a clear perspective of the pathological manifestation within the context of comprehensive construction information management. This approach is specifically implemented in the evaluation of surfaces of historical buildings, serving as an important step towards the conservation and proper maintenance of architectural heritage.

Keywords: point cloud, BIM, heritage, HBIM

Resumen

Este estudio presenta una metodología para analizar y almacenar registros obtenidos mediante escáner laser en un entorno de Modelado de Información para la Construcción (BIM) de superficies afectadas por diversas lesiones. Esta metodología ha sido aplicada en uno de los muros de la Capilla del Santo Cáliz de la Catedral Metropolitana de Valencia. Tras el escaneado laser la información ha sido integrada y detallada en un modelo BIM, logrando una representación precisa de la superficie afectada. La presentación de la información recolectada se enriquece mediante la aplicación de filtros de visualización, lo que ofrece una perspectiva clara de la manifestación patológica en el contexto de la gestión integral de la información de la construcción. Este enfoque se implementa específicamente en la evaluación de superficies de edificaciones históricas, como un paso importante hacia la conservación y mantenimiento adecuado del patrimonio arquitectónico.

Palabras clave: nube de puntos, BIM, Patrimonio Cultural, HBIM

Introducción

En los últimos años, se ha detectado un creciente avance en la aplicación de la metodología Building Information Modeling (BIM) en el ámbito de las edificaciones históricas (HBIM) (Murphy et al. 2013). Este progreso queda evidenciado en los múltiples estudios de construcciones históricas realizados con el uso de esta metodología (Antonopoulou & Bryan, 2017). Asimismo, se ha impulsado el desarrollo de metodologías destinadas a la visualización mediante realidad virtual (VR) (Banfi, 2020), evidenciando el potencial de esta herramienta como un recurso sumamente prometedor para la gestión del patrimonio (Graham et al., 2019).

El progreso en la implementación de HBIM en la actualidad conduce a explorar sus diversas aplicaciones, en particular en la profundización del análisis de las superficies de los edificios históricos. El avance en la integración de tecnologías digitales, como el escaneo láser terrestre (TLS), ha sido fundamental para mejorar el nivel de detalle en el levantamiento arquitectónico, más aún en las construcciones históricas generadas en entornos BIM. Esto, a su vez, ha dado lugar a debates sobre el volumen de información generado y ha abierto nuevas líneas de discusión en este ámbito, planteando cuál es el nivel de conocimiento de modelos aplicados al patrimonio (LOK), concepto relacionado con el nivel de detalle del modelo (LOD) (Castellano-Roman & Pinto-Puerto, 2019). Los LOK representan diferentes niveles de detalle y comprensión del patrimonio cultural, desde una visión general hasta un conocimiento más detallado y complejo. La determinación del nivel de complejidad del LOK ha sido crucial para comprender cómo el grado de conocimiento del modelo influye en la cantidad y calidad de la información representada en el mismo.

Este trabajo de investigación forma parte del proyecto I+D titulado “Análisis y desarrollo de la integración HBIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino” (PID2020-119088RB-I00) del Ministerio de Ciencia e Innovación.

1. Objetivo

En la actualidad, el mapeo de la manifestación patológica en edificios históricos requiere un levantamiento tradicional inicial. El avance del diseño asistido por computador (CAD) ha llevado a disminuir los tiempos de representación de los levantamientos arquitectónicos. Posteriormente, el uso de técnicas digitales como la fotogrametría y/o el escaneo láser han aumentado su precisión logrando una mayor definición. Este proceso hace necesario digitalizar y procesar la información para obtener un producto visual aceptable, lo cual suele ser un trabajo laborioso en el que se pueden cuantificar las diferentes lesiones registradas. En este contexto, consideramos útil el uso del HBIM como una metodología de gestión de datos de construcciones históricas, diseñada para generar modelos *as-built* que incluyan tanto información paramétrica como atributos. Por ello, es esencial definir claramente el objetivo de cada modelo para determinar el nivel de conocimiento necesario.

Así, el objetivo de esta contribución es demostrar una alternativa para digitalizar la superficie de una construcción en un modelo BIM, que incorpore posteriormente la información relativa a los sectores afectados por lesiones asociadas a las alteraciones de color de los muros, incluyendo los diferentes datos necesarios para cuantificar el deterioro. Es fundamental detectar las islas o los agrupamientos con propiedades comunes en la nube de puntos, a partir de diferentes análisis orientados a integrar la información. En este caso se pretende orientar la identificación de las alteraciones de las superficies de forma semi-automática a partir de la variación cromática obtenida a partir del tiempo de exposición de la nube de puntos. De este modo se utiliza la colorimetría como una herramienta de análisis.

2. Metodología

El progreso de la fotogrametría y el escáner láser aplicados al levantamiento arquitectónico han mejorado el mapeo de la patología de un edificio, ofreciendo productos más precisos que permiten cuantificar el deterioro. La combinación de estas tecnologías con el CAD y el BIM resulta en un gemelo digital enriquecido con información alfanumérica, permitiendo el intercambio de datos a través del formato *Industry Foundation*

Classes (IFC) hacia diferentes plataformas digitales. Por estas razones, se propone un flujo de trabajo capaz de registrar de forma semiautomática las lesiones en las superficies de los edificios históricos, aprovechando la información obtenida mediante el escaneo láser para acelerar y optimizar el proceso de modelado en entornos BIM (Escudero, 2023).

Para automatizar la detección de la patología en superficies, se emplea la colorimetría como herramienta de análisis. Este proceso implica la captura de los valores RGB de una nube de puntos, los cuales son discretizados para detectar cambios de color, comparar áreas de materiales y evaluar la uniformidad cromática. Sin embargo, la información colorimétrica por sí sola puede no ser suficiente para identificar de manera precisa las alteraciones superficiales. Por ello, se incorpora un análisis de la superficie basado en la densidad de puntos (XYZ) y en la similitud de tonos para posteriormente llevar a cabo la interpolación de datos con el fin de obtener un resultado completo.

2.1. Caso de estudio: Catedral Metropolitana de Valencia

Se seleccionó el muro sureste del Aula Capitular o Capilla del Santo Cáliz de la Catedral Metropolitana de Valencia como objeto de estudio por formar parte del edificio religioso más singular de la ciudad y haber sido construido en una única etapa en su totalidad sin que haya sido modificado con intervenciones posteriores (Fig. 1). Se trata de una construcción de época tardogótica que en sus orígenes se trataba de un edificio aislado del edificio principal. Fue construida por Andrés Juliá entre los años 1365 – 1369 (Sanchis, 1933) y realizada en su totalidad con sillares de piedra y con unas proporciones casi cúbicas (13 m. de lado x 16 m de altura). Dispone de algunos elementos característicos, como la bóveda estrellada que cubre la planta cuadrada, las pequeñas bóvedas trianguladas en las esquinas y el excepcional retablo de alabastro (1415-1424) que ornamenta el paramento frontal, diseñado originalmente como fachada del trascoro y trasladado a este lugar en el XVIII (Fig. 2).

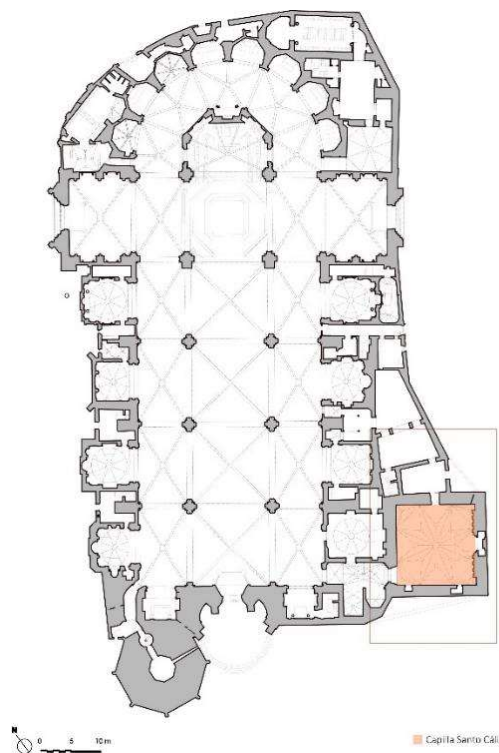


Fig. 1 Planta de la Catedral de Valencia, ubicación de la capilla del Santo Cádiz.



Fig. 2 Nube de puntos de la Capilla del Santo Cádiz de la Catedral de Valencia.

2.2. Aplicación de la metodología

Dentro del marco del proyecto de I+D, se realizó un escaneo láser 3D completo de todo el complejo religioso de la Catedral de Valencia, que constó de 543 estacionamientos, con una media de error de 1,2 mm en su registro, formada por más de 4 mil millones de puntos. En este caso particular optamos por segmentar las nubes de puntos pertenecientes a la Capilla del Santo Cádiz, formado por 4 estacionamientos interiores y 6 exteriores. Para validar la metodología objeto de este estudio, se decidió seleccionar el muro sureste por tratarse de una superficie predominantemente plana, con el propósito de minimizar posibles defectos en el muestreo, como puntos dispersos. Así mismo, la elección de la orientación del muro vino determinada por la homogeneidad e intensidad lumínica sobre este paramento, evitando así la posibilidad de crear contrastes distorsionados. Se verificó que la muestra obtenida presentaba distorsiones en la medición de exposición, producto de la unión de los diversos estacionamientos, con lo cual se optó por trabajar con un solo estacionamiento para evitar errores en el análisis de los puntos. Consecuentemente se llevó a cabo un proceso de segmentación para aislar los puntos de la superficie de interés, como se muestra en la figura 4. Esta segmentación conserva la calidad inalterada de los datos, incluyendo la densidad original entre los puntos y la ubicación precisa de cada uno.

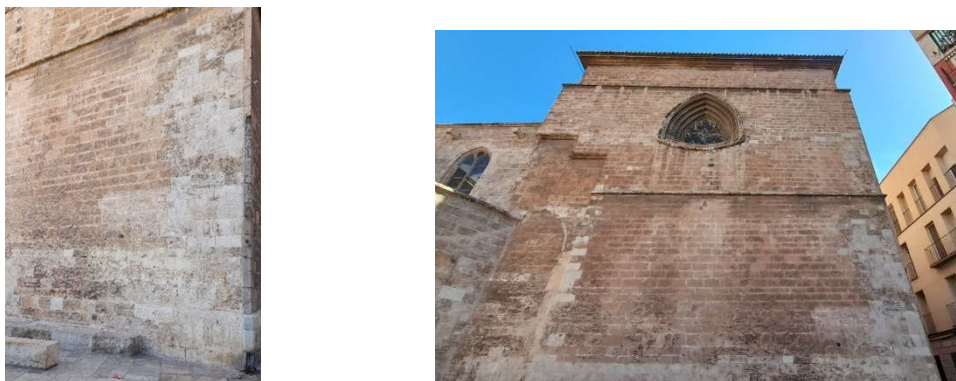


Fig. 3 Fotografías de la superficie de estudio de la Capilla Santo del Cádiz de la Catedral de Valencia.



Fig. 4 Nube de puntos de la superficie de estudio de la Capilla Santo del Cádiz de la Catedral de Valencia.

La metodología aplicada en la superficie comenzó con la clasificación por colorimetría de los puntos obtenidos mediante el escaneo láser. Esta clasificación permitió decodificar la información de la nube de puntos, proporcionando coordenadas locales (ejes X, Y y Z) y valores RGB que representan la información de color. Posteriormente, se utilizó el software de código abierto para nubes de puntos, CloudCompare, para manipular y analizar la nube de puntos de la superficie. La muestra estaba compuesta por 2,411,663 puntos con una separación que varió en el rango de 2 a 4 mm entre puntos. El objetivo principal fue identificar las áreas con cambios cromáticos significativos, que podrían indicar la presencia de alguna lesión cromática superficial.

Una vez obtenida la muestra del muro, se inició el proceso de análisis utilizando el software CloudCompare. El primer paso consistió en simplificar los valores RGB de los puntos de la muestra para facilitar su manejo y análisis subsiguiente (Fig. 5.1). Esto se logró mediante la aplicación de herramientas de procesamiento disponibles en el software, que permitieron reducir la complejidad de los datos sin comprometer la cantidad de puntos. Posteriormente, se procedió a la clasificación de los puntos en función de sus valores RGB sintetizados (Fig. 5.2). Esta etapa fue crucial para identificar patrones y características específicas en la superficie del muro.

Para lograr una clasificación efectiva, se establecieron rangos de valores RGB que representaban las distintas tonalidades presentes en la superficie del muro. Estos rangos se seleccionaron cuidadosamente de acuerdo con las características esperadas y los posibles cambios cromáticos. Una vez aplicados los criterios de clasificación, se obtuvo una representación visual de las áreas de interés en la muestra, destacando las regiones con cambios significativos en los valores RGB (Fig. 6). Esta representación visual se analizó cuantificando el número de colores, y para ello se utilizó el algoritmo de agrupamiento K-Means Clustering. Este enfoque permitió simplificar la diversidad de colores presentes en la muestra, facilitando así la identificación y eliminación de posibles artefactos o ruido visual.

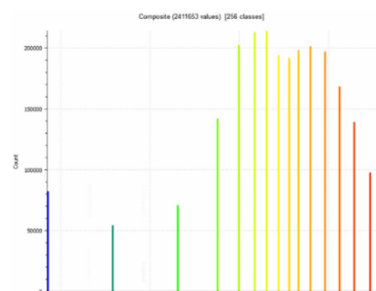
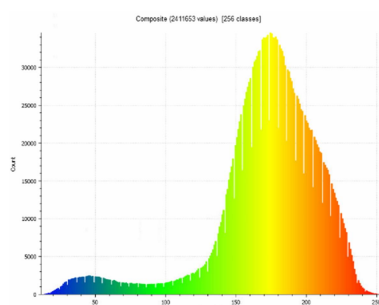


Fig. 5.1 Distribución de los cromatismos en la nube de puntos de la muestra. Fig. 5.2 Distribución simplificada de los cromatismos en la nube de puntos de la muestra.

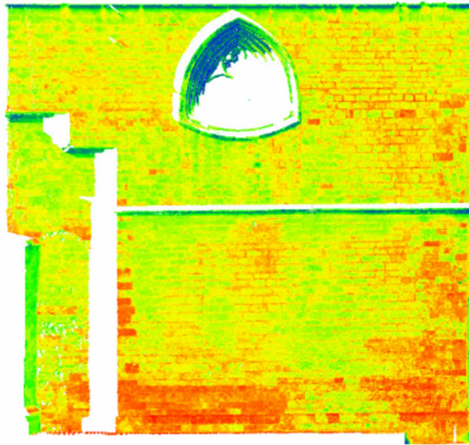


Fig. 6 Distribución de los cromatismos en la nube de puntos de la muestra.

Una vez identificadas las islas cromáticas, se procedió a realizar segmentaciones adicionales basadas en la interpolación de valores de densidad y tono de los puntos con el fin de distinguir los diferentes cambios de materiales en la superficie analizada. Este proceso permitió una mayor precisión en la caracterización de los materiales y facilitó la detección de posibles anomalías. Posteriormente se llevó a cabo un análisis exhaustivo para identificar las islas cromáticas que podrían indicar la presencia de afecciones. Esta etapa fue crucial para la evaluación y el diagnóstico del muro, ya que permitió identificar áreas específicas que requirieron mayor atención.

Para ello, en primer lugar, se identificaron las afecciones que podían ser detectadas superficialmente a partir del cromatismo, información que se obtuvo por la cámara del escáner laser. La muestra de comparación estaba compuesta por un intervalo discretizado de valores RGB (R-R, G-G, B-B), que fue posible interpretar como oscurecimiento en la superficie de la piedra. Este análisis proporcionó como resultado las diferentes áreas superficiales con tonos oscuros (Fig. 7).



Fig. 7 Distribución de los cromatismos en la nube de puntos de la muestra.

Una vez obtenidos los puntos con oscurecimientos, se procedió a su discretización para luego incorporar información específica a cada punto. Esta información incluyó un identificador único (ID), el tipo de patología presente, la distancia entre puntos y otros datos relevantes. Dado que la nube de puntos se encontraba georreferenciada, fue posible integrar esta información a BIM, como se describe en el estudio de Escudero (2023). Este proceso implica la generación de un modelo BIM utilizando una rutina en Dynamo para importar la información a Autodesk® Revit, que contiene los puntos RGB de la muestra, así como una segunda capa que está compuesta únicamente por los puntos de análisis que presentan oscurecimientos. De esta manera, se logra una representación detallada y precisa de las lesiones cromáticas presentes en la superficie, lo que facilita su análisis y gestión dentro del contexto del modelo BIM (Fig.8). Además, es posible obtener las superficies afectadas incorporando parámetros en BIM, considerando el punto como una superficie de medida.



Fig. 8 Nube de puntos convertida en modelo BIM a través de Autodesk® Revit.

En el exterior de la Capilla del Santo Cádiz, se ha identificado una potencial patología provocada por la acumulación de partículas y residuos. Esta acumulación resulta en una contaminación superficial de los elementos arquitectónicos y decorativos, impactando significativamente en la estética de las superficies. La presencia de estos residuos puede desencadenar diversos problemas, incluidos la gradual pérdida del brillo y la alteración del color de las superficies, así como la formación de manchas y de depósitos visibles que afectan la apariencia de los elementos ornamentales. Además, esta acumulación puede alterar la textura original de los materiales, intensificando el efecto cromático no deseado en el paramento de la capilla.

Esta acumulación de residuos también puede generar un ambiente propicio para el desarrollo de microorganismos, como moho y hongos, lo que contribuye a una mayor degradación de las superficies. Por lo tanto, es importante abordar esta patología mediante medidas de limpieza y mantenimiento adecuadas para preservar la integridad estética y prevenir otros problemas a largo plazo. La metodología propuesta permite detectar estas alteraciones, es decir, las superficies con oscurecimientos, facilitando así su tratamiento.

3. Posibles aplicaciones

La detección de lesiones en el patrimonio mediante cambios en la tonalidad o la aparición de otros materiales de color emerge como una técnica valiosa para identificar una variedad de problemas. El uso del escáner láser contribuye significativamente a este proceso al proporcionar mediciones precisas y detalladas de la superficie de los materiales y de las estructuras. Por ejemplo, las humedades ascendentes pueden manifestarse a través de cambios en la tonalidad de los materiales, tales como manchas oscuras o áreas más húmedas que pueden lucir más brillantes o exhibir un color distinto en torno a la base de una estructura. Estos cambios en la tonalidad pueden ser indicativos de la presencia de humedad y el consiguiente riesgo de daño estructural.

La presencia de moho y hongos en las superficies de los materiales puede provocar la aparición de manchas de color verde, negro o marrón. Estas manchas actúan como indicadores de un ambiente húmedo y pueden representar un peligro tanto para la integridad de los materiales como para la salud de las personas que interactúan con ellos.

En el caso de la eflorescencia salina, esta constituye un fenómeno en el cual los minerales disueltos en el agua subterránea o en los materiales de construcción migran hacia la superficie, dando lugar a la formación de depósitos blancos o de tonalidades claras en la superficie de los materiales. La presencia de estos

depósitos puede señalar problemas de humedad en la estructura y, a largo plazo, puede ser perjudicial para la integridad de los materiales.

Con respecto a las estructuras de metal, la presencia de óxido y corrosión puede ocasionar cambios en la tonalidad del material, que van desde un color metálico brillante hasta tonos de marrón, naranja o rojo, dependiendo del tipo de metal y del grado de corrosión. Estos cambios de color pueden ser indicativos de la necesidad de aplicar tratamientos para proteger el metal y evitar una mayor degradación.

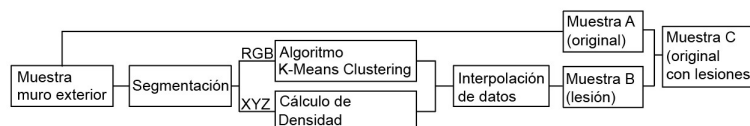
Por último, la contaminación atmosférica puede dar lugar a la aparición de manchas de color oscuro o decoloradas en la superficie de los materiales, especialmente en entornos urbanos. Estas manchas pueden sugerir la necesidad de llevar a cabo tareas de limpieza y restauración para preservar tanto la apariencia como la integridad de los materiales.

4. Conclusiones y limitaciones

El enfoque de Scan-to-BIM representa una solución eficiente y precisa para la rápida digitalización de afecciones patológicas en edificios históricos. Al simplificar y optimizar la conversión de datos de nube de puntos a modelos BIM, esta metodología conserva la integridad de la información original y proporciona flexibilidad en la asignación de atributos. Esto acelera el proceso de modelado y mejora la calidad de los resultados, incrementando la precisión y el nivel de detalle de los modelos obtenidos, facilitando el trabajo de los expertos en proyectos de restauración y gestión del patrimonio cultural.

La automatización de la detección de deterioros en las superficies permite una evaluación exhaustiva de posibles afecciones, ofreciendo una solución integral para el monitoreo y diagnóstico de condiciones anómalas en superficies (Tabla 1). La capacidad de incorporar diversos tipos de datos en un modelo BIM, a su vez, enriquece la comprensión integral de los monumentos históricos, lo que permite una toma de decisiones informada y eficaz en proyectos relacionados con la conservación del patrimonio arquitectónico. Así es posible disponer de una herramienta eficaz para la documentación detallada y la gestión de edificios afectados por deterioros, facilitando la planificación y ejecución de medidas correctivas y de conservación.

Tabla 1. Gráfico resumen de la metodología.



Sin embargo, es importante tener en cuenta algunas limitaciones de este método. Por ejemplo, este enfoque es efectivo principalmente para detectar lesiones superficiales que sean visibles y presenten contrastes cromáticos claros. La sobreexposición en las superficies debido a la iluminación directa, los reflejos o la captura inadecuada de puntos puede afectar la calidad de la muestra y, en consecuencia, la precisión de los resultados. Por lo tanto, a pesar de las contribuciones de esta metodología, es necesario considerar estas limitaciones al aplicarla en proyectos de conservación del patrimonio arquitectónico.

Referencias

- 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 archaeological sites 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.

Optimización del registro de lesiones constructivas a través de la metodología Scan-to-BIM. García-Valldecabres, J. L.; Escudero, P. A.; López González, M. C. y Cortés Meseguer, L.

ESCUADERO, 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 Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISSN 0924-2716.

SANCHIS SIVERA, J. (1933) "Arquitectos y escultores de la catedral de Valencia". *Archivo de Arte Valenciano* 19 p. 3-24. Valencia: Real Academia de Bellas Artes de San Carlos.

AUTOBIM. AUTOMATIZACION DEL RECONOCIMIENTO DE OBJETOS EN NUBES DE PUNTOS PARA UN MODELADO BIM SEMI AUTOMÁTICO

Quintana-Romo, Mikel^a; Capelastegui-Lasso, Abel^b; Macias-Ruiz, Izaskun^c; Cacheiro-Larios, Asier^d; Moros-Montañés, Jacinto Jesús^e

^aArquitecto, técnico senior en el Laboratorio de Tecnologías digitales en Tecnalía, mikel.quintana@tecnalia.com; ^bArquitecto técnico, responsable del Laboratorio de Tecnologías digitales en Tecnalía, abel.capelastegui@tecnalia.com; ^cIngeniera industrial, técnico senior en el Laboratorio de Tecnologías digitales en Tecnalía, izaskun.macias@tecnalia.com; ^dTécnico superior de FPPII, técnico en el Laboratorio de Tecnologías digitales en Tecnalía, externo-e21020@tecnalia.com; ^eArquitecto, investigador en el Laboratorio de Tecnologías digitales en Tecnalía, jesus.moros@tecnalia.com

Abstract

According to the United Nations urban population growth forecasts, it is expected that in 2030 more than 60% of the world's population will live in cities and in 2050 the urban population could represent two thirds. In order to respond to this situation, the AUTOBIM project is aimed at automating the generation of digital models of buildings to promote productive, efficient, sustainable and safe management. This work has 3 main objectives, (1) develop AI methods and techniques for the automation of the processing, segmentation and classification of point clouds; (2) develop methods and techniques for automating the process of generating BIM models from the elements recognized and classified in the point cloud; and (3) develop a web software platform that allows the integration of point cloud processing and semi-automatic BIM modeling into a single intuitive and easy-to-use application. This communication describes the work carried out on each of the 3 objectives set in the project, including the results obtained, the problems encountered and the alternatives planned to address them.

Keywords: AI, automation, point clouds, BIM models, web platform.

Resumen

De acuerdo con las previsiones de crecimiento de la población urbana de Naciones Unidas, se espera que en 2030 más del 60% de la población mundial vivirá en ciudades y en 2050 la población urbana podría representar dos terceras partes. Para poder dar respuesta a esta coyuntura, el proyecto AUTOBIM va dirigido a automatizar la generación de modelos digitales de los edificios para conseguir impulsar una gestión productiva, eficiente, sostenible y segura. Este trabajo plantea 3 objetivos principales, (1) desarrollar métodos y técnicas de IA para la automatización del procesado, la segmentación y clasificación de las nubes de puntos; (2) desarrollar métodos y técnicas de automatización del proceso de generación de modelos BIM a partir de los elementos reconocidos y clasificados en la nube de puntos; y (3) desarrollar una plataforma de software web que permita integrar en un solo aplicativo intuitivo y de fácil manejo el procesamiento de nubes de puntos y el modelado BIM semiautomático. En esta comunicación se describe el trabajo realizado en cada uno de los 3 objetivos marcados en el proyecto, incluyendo los resultados obtenidos, los problemas encontrados y las alternativas planteadas para abordarlos.

Palabras clave: IA, automatización, nubes de puntos, modelos BIM, plataforma web.

Introducción

La primera revolución informática en el sector de la arquitectura y la construcción ocurrió con la aparición de la tecnología CAD ampliamente utilizada hasta día de hoy, que, si bien reduce el tiempo de elaboración, imita el tradicional proceso de dibujo mediante lápiz y papel, creando planos independientes, que dan lugar a incoherencias y problemas no previstos a la hora de la ejecución del proyecto. Recientemente ha surgido la que parece ser la segunda gran revolución del sector, la metodología conocida como BIM (Building Information Modeling) que ya está siendo una realidad promovida por los gobiernos para las obras públicas (Gómez, C. 2022).

La metodología BIM permite una mejora de la productividad a la hora de diseñar la construcción o remodelación de un edificio. Se optimizan las fases de diseño, construcción y mantenimiento y facilita la generación de sinergias entre las distintas etapas del proyecto (González, C). No obstante, debemos ser conscientes de que aún queda mucho para que haya una implantación generalizada en los estudios de arquitectura, las ingenierías y las constructoras. Como consecuencia, un gran número de edificios no cuentan con un modelo BIM (Fundación laboral de la construcción, 2019).

Actualmente, la manera más directa que existe de generar modelos BIM de los edificios existentes es a través de un costoso proceso de escaneado del edificio y un posterior modelado manual del mismo. El proceso completo consta de (1) la obtención de una nube de puntos mediante un escáner 3D, (2) la importación de dicha nube de puntos a un programa de modelado BIM, (3) la identificación manual de los elementos que forman el edificio y (4) la regeneración de las geometrías. (Aftab, I. et al., 2023)

En este contexto, las empresas Ondoan (ingeniería) y Tecsa (constructora) forman un consorcio junto con el centro tecnológico Tecnalia y plantean el desarrollo del proyecto AUTOBIM. El objetivo principal es el desarrollo de nuevos sistemas que permitan automatizar la digitalización de edificios industriales para optimizar los procesos de mantenimiento. En el año 2021 el proyecto es presentado y aprobado en la convocatoria HAZITEK 2021 promovida por el Gobierno Vasco a través de la SPRI, agencia vasca de desarrollo empresarial.

1. Objetivos

Los objetivos que ha abordado el proyecto son (1) generar algoritmos de clasificación de nubes de puntos de edificios industriales, que permitirán a las empresas Tecsa y Ondoan automatizar las labores de procesado y reconocimiento de elementos arquitectónicos en las nubes de puntos; y (2) desarrollar algoritmos de generación semiautomática de modelos BIM a partir de los elementos reconocidos en las nubes de puntos que permitirán optimizar las labores de generación de modelos BIM de los edificios industriales. Además, el proyecto también ha innovado en la manera en la que el usuario accede y utiliza las automatizaciones anteriormente mencionadas, mediante la generación de una plataforma de software web intuitiva y de fácil manejo.

2. Desarrollo

El proyecto AUTOBIM se planifica con una duración de 3 años, iniciándose a mediados de 2021 y terminando a finales de 2023. El consorcio define un plan de trabajo formado por 5 Paquetes de Trabajo distribuidos en 3 bloques. El primer bloque está relacionado con las especificaciones y contiene el paquete de trabajo 1 cuyo objetivo es identificar los requisitos tanto técnicos como funcionales que debe cumplir el sistema. El segundo bloque se centra en el desarrollo de la solución y contiene 3 paquetes de trabajo (2, 3 y 4) en los que se diseñan los algoritmos de reconocimiento de objetos en nubes de puntos, los algoritmos de modelado BIM y la integración de componentes en una plataforma web. Finalmente, el tercer bloque incluye el paquete de trabajo 5 en el que se abordan las diferentes tareas de gestión y difusión de resultados.

2.1. Paquete de trabajo 1. Especificaciones y diseño del sistema

El proyecto AUTOBIM comienza con la identificación de los requisitos tanto técnicos como funcionales que debe cumplir el sistema de reconocimiento de patrones en nubes de puntos y modelado BIM automático. Para ello se empieza por estudiar y definir la estructura del sistema, diferenciando todos los elementos que van a formar parte del desarrollo y detallando sus características y relaciones internas.

Tal y como se puede ver en la siguiente imagen, el sistema diseñado está formado por 6 entidades: el usuario (1), la nube de puntos del espacio escaneado (2), la plataforma y el servidor web (3), el gestor de nube de puntos (4), el generador de modelos BIM (5) y el modelo BIM resultante (6).

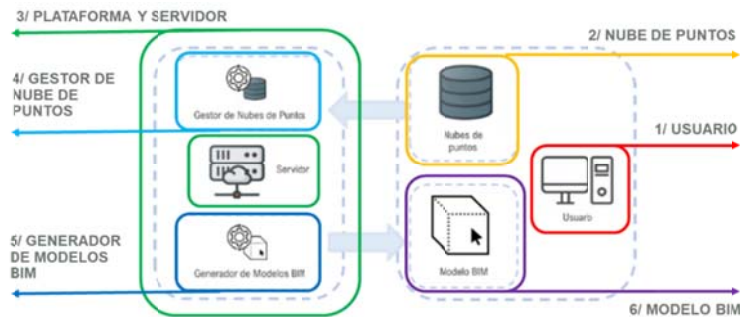


Fig. 1 Estructura y entidades del sistema. Fuente: elaboración propia.

De forma resumida, el funcionamiento del sistema se plantea de la siguiente manera. En primer lugar, el usuario sube a la plataforma web las nubes de puntos del espacio que quiere convertir en modelo BIM. Posteriormente, inicia el gestor de nubes de puntos indicando qué tipo de elementos se pretenden identificar en la nube de puntos. Una vez que el gestor de nubes ha procesado la información y ha detectado en ella los elementos que se han señalado de interés, el usuario descarga un listado de los elementos detectados en forma de archivo csv y lo revisa para validar que la clasificación realizada es correcta. En caso de detectar algún error de identificación, el usuario debe modificar el archivo csv directamente, categorizando el objeto con algún término reconocible (“otros”, “erróneo”) o borrar el elemento del archivo csv.

Más adelante, el usuario debe de subir el listado de objetos extraído de la nube de puntos al generador de modelos BIM e iniciar su funcionamiento. El generador se basará en la información contenida en el listado de objetos para parametrizar un objeto BIM con las características previamente extraídas de la nube de puntos e incluirlo en el modelo BIM resultante. Por último, el usuario debe descargar el modelo BIM generado y comprobar que el resultado es correcto, validando que el modelo BIM se ajusta en número y características a los elementos identificados en la nube de puntos.

Teniendo en cuenta la estructura y el funcionamiento del sistema, se plantean una serie de requisitos englobados en torno a las figuras de (1) la nube de puntos, (2) el modelado BIM y (3) la plataforma web.

Consideraciones en relación con las nubes de puntos.

- Formato de la nube de puntos: por defecto el formato de nube de puntos empleado será el E57 por su amplia interoperabilidad al permitir el almacenamiento de datos complejos en un formato abierto y estándar.
- Tamaño de la nube de puntos: el tamaño recomendado de nube de puntos dependerá de las características de la conexión de internet que se emplee para subir el archivo a la plataforma web. No obstante, se ha marcado un valor orientativo de 1 GB como el tamaño que se testará y validará en el proyecto.
- Resolución de la nube de puntos: En función de los elementos que se quieran procesar, se han diferenciado 2 tipos de resoluciones: (1) 12 mm para objetos de tamaño medio-grande como paredes, techos o equipos técnicos de tamaño medio-grande; (2) 6 mm para objetos de tamaño pequeño como tuberías, válvulas o equipos de pequeñas dimensiones.

- Aspecto de la nube de puntos: la nube de puntos deberá ser procesada antes de ser subida a la plataforma web para eliminar información que no aporte valor y dificulte el reconocimiento de los elementos que sí son de interés.

Consideraciones en relación con el modelado BIM.

- Uso de plantillas de archivo de proyecto: en caso de que el usuario quiera recibir el modelo BIM generado sobre un archivo de proyecto con unas características concretas, deberá vincular al generador BIM una plantilla de archivo de proyecto determinada.
- Ubicación: el usuario también deberá especificar el sistema de referencia sobre el que se localizará el modelo BIM generado.
- Formato y tamaño: Por decisión de los socios del proyecto, el software de modelado BIM elegido para ser vinculado al Generador de modelos BIM será Autodesk Revit, en su versión 2021. el archivo BIM será descargado en formato RVT y con un tamaño inferior a 200 MB, buscando la optimización geométrica y de información.

Consideraciones en relación con la plataforma y servidor web

La plataforma web, desarrollada en .net y publicada en Azure, deberá asegurar una correcta comunicación entre el gestor de nubes de puntos, el generador de modelos BIM y el usuario, transmitiéndole las acciones que se vayan ejecutando en el servidor. Además, deberá permitir llevar un registro de cada usuario para poder tener una persistencia de sus archivos para que accedan a ellos cuando quieran.

Por otro lado, para asegurar el correcto funcionamiento de la plataforma, se ha previsto la contratación de los siguientes servicios de Azure:

- Virtual Machines: Máquinas virtuales en las que se alojarán el gestor de nubes de puntos, el generador de modelos BIM, la base de datos de los usuarios y la aplicación WEB.
- Azure Container Registry: Servicio que permitirá registrar y ejecutar los diferentes procesos que son necesarios para que la aplicación funcione.
- Azure Container Instances: Servicio que permitirá crear y ejecutar a la vez diferentes instancias, con lo que se podrá dar soporte a varios usuarios al mismo tiempo.

2.2. Paquete de trabajo 2. Desarrollo de algoritmos de reconocimiento de patrones en nubes de puntos

2.2.1. Escaneado láser y obtención de nubes de puntos

Una vez completada la fase de diseño del sistema y definición de requisitos, se comienza la fase de escaneado láser y obtención de las nubes de puntos de un emplazamiento industrial que serán posteriormente procesadas por los algoritmos. Para ello, se analiza la idoneidad de cada uno de los emplazamientos propuestos por la empresa ONDOAN, teniendo en cuenta la accesibilidad para el escaneado, tipo de elementos a escanear, número de elementos de cada tipo, etc.

Después de estudiar factores como la accesibilidad para el escaneado, los tipos de elementos a escanear y el número de elementos de cada tipo, se elige el edificio BEC (Bilbao Exhibition Center), situado en el municipio de Barakaldo, Bizkaia. Este edificio dispone de varias salas de instalaciones que presentan unas características adecuadas: espacios diáfanos, separación entre equipos, variedad de equipos y conductos, acabados materiales no reflectantes, fácil accesibilidad, etc. Para la obtención de la nube de puntos se emplea un escáner láser Leica Geosystems ScanStation P30.



Fig. 2 Nube de puntos de la sala de PCI del edificio BEC. Fuente: elaboración propia.

Las nubes de puntos obtenidas son registradas y alineadas empleando el software Leica Cyclone. Por defecto, las nubes de puntos procesadas en este software se encuentran en formato.pts, por lo que resulta necesario exportarlas en formato E57.

La siguiente fase en el proyecto corresponde con el desarrollo de la algoritmia que permite reconocer objetos en las nubes de puntos y extraer de ellas toda la información necesaria para posibilitar el modelado BIM automático. El desarrollo de algoritmos se divide en 3 tipologías: optimización, segmentación y clasificación.

2.2.2. Algoritmos de optimización de nubes de puntos

Como se ha mencionado anteriormente, es recomendable realizar un proceso de refinamiento de las nubes de puntos antes de ser subidas a la plataforma web para eliminar información que no aporte valor y dificulte el reconocimiento de los elementos. Para ello se diseña un algoritmo que se ejecuta en el software CloudCompare y que permite modificar el formato de la nube de puntos, reducir su tamaño y eliminar el ruido presente en ellas.

- Función 1. Cambio de formato: El algoritmo lee la nube de puntos y genera otra nube de puntos con un formato diferente (especificado por el usuario), pero con el mismo nombre y en la misma carpeta.
- Función 2. Reducción de tamaño: El algoritmo lee la nube de puntos y genera otra nube de puntos con menor número de puntos.
- Función 3. Reducción de ruido: CloudCompare ajusta localmente un plano alrededor de cada punto de la nube y luego elimina el punto si está demasiado lejos del plano ajustado. Para obtener este plano se necesitan por lo menos 6 puntos cercanos a cada punto.

2.2.3. Algoritmo de segmentación de nubes de puntos

El primer paso para reconocer objetos en las nubes de puntos pasa por segmentarlas de manera que cada uno de los objetos que está presente en la nube de puntos original es convertido en una nube de puntos individual. Por poner un ejemplo, si una nube de puntos contiene 10 objetos, una vez segmentada, se obtendrán 10 nubes de puntos individuales, cada una representando cada uno de los 10 objetos. Para realizar este proceso de forma automática, se ha desarrollado un algoritmo que utiliza el plugin RANSAC (Ransac Shape Detection).

Una vez segmentadas, las nubes de puntos deben de ser etiquetadas de forma manual identificando qué elemento representan. Este proceso resulta fundamental para poder entrenar al algoritmo de clasificación de nubes de puntos que se explica en el siguiente punto. Empleando la nube de puntos de la sala de PCI del edificio BEC se han obtenido las siguientes categorías de objetos:

- Envoltente (superficies horizontales – suelos/techos)
- Envoltente (superficies verticales – paredes)
- Interior – Bandejas horizontales

- Interior – Luminarias
- Interior – Pilar
- Interior – Rejillas
- Interior – Tuberías horizontales
- Interior – Tuberías inclinadas
- Interior – Tuberías verticales

En la siguiente imagen se muestra una parte de la segmentación realizada sobre la nube de puntos de la sala de PCI. En concreto, la imagen representa las paredes de dicha sala.

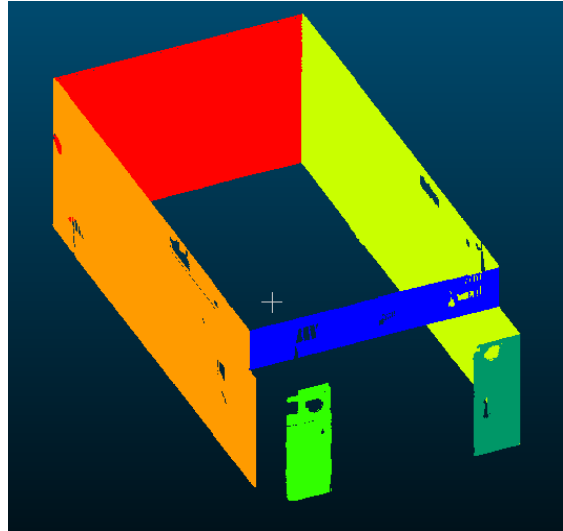


Fig. 3 Nubes de puntos segmentadas. Paredes. Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Algoritmo de clasificación de nubes de puntos

El siguiente paso en el proceso de reconocimiento de objetos en nubes de puntos consiste en el diseño del algoritmo de clasificación. A diferencia del algoritmo de segmentación que permite dividir la nube de puntos en segmentos individuales, el algoritmo de clasificación permite conocer a que tipología de objeto pertenece cada una de las nubes individuales.

El diseño del algoritmo de clasificación comienza con una labor de investigación para seleccionar la mejor técnica de Machine Learning (ML) que permita detectar formas en nubes de puntos. Más concretamente, se utilizan algoritmos basados en aprendizaje supervisado. En esta técnica, se enseña al algoritmo a reconocer determinadas formas en las nubes de puntos mediante un proceso de entrenamiento y test. Una vez completado este proceso, el sistema es capaz de predecir el resultado esperado en base a lo que ha aprendido durante el proceso de entrenamiento.

Las fases que se realizan en este proceso son:

- Fase de entrenamiento: Es la fase principal del proceso de aprendizaje y en ella, el sistema trata de aprender tendencias, comportamientos y/o patrones que se ajusten a los datos que forman el conjunto de entrenamiento.
- Fase de test: Esta es la fase secundaria del proceso de aprendizaje que nos permite validar el resultado de la fase de entrenamiento mediante el uso de datos que no han sido utilizados en la fase de entrenamiento.

Para tener una idea de la cantidad de información involucrada en este proceso de entrenamiento y test, se han etiquetado manualmente las 141 nubes más representativas obtenidas mediante la segmentación automática. Además, se han empleado 107 nubes de puntos para la fase de entrenamiento y 34 nubes de puntos para la fase de test.

Para generar la clasificación de los elementos presentes en las nubes de puntos se han empleado los siguientes 2 métodos que forman parte de las técnicas de aprendizaje supervisado de ML:

- Random Forest: Este método funciona mediante la generación de una población aleatoria de árboles de decisión que son utilizados para decidir en común el valor de la variable de salida.
- K-Nearest Neighbour: Es un método de aprendizaje no parametrizado para la generación de clasificadores basados en el concepto de cercanía.

Una vez aplicadas ambas técnicas, se ha procedido al análisis de las métricas obtenidas para optimizar la clasificación de los elementos de las nubes de puntos. Las métricas obtenidas son las siguientes

	precision	recall	f1-score	support
bandejaHtal	0.00	0.00	0.00	2
luminaria	0.00	0.00	0.00	2
pared	1.00	0.75	0.86	4
pilar	0.00	0.00	0.00	1
rejilla	0.00	0.00	0.00	1
supHtal	1.00	0.50	0.67	2
tuberiaHtal	0.68	1.00	0.81	13
tuberiaIncli	0.00	0.00	0.00	1
tuberiaVtcal	0.73	1.00	0.84	8
accuracy			0.74	34
macro avg	0.38	0.36	0.35	34
weighted avg	0.61	0.74	0.65	34

	precision	recall	f1-score	support
bandejaHtal	0.33	0.50	0.40	2
luminaria	0.00	0.00	0.00	2
pared	0.00	0.00	0.00	4
pilar	0.00	0.00	0.00	1
rejilla	0.50	1.00	0.67	1
supHtal	0.00	0.00	0.00	2
tuberiaHtal	0.55	0.85	0.67	13
tuberiaIncli	0.00	0.00	0.00	1
tuberiaVtcal	0.67	0.50	0.57	8
accuracy			0.50	34
macro avg	0.23	0.32	0.26	34
weighted avg	0.40	0.50	0.43	34

Fig. 4 Métricas obtenidas mediante Random forest (izq) y K Nearest Neighbour (dcha). Fuente: elaboración propia.

Para comparar la precisión de ambas técnicas, nos fijamos en el valor de *accuracy* (porcentaje de predicciones correctas) y observamos que en la técnica de Random Forest, este valor (0,74) es mayor que en la de K-Nearest Neighbour (0,50), por lo que utilizamos Random Forest por ser la técnica más precisa para clasificar los elementos presentes en las nubes de puntos, como habíamos indicado en la fase anterior.

Después de realizar la comparación de las técnicas de clasificación y la selección de la más precisa, las predicciones realizadas se exportan a un archivo .csv, donde se puede observar la etiqueta que se había puesto manualmente y la predicción del sistema.

```
segments_prediction_rf.csv: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Name,Classification,Predictions
0,bandejaHtal_1-cloud,bandejaHtal,tuberiaHtal
1,bandejaHtal_2-cloud,bandejaHtal,tuberiaHtal
2,luminaria_2-cloud,luminaria,tuberiaHtal
3,luminaria_7-cloud,luminaria,tuberiaHtal
4,pared_2-cloud,pared,pared
5,pared_3-cloud,pared,pared
6,pared_6-cloud,pared,tuberiaVtcal
7,pared_8-cloud,pared,pared
8,pilar_1-cloud,pilar,tuberiaVtcal
9,rejilla_2-cloud,rejilla,tuberiaVtcal
10,supHtal_1-cloud,supHtal,tuberiaHtal
11,supHtal_5-cloud,supHtal,supHtal
12,tuberiaHtal_15-cloud,tuberiaHtal,tuberiaHtal
13,tuberiaHtal_25-cloud,tuberiaHtal,tuberiaHtal
14,tuberiaHtal_27-cloud,tuberiaHtal,tuberiaHtal
15,tuberiaHtal_31-cloud,tuberiaHtal,tuberiaHtal
16,tuberiaHtal_39-cloud,tuberiaHtal,tuberiaHtal
17,tuberiaHtal_5-cloud,tuberiaHtal,tuberiaHtal
18,tuberiaHtal_53-cloud,tuberiaHtal,tuberiaHtal
19,tuberiaHtal_60-cloud,tuberiaHtal,tuberiaHtal
20,tuberiaHtal_61-cloud,tuberiaHtal,tuberiaHtal
```

Fig. 5 Archivo cvs obtenido. Fuente: elaboración propia.

Completado el proceso de entrenamiento y test podemos evaluar el funcionamiento del algoritmo de clasificación. Según se puede observar en el listado de predicciones de la figura 5, el algoritmo reconoce correctamente las tuberías horizontales y verticales, mientras que tiene alguna dificultad para reconocer los pilares, las luminarias y las bandejas horizontales. De esta manera se evidencia que el correcto funcionamiento de un algoritmo de clasificación está directamente relacionado con la cantidad y calidad de la información utilizada en las fases de entrenamiento y test.

2.3. Paquete de trabajo 3. Desarrollo de algoritmos de modelado BIM automático

Completada la fase de detección de objetos en nubes de puntos, el proyecto continúa con el desarrollo de algoritmos que permitan obtener modelos BIM de forma automática y en base a utilizar la información reconocida en las nubes de puntos.

Se comienza estudiando el empleo de la herramienta Design Automation de Autodesk Platform Services (APS). Esta herramienta permite ejecutar código de programación (algoritmos) en un entorno web, utilizando los recursos necesarios para ejecutar la tarea de manera eficiente. Además, el código puede ser configurado y ejecutado en una variedad de lenguajes de programación, incluyendo C#, Python y Node.js.

Design Automation utiliza cuatro entidades principales para ejecutar programas personalizados o ejecutar scripts en archivos de entrada:

- Activity: La especificación de una acción que se puede ejecutar usando un motor (Engine) específico.
- WorkItem: Un trabajo que ejecuta una Actividad (Activity) específica, usando archivos de entrada específicos y generando archivos de salida apropiados.
- AppBundle: Un módulo referenciado por una Actividad (Activity) para realizar funciones específicas. Por lo general, se trata de una DLL o alguna otra forma de código personalizado.
- Engine: El motor de procesamiento real que ejecuta el trabajo de WorkItem y procesa la actividad. Están disponibles los siguientes tipos de motor: AutoCAD, 3dsMax, Inventor y Revit.

Design Automation necesita un directorio de trabajo para poder leer y escribir archivos. En el proyecto se ha elegido BIM360 ya que las empresas están familiarizadas con él y, además, porque los costes de carga y descarga utilizando BIM360 son gratuitos, al contrario que un almacén externo, que cobraría por el tiempo de carga y descarga de los archivos.

Los *inputs* (información de entrada) necesarios para alimentar Design Automation son:

- Un fichero rvt a modo de plantilla con una configuración predefinida. Sobre esta plantilla se generará el modelo BIM resultante de aplicar el algoritmo.
- Un fichero Json con la información geométrica de cada elemento que ha sido reconocido en la nube de puntos. Con esta información se parametrizará cada objeto BIM.
- Una petición en Json especificando tipos de fichero y lugar de exportación.

El *output* (información de salida) será un único archivo rvt. El algoritmo consume los parámetros del archivo JSON para generar los objetos BIM y, posteriormente, utiliza la plantilla rvt vacía para colocar en ella cada uno de los objetos BIM creados. A continuación, se muestra un ejemplo de creación de 2 objetos BIM de tipo suelo a partir de diferentes datos en formato JSON extraídos de las nubes de puntos.

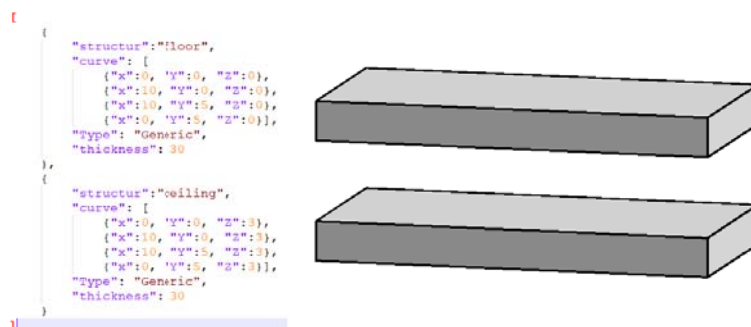


Fig. 6 Archivo Json y objetos BIM de tipo suelo obtenidos tras aplicar el algoritmo. Fuente: elaboración propia.

Para trasladar este algoritmo a un entorno web, hemos configurado un WorkItem y un Activity, que haciendo uso del motor de Revit (software BIM empleado en el proyecto) serán capaces de consumir nuestro Bundle (en nuestro caso el plugin de Revit).

2.4. Paquete de trabajo 4. Integración de componentes en una plataforma web

Finalmente, la fase de desarrollo del proyecto se completa con el diseño y puesta en marcha de la aplicación web que integra los algoritmos de reconocimiento de objetos en nubes de puntos y los algoritmos de modelado BIM.



Fig. 7 Diagrama de la plataforma de integración. Fuente: elaboración propia.

En el diagrama general (figura 6) se representan las tecnologías sobre las que se basa el desarrollo de la plataforma web: C#, JavaScript, html5, CSS3, Python y algunos servicios de Autodesk Platform Services (APS) como son Design Automation y BIM 360.

Como indica el diagrama, la plataforma web es accesible desde cualquier dispositivo con acceso a internet. Posteriormente, el usuario accede a un menú principal desde el cual puede subir la nube de puntos a la plataforma web y vincularla al algoritmo de reconocimiento de objetos. Una vez finaliza el procesado de la nube de puntos, el sistema devuelve un archivo JSON que contiene un listado con los objetos reconocidos y sus características geométricas. Después de ser validado por el usuario, este archivo de elementos e información geométrica se envía al algoritmo de Design Automation que se encarga de modelar los diferentes objetos BIM. Finalmente, este algoritmo se comunica con BIM360 para almacenar y leer archivos RVT y, posteriormente, da acceso al usuario para poder descargar el modelo BIM resultante.

Por otro lado, durante esta fase del proyecto se investiga la mejor forma de transferir archivos de gran tamaño como son las nubes de puntos. Se opta por comprimir los archivos para conseguir ahorrar tiempo y espacio y evitar la pérdida de datos en la transferencia de información. En los análisis realizados se consigue optimizar el espacio en un 72,17% pasando de 762MB a 210MB y los tiempos de compresión son de 30s para comprimir y 20s para descomprimir las nubes de puntos. También se procede a subir los archivos a la nube y medir los tiempos de carga. Los resultados son los siguientes:

- Archivo de 762MB, tarda en subirse a la nube 1min y 30s.
- Archivo de 210MB, tarda en subirse a la nube 30s.

En cuanto a los protocolos de transferencia de archivos e información a través de las aplicaciones, se elige el protocolo HTTP por la flexibilidad que aporta para futuras integraciones o el desarrollo de nuevas funcionalidades.

El almacenamiento de la nube de puntos se realiza en Azure desde donde se conecta con el algoritmo de reconocimiento de patrones en nubes de puntos. El protocolo HTTP indica al algoritmo el lugar del almacenamiento y el nombre del archivo junto con las opciones de procesamiento, necesarias para su ejecución. El almacenamiento del archivo JSON devuelto por el algoritmo de reconocimiento de patrones en nubes de puntos, se almacena en los servicios de Autodesk Platform Services (APS). Una vez validado por el usuario, se llama al plugin desarrollado con Design Automation de APS, que accede a la información del JSON para su procesamiento y generación del modelo BIM.

Teniendo en cuenta las funcionalidades anteriormente mencionadas, la plataforma de integración web es la intermediaria entre el usuario y los algoritmos de reconocimiento de objetos y modelado BIM. Por dicho motivo, se opta por el diseño de una interfaz moderna, simple e intuitiva haciendo uso de las disciplinas

UI/UX, con la cual el usuario podrá iniciar sesión, subir y configurar parámetros opcionales de procesamiento de nube de puntos, revisar el resultado del procesamiento de la nube de puntos, validarlo y enviarlo para el procesamiento de los modelos BIM y, por último, descargar un archivo RVT en versión 2021. Todo esto en un flujo lineal y sencillo que se muestra en la siguiente imagen.



Fig. 8 Diagrama de flujo de la aplicación web. Fuente: elaboración propia

3. Conclusiones y futuras líneas de trabajo

El proyecto AUTOBIM ha abordado el reto de generar un sistema que permita obtener modelos BIM de edificios industriales de manera automática y empleando la información extraída de nubes de puntos previamente segmentadas y clasificadas de manera automática. Además, el proyecto se ha enfrentado a la integración de dicho sistema automático en una plataforma de software web que sea intuitiva y fácil de manejar.

En las diferentes pruebas de validación realizadas a lo largo del proyecto se han podido obtener conclusiones muy interesantes que permiten plantear modificaciones al sistema diseñado. En relación con los algoritmos de optimización de nubes de puntos, se ha demostrado especialmente interesante la capacidad de modificar la densidad de la nube de puntos para reducir el tamaño total del archivo y mejorar su procesamiento, así como la posibilidad de eliminar ruido presente en la nube de puntos que genere errores de interpretación por parte del algoritmo de clasificación. Por otro lado, en relación con los algoritmos de segmentación de nubes de puntos cabe destacar el tiempo invertido en el etiquetado manual de las nubes de puntos segmentadas y empleadas en el desarrollo del algoritmo de clasificación. Siguiendo esta línea, se ha concluido que el funcionamiento de los algoritmos de clasificación está directamente relacionado con la cantidad y calidad de la base de datos de nubes de puntos empleada durante la fase de entrenamiento y test. En relación con el modelado BIM, gran parte del proceso gira en torno a la disposición de un archivo JSON que enumere los diferentes objetos reconocidos en las nubes de puntos y describa correctamente sus características geométricas.

Por todo lo mencionado anteriormente, se han planteado nuevas líneas de trabajo que tienen como objetivo mejorar el funcionamiento de los principales componentes del sistema. En relación con los algoritmos de segmentación, se plantea una programación directa en Python, mediante el uso de librerías como OPEN3D o PCL, para reducir la necesidad de recurrir al software CloudCompare. En cuanto a los algoritmos de clasificación, se plantea usar *datasets* industriales como SCAN NET y herramientas como Blender Prok para genera datos sintéticos con los que llevar a cabo un entrenamiento sintético que luego pueda emplearse en clasificaciones reales. Finalmente, en cuanto al modelado BIM, se plantea reemplazar la API Design Automation de Autodesk Platform Services (APS) por un sistema OpenBIM basado en el empleo de Rhino compute y Grasshopper.

Referencias

AFTAB, I., KAPITANY, K., LOVAS, T. (2023). "Automating Scan to BIM Operations Using Grasshopper" en Periodica Polytechnica Civil Engineering, 67(4), pp. 1187–1192, 2023.

AUTOBIM. Automatización del reconocimiento de objetos en nubes de puntos para un modelado BIM semi automático. Quintana-Romo, M; Capelastegui-Lasso, A; Macias-Ruiz, I; Cacheiro-Larios, A; Moros-Montañés, JJ

GOMEZ GIL, C. (2022). *Implementación BIM en las escuelas de arquitectura*. Trabajo Final de Máster. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Escuela técnica superior de arquitectura, <https://oa.upm.es/70637/1/TFG_Junio22_Gomez_Gil_Carlos.pdf> [Consulta: 22 de febrero 2024]

GONZALEZ PEREZ, C. (2015). *Building Information Modeling. Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos prácticos en gestión de proyectos*. Trabajo Final de Máster. Madrid: Universitat Politècnica de València. Escuela técnica superior de ingeniería de edificación, <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/56357/TFM%202015%20CARLOS%20GONZALEZ.pdf?sequen> [Consulta: 20 de febrero 2024]

FUNDACION LABORAL DE LA CONSTRUCCION (2019). *Estudio sobre la implantación BIM*. <<https://observatorio2030.com/sites/default/files/2019-07/Estudio%20sobre%20la%20Implantaci%C3%B3n%20BIM.pdf>> [Consulta: 20 de febrero de 2024]

USO DEL BIM PARA EL DESARROLLO DE UNA INFRAESTRUCTURA DE DATOS PARA ESTIMAR LA HUELLA DE CARBONO QUE GENERAN LOS EDIFICIOS A LO LARGO DE SU CICLO DE VIDA EN ESPAÑA

García Martínez, Antonio^a, Soust-Verdaguer, Bernardette^a, Rey-Álvarez, Belén^a, Máximo Cubero, Germán Sicre^c, Alba Dorado, José Antonio^{a,b}

^aInstituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Sevilla, España; ^bLabBIM, España; ^cSmartBuild-Solutions, España.

Abstract

This work presents part of the developments carried out within the framework of the INDICATE project, which aims to develop a data infrastructure to help estimate the carbon footprint generated by buildings throughout their life cycle in Spain. Through a process of co-creation that is open, transparent, and traceable, a work methodology has been constructed. This methodology seeks to obtain values and reference ranges regarding the carbon footprint generated by buildings. This communication outlines part of the workflow for the automatic development of the extraction of building materials. By parameterizing the different constructive elements comprising buildings and automating measurements through the development of a tool in Dynamo, it has been possible to explore different construction configurations to estimate the carbon footprint of buildings. In this vein, the methodology aims to facilitate the massive generation of bill of material quantities considering different constructive characteristics, thermal resistance of the envelope (insulation thickness), and mechanical resistance of the structure (reinforcement quantities), based on BIM models of five types of residential buildings, one office building, and one parking building. Subsequently, this data is automatically linked and enriched with environmental data and stage assumptions to obtain the values of the carbon footprint generated by buildings in the context of Spain.

Keywords: LCA, carbon footprint, bill of quantities.

Resumen

Este trabajo presenta parte de los desarrollos realizados en torno al proyecto INDICATE, el cual tiene por objetivo el desarrollo de una infraestructura de datos que ayude a estimar la huella de carbono que generan los edificios a lo largo del ciclo de vida en España. Mediante un proceso de co-creación, abierto, transparente y trazable se ha construido la metodología de trabajo, que busca obtener valores y rangos de referencia sobre la huella de carbono que generan los edificios. Esta comunicación presenta parte del flujo de trabajo para el desarrollo automático de la extracción de los materiales que componen los edificios. A través de la parametrización de los diferentes elementos constructivos que componen los edificios, así como de la automatización de las mediciones mediante el desarrollo de una herramienta en Dynamo, ha sido posible explorar diferentes configuraciones constructivas para estimar la huella de carbono de los edificios. En este sentido se persigue que la metodología desarrollada facilite la generación masiva de mediciones teniendo en cuenta diferentes características constructivas, resistencia térmica de la envolvente (espesores de aislamientos) y resistencia mecánica de la estructura (cuantías de armaduras), basados en modelos BIM de cinco tipos edificatorios residenciales, uno de oficinas y uno de aparcamientos. Posteriormente estos datos son vinculados y enriquecidos de forma automática con los datos ambientales e hipótesis de cálculo para obtener los valores de la huella de carbono que generan los edificios en el contexto de España.

Palabras clave: Análisis del ciclo de vida, huella de carbono, extracción de materiales.

Introducción

El escenario actual de cambio climático evidencia consecuencias catastróficas para la vida en la biosfera. Algunos de los aspectos más relevantes que contribuyen a esta situación son el consumo de recursos y las emisiones de CO₂ (IPCC 2021). El sector de la construcción es un gran responsable de ello, produciendo alrededor del 40% de las emisiones de CO₂ (IPCC 2021). Mitigar esta situación y avanzar hacia un modelo de construcción sostenible, es uno de los principales retos de nuestra sociedad (European Commission and European Parliament 2019), siendo el objetivo de descarbonización uno de los más importantes, el cual implica la reducción progresiva y absoluta de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). En el sector de la construcción, esto supone la reducción y eliminación de las emisiones de carbono (también llamado huella carbono) operacionales, las que incluye las relacionadas con el consumo de recursos operativos (principalmente energía y agua), y las incorporadas, las relacionadas con los productos y materiales que se consumen durante el ciclo de vida del edificio (Birgisdottir et al. 2017). Estudios existentes (Den et al. 2023), demuestran que las emisiones incorporadas en las regiones mediterráneas son especialmente altas, en comparación con otras regiones de Europa. En esta línea, instrumentos existentes como la versión actualizada de la EPBD (European Parliament 2023), requerirá para el año 2027 comunicar las emisiones de carbono al largo del ciclo de vida (huella de carbono a lo largo del ciclo de vida) de las nuevas construcciones desarrolladas en el contexto europeo, utilizando la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) para su cálculo.

Esto hace que en contexto de España se vuelva cada vez más urgente la implantación de la evaluación de la huella de carbono en la práctica, de esta manera será posible tomar medidas que brinden las garantías suficientes para alcanzar estos ambiciosos objetivos. En ese escenario es donde surgen iniciativas como el proyecto INDICATE, el cual pretende acelerar y aportar al desarrollo de una infraestructura de datos para definir valores y rangos de referencia sobre la huella de carbono que general los edificios a lo largo de su ciclo de vida en España. El proyecto INDICATE (Smith Innovation et al. 2023) es una iniciativa de la Fundación Laudes. España, junto con Irlanda y la República Checa, es uno de los países piloto de la primera fase del proyecto. Este proyecto apuesta por integrar a las partes interesadas de este sector, promueve la co-creación como forma de trabajo, y por la digitalización e integración de metodologías BIM en el flujo de trabajo del ACV.

En el escenario actual en España conviven diferentes softwares de cálculo de la huella de carbono desarrollados por diferentes empresas e instituciones, tales como ITeC, One-click LCA, Cype Ingenieros, Ecómetros, entre otros, los cuales abordan la problemática específica del cálculo a nivel operativo. Pero se ha detectado que no existe una metodología de ACV consensuada y aceptada por todos los actores del sector, que pueda servir como un instrumento de cálculo a gran escala de la huella de carbono que generan los edificios en España y que a su vez incorpore hipótesis de cálculo y opciones metodológicas armonizadas, discutidas y validadas por los principales actores involucrados en esta temática en España.

En la aplicación del ACV en edificios existen tres tipos de aspectos que más influyentes en los resultados del ACV del edificio (la huella de carbono): el primero se trata de la cuantificación de los elementos, materiales y productos que componen el edificio; el segundo tiene que ver con los datos ambientales; y el tercero tiene que ver con las opciones metodológicas y las hipótesis de cálculo del ACV (IEA EBC 2017). Esta comunicación se enfocará en el primero, es decir en lo referente al inventario del edificio y en especial en la cuantificación de elementos que componen el edificio (mediciones).

En este sentido, uno de los principales desafíos a los que se enfrenta este proyecto tiene que ver con que los datos obtenidos sobre la huella de carbono que generan los edificios en España sean lo suficientemente representativos para este contexto, teniendo en cuenta la diversidad de zonas climáticas, características constructivas y resistencia mecánica de las estructuras. Para abordar ese desafío se ha optado por desarrollar un flujo de trabajo y metodología de cálculo de la huella de carbono que posibilite incluir un amplio rango de datos y variables de diseño. Este proyecto explora la potencialidad del uso de la metodología BIM para desarrollar los ACV y el cálculo de la huella de carbono de los edificios. Diversos

estudios señalan sus beneficios (Obrecht et al. 2020; Soust-Verdaguer, Llatas, and García-Martínez 2017), pero el desarrollo de flujos de trabajos que permitan la parametrización de los elementos que componen el edificio, como forma de incorporar diferentes posibles configuraciones y variaciones de la geometría, no ha sido antes explorada en estudios similares.

1. Objetivos

El presente trabajo propone el desarrollo automatizado de la cuantificación de los elementos que componen los modelos BIM en los que se basa este trabajo, posibilitando la generación de los inventarios del ciclo de vida de edificios y la obtención de la huella de carbono de los edificios de forma automatizada. Mediante el uso de una rutina en Dynamo se parametrizaron las dimensiones de los diferentes elementos que componen los edificios, posibilitando ajustes como los espesores de los aislamientos de los cerramientos, dimensiones de elementos estructurales, entre otros. La utilización de esta rutina posibilitó mediante la realización de variaciones en las geometrías de los modelos obtener de forma automática la cuantificación del volumen, superficie, entre otros parámetros, de los elementos que componen los edificios, y de esta forma se llegaron a calcular 18 variaciones posibles de cada uno de los edificios estudiados.

2. Métodos

Esta comunicación se enfoca en presentar cómo se le ha dado respuesta a la complejidad de modelar diferentes características constructivas, resistencia climática y mecánica de los modelos BIM en los que se desarrolla el inventario de los arquetipos, en los que se ha basado este estudio.

Para ellos se ha partido del desarrollo de modelos BIM de las tipologías seleccionadas para el estudio. La metodología propuesta para cumplir los objetivos del proyecto consta de los siguientes pasos:

- 1) Selección de las tipos edificatorios y usos características de los edificios que se incluyen en este estudio;
- 2) Selección de las variantes constructivas, térmicas y estructurales de los edificios;
- 3) Desarrollo de la rutina de Dynamo para automatizar la extracción de las mediciones de los edificios;
 - 3.1 Desarrollo de hoja de cálculo de entrada de datos a la rutina de Dynamo;
 - 3.2 Ejecución de la rutina de Dynamo (parametrización de elementos, y extracción de datos de los modelos BIM);
 - 3.3 Desarrollo de hoja de cálculo de salida de datos de los edificios;
- 4) Cálculo de la huella de carbono de las tipologías de edificios seleccionados;

Esta comunicación se enfoca en describir los pasos que se han seguido para el desarrollo de la rutina de Dynamo para obtener las mediciones, lo que implica la preparación de los datos de entrada y la preparación de los datos de salida.

2.1 Definición de los arquetipos

El concepto de arquetipo aplicado a los edificios constituye una serie de definiciones o cualidades que representan a un grupo de edificios con características similares (Reinhart 2016). Este enfoque se ha utilizado para modelar parques edificados nacionales o regionales tanto para evaluar eficiencia energética en fase operacional como para cuantificar las emisiones de carbono a lo largo del ciclo de vida de los edificios (Ramboll 2022; Reinhart 2016; Röck 2021).

El presente trabajo toma como punto de partida este concepto para modelizar de forma teórica diferentes configuraciones o cualidades que representan a los grupos de edificios más representativos en España.

Teniendo en cuenta estudios previos (Gervasio and Dimova 2018; Röck and Sørensen 2022) sobre esta temática, se ha demostrado que la configuración geométrica de los edificios tienen una gran influencia en los impactos generados por los edificios a lo largo de su ciclo de vida. Las características constructivas de los edificios son también aspectos relevantes y se recomienda un enfoque particularizado de los sistemas estructurales y los diferentes materiales (Ramboll 2022; Röck 2022). Por otro lado, se ha demostrado la importancia de considerar las zonas climáticas, dada su influencia sobre la envolvente, y la sismicidad, dado su efecto sobre la estructura, en la definición de valores de referencia para los impactos incorporados y operacionales generados por los edificios a lo largo de su ciclo de vida (Gervasio 2018).

De modo que la configuración de los arquetipos se enfocó en recoger las variaciones posibles de las características intrínsecas, las modificables y las del contexto. Las características intrínsecas son la tipología y programa del edificio y los tipos constructivos. La tipología se determinó en función de las características geométricas del edificio y de su relación con los edificios colindantes (lineal, torre, exento e hilera). La definición de los tipos constructivos y usos característicos se desarrolló teniendo en cuenta las estadísticas existentes sobre el sector de la edificación en España (MITMA 2021).

En cuanto a los tipos constructivos, este estudio incluyó los tipos constructivos más representativos para el contexto de España, conteniendo una selección de posibles combinaciones de soluciones materiales clasificadas en impactos máximos, impactos mínimos y moda (más frecuente). Las características modificables se tratan del uso característico y tiene que ver con el programa del edificio, pudiendo ser residencial o no residencial, este trabajo abordó los programas de residenciales, de oficinas y aparcamiento.

En lo que respecta a las características del contexto, se ha tenido en cuenta la resistencia térmica y la resistencia mecánica de la estructura. Para la resistencia térmica se han considerado tres zonas, realizando una simplificación de la zona climática invernal, incluyendo resistencia térmica severa, media y baja. La variación de las zonas climáticas se abordó parametrizando las soluciones constructivas más frecuentes para la envolvente. Para la resistencia mecánica se han considerado dos zonas, las que están dentro del ámbito de aplicación obligatoria de la NCSE 02 (tienen una aceleración sísmica básica mayor o igual a 0,08g) y las que están fuera de este ámbito. Esta cuestión se abordó parametrizando las soluciones constructivas más frecuentes para la estructura.

Los arquetipos se definieron a partir de la combinación de los 7 tipos edificatorios (viviendas unifamiliares adosadas; viviendas unifamiliares en hilera; viviendas multifamiliares de menos de tres 3 plantas; viviendas multifamiliares adosadas en torre (más de 3 plantas); viviendas multifamiliares de más de 3 plantas, edificios comerciales de oficinas y de aparcamientos) y uso característico, la combinación de soluciones constructivas para los tipos constructivos teniendo en cuenta las soluciones y materiales más frecuentes para los sistemas y elementos que componen el edificio (incluyendo cubierta, acabados, estructura, fachada, tabiquería, entre otros), la parametrización de los espesores de los materiales de la envolvente para adaptarse a las zonas climáticas más representativas de España, y la parametrización y ajuste de la estructura teniendo en cuenta la sismicidad.

2.2 Extracción de cantidades de arquetipos y desarrollo de rutina en Dynamo

Dado que el objetivo de este trabajo es el desarrollo de un flujo de trabajo que permita automatizar la extracción de cantidades de los elementos constructivos que componen los arquetipos, se ha desarrollado una rutina en Dynamo que permita modificar de forma automática la geometría de los elementos que componen los arquetipos teniendo en cuenta las posibles modificaciones en la configuración de los arquetipos descritas en el punto 2.1.

Esta rutina desarrollada en Dynamo (Autodesk Revit) (ver figura 1) incorporó nodos personalizados desarrollados utilizando Revit API con Python, y se basó tres pasos fundamentales:

- 1) la inserción de forma automática (LOAD ARCHETYPE) de las dimensiones de los elementos que componen el arquetipo (llamado archivo INI (de inicial));
- 2) el ajuste de los modelos BIM a estas dimensiones;

3) la extracción de las cantidades (EXPORT ARCHETYPE) de los elementos constructivos que componen el arquetipo (llamado archivo BoQ (de "Bill of Quantities)).

Los modelos BIM utilizados como arquetipos han sido desarrollados previamente por la consultora de ACV Zero Consulting, para un fin similar, lo que ha permitido que no se haya tenido que modificar el LOIN (Level Of Information Need) y la información incluida en los modelos BIM, simplificando la gestión de los datos. Los modelos han sido editados para asegurar la libertad de movimiento de los elementos de modelo, una vez fueran modificadas sus dimensiones. También se ha añadido información a los modelos en forma de parámetros y modificaciones de nombres de tipos, así como que se ha hecho una simplificación del número de tipos de elementos.

El LOIN estimado de los elementos constructivos incluidos en los modelos BIM de los arquetipos era a nivel general de 200.

Para el desarrollo del trabajo se utilizaron 7 modelos BIM de diferentes edificios, a los que les han realizado 18 variaciones diferentes de materiales y geometría de los elementos constructivos que los componen.

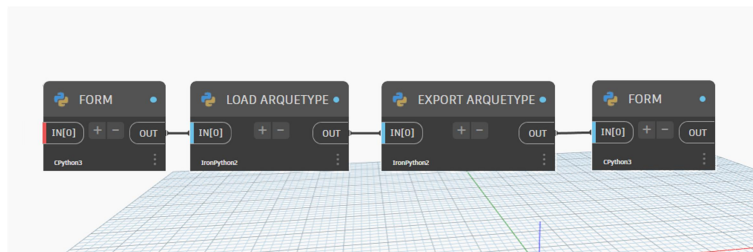


Fig. 1 Rutina en Dynamo para cargar la configuración de los modelos y extraer las cantidades de materiales. Fuente: los autores, 2024.

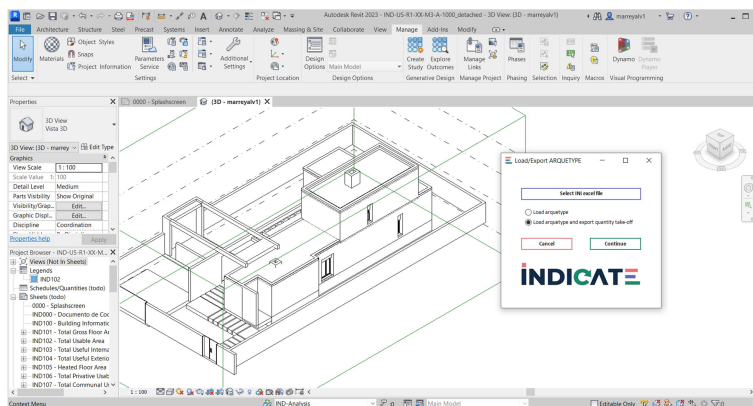


Fig. 2 Vista desde Dynamo player de la rutina desarrollada al inicio de la ejecución. Fuente: los autores, 2024.

La imagen 2 muestra las dos posibles opciones que se pueden ejecutar mediante el uso del Script, la primera es la de "Load archetype", que permite cargar el archivo INI que contiene las dimensiones de cada uno de los elementos constructivos que componen el arquetipo. Este fichero incluye las dimensiones de 28 parámetros que componen el arquetipo. La segunda opción llamada "Load archetype and export quantity take-off" además de modificar las dimensiones del modelo, con esta opción se exportan las mediciones en un archivo que se llamará BoQ. Este archivo incluye la extracción de 50 parámetros de los arquetipos.

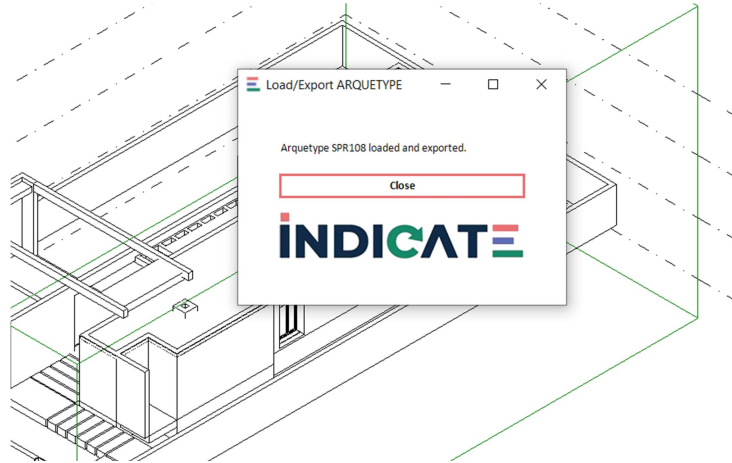


Fig. 3 Vista desde Dynamo player del script desarrollado al completarse la ejecución de la función “Archertype XX loaded and exported”. Fuente: los autores, 2024.

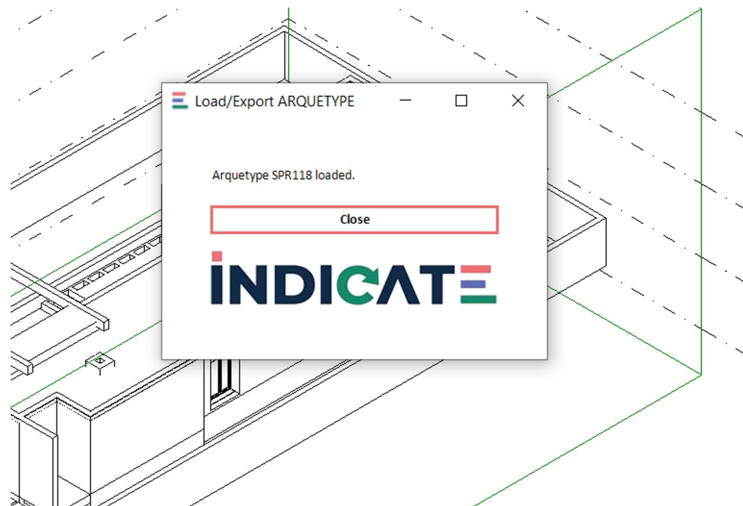


Fig. 4 Vista desde Dynamo player del script desarrollado al completarse la ejecución de la función “Archertype XX loaded”. Fuente: los autores, 2024.

La Figura 2 muestra que si seleccionamos la primera opción que nos da el Script "Load archetype", el modelo se modifica para ajustarse a las dimensiones de cada arquetype. Una vez modificadas estas dimensiones, el script muestra el mensaje que aparece en la figura 3.

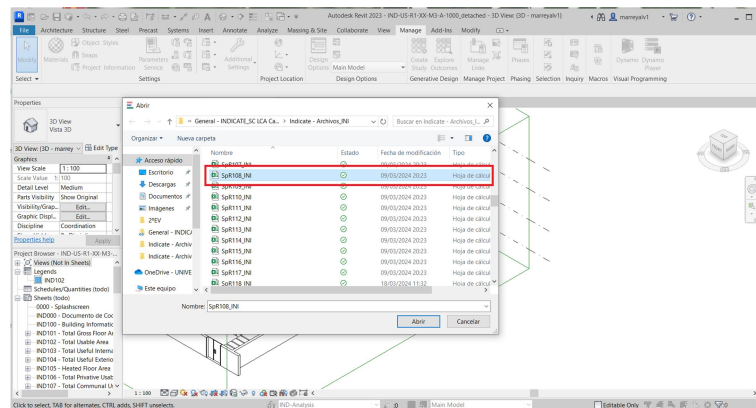


Fig. 5 Vista de los ficheros iniciales para generar parametrizar los elementos constructivos incluidos en los modelos BIM. Fuente: los autores, 2024.

La Figura 2 muestra que si, por el contrario, se selecciona la segunda opción "Load archetype and export quantity take-off", además de modificar el modelo, también exportará las mediciones de este. Una vez finalizado el proceso, se muestra el mensaje que se incluye en la Figura 4.

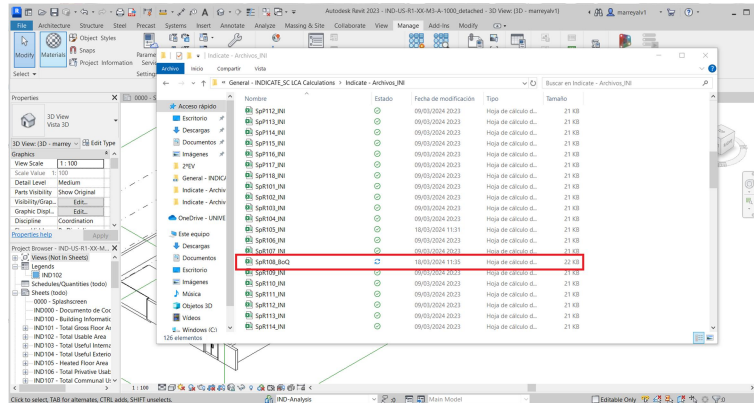


Fig. 6 Vista de los ficheros finales que contienen las cualificaciones de los elementos constructivos incluidos en los modelos BIM.

Fuente: los autores, 2024.

La figura 6 muestra como cuando al seleccionar la segunda opción "Load archetype and export quantity take-off", el script nos proporciona las mediciones de cada modelo. Estas mediciones se exportan en un archivo llamado BoQ (Bill of Quantities). Para ello, el script está diseñado de tal modo que, al seleccionar el archivo INI (inicial), que es el que contiene las dimensiones de cada arquetipo, rellena una segunda pestaña con las mediciones y cambia de nombre el archivo, manteniendo el código del arquetipo y cambiando el INI por BoQ.

Las Figuras 7 y 8 muestran la organización de los datos de entrada y salida de los modelos BIM para que se pueda automatizar el ajuste de las dimensiones de los elementos que componen los modelos (pestaña INI) y cuantificar las cantidades de materiales luego de realizados los ajustes en la geometría de los modelos (pestaña BoQ).

	A	B	C	D	E	F	G
1	CODE						SPO101
2	CONSTRUCTION CHARACTERISATION	Cod	Ud	Largo (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Description
3	Piles	01.01.P110	m2	-	-	1	Pile foundation
4	Basement: Slabs and footing	-	-	-	-	-	-
5	Retaining walls	-	-	-	-	-	-
6	Frame: beams	01.02.B110	m2	-	-	0.3	Wooden beams
7	Frame: columns	01.02.C110	m3	-	0.15	0.15	wooden pillars
8	Frame: slabs	01.02.S110	m2	-	-	0.3	wood slab
9	Upper floors	-	-	-	-	-	-
10	External walls	-	-	-	-	-	-
11	Balconies (glazer)	01.02.G110	m2	-	-	0.3	wooden balcony
12	Ground floor slab	01.03.G110	m2	-	-	0.15	Lightly reinforced ground floor slab
13	Internal walls, partitions	01.03.P110	m2	-	-	0.08	Plasterboard partitions
14	Doors	01.03.D110	m2	-	-	0.05	Low impact interior doors
15	Stairs	01.03.S110	m2	-	-	0.15	Lightly reinforced stair slab
16	Ramps	01.03.R110	m2	-	-	0.15	Lightly reinforced ramp slab
17	External wall systems: cladding	-	-	-	-	-	-
18	External wall systems: shading devices (#01.05.S110)	-	-	-	-	0.2	Slope formation with expanded clay
19	External leaf	01.04.X110	m2	-	-	0.25	Ventilated facade
20	Inner leaf	01.04.N110	m2	-	-	0.15	Plasterboard inner sheet
21	Facade openings (windows)	01.04.W110	m2	-	-	-	Wooden frame window
22	Facade openings (external doors)	01.04.D110	m2	-	-	0.05	Minimum impact exterior door
23	External paints, coatings and renders	01.04.F110	m2	-	-	0.01	Exterior paint finish
24	Isolation	01.05.I110	m2	-	-	0.06	Cork insulation e=6cm
25	Structure	01.05.S110	m2	-	-	0.2	Slope formation with expanded clay
26	Weatherproofing	01.05.W110	m2	-	-	1	Sloping roof
27	Isolation	01.05.I110	m2	-	-	0.06	Cork insulation e=6cm
28	Ceiling finishes	02.01.C110	m2	-	-	-	Ceiling finishing type 1
29	Floor finishes commons	-	-	-	-	-	-
30	Floor finishes wet spaces	02.01.T110	m2	-	-	0.08	Ceramic tile floor type 1
31	Floors finishes Interiors	02.01.F110	m2	-	-	0.08	Wood floor
32	Wall finishes interiors	02.01.I110	m2	-	-	-	Interior finishing type 1
33	Wall finishes wet spaces	02.01.W110	m2	-	-	0.05	Tiling type 1
34	Paving and other hard surfacing	03.01.P110	m2	-	-	0.08	Outdoor floor finishing type 1
35	Fencing, railings and walls	03.01.F110	m	-	-	0.25	Exterior enclosure of lightweight concrete blocks
36	Drainage system	03.01.D110	m2	-	-	0.3	Drainage system 1
37							
38							
39							

Fig. 7 Vista de las hojas de cálculo de Excel (INI) que contienen los datos de entrada de los elementos constructivos incluidos en los modelos BIM. Fuente: los autores, 2024.

	A	B	C	D
1	CODE		SPO101	
2		BUILDING INFORMATION_General		
3	Number of floors above ground [n]		4	ud
4	Number of floors below ground [n]		0	ud
5	Number of houses [n]		0	ud
6	Total Gross Floor Area Spain [m2]		1458.6	m2
7	Total Usable area [m2]		1185.1	m2
8	Total Useful Internal Floor Area Level(s)		1344.7	m2
9	Total Useful Exterior Floor Area Level(s) (Balconies)		410.75	m2
10	Heated Floor Area		1179	m2
11	Total Privative Usable area		1589.7	m2
12	Total Communal Usable area		0	m2
13	Roof Area		472.64	m2
14	Exterior Areas		10.068	m2
15	Wet Spaces (e.g bathrooms and kitchens)		37.718	m2
16		BUILDING INFORMATION_Per Use		
17	Number of houses [n]		0	ud
18	Usable area RESIDENTIAL [m2]		0	m2
19	Number of offices [n]		0	ud
20	Usabe area OFFICE [m2]		1185.1	m2
21	Number of parking lots [n]		0	m2
22	Usable area PARKING [m2]		0	m2
23	Usable area for OTHERS USES [m2]		0	m2
24		CONSTRUCTION CHARACTERISATION		
25	Piles	01.01.P110	525	m2
26	Basement	-	0	m2
27	Retaining walls	-	0	m2
28	Frame: beams	01.02.B110	1465.3	m2
29	Frame: columns	01.02.C110	24.911	m3
30	Frame: slabs	01.02.S110	1465.3	m2
31	Upper floors	-	0	m2
32	External walls	-	0	m2
33	Balconies (glazer)	01.02.G110	212.69	m2
34	Ground floor slab	01.03.G110	525	m2
35	Internal walls, partitions	01.03.P110	947.4	m2
36	Doors	01.03.D110	136.1	m2
37	Stairs	01.03.S110	53.378	m2
38	Ramps	01.03.R110	0	m2
39	External wall systems: cladding	-	0	m2
40	External wall systems: shading devices (#3)	01.04.S110	294.08	m2
41	External leaf	01.04.X110	1943.9	m2

Fig. 8 Vista las hojas de cálculo de Excel (BoQ) que contienen las cualificaciones de los elementos constructivos incluidos en los modelos BIM. Fuente: los autores, 2024.

2.3 Desarrollo del cálculo de la huella de carbono

Una vez obtenida la extracción automática de todas las combinatorias posibles de cada tipo edificatorio, a lo que llamamos arquetipo, se procedió al enriquecimiento de estos datos mediante el uso de macros desarrollados en Excel. En estos pasos posteriores se procede al enriquecimiento de los datos extraídos del edificio tales como la descomposición sistemática de los elementos que componen el edificio, los datos ambientales y las hipótesis de cálculo de la huella de carbono.

3. Resultados y discusión

La cuantificación de la huella de carbono tanto operacional como incorporada que generan los edificios a lo largo de su ciclo de vida, resulta clave para alcanzar objetivos tan ambiciosos como la descarbonización. Para esto resulta fundamental que se conozca el escenario actual y el desarrollo de datos sobre la huella de carbono que puedan ser representativos para el contexto de España, así como también que hayan sido calculados utilizando opciones metodológicas armonizadas y datos ambientales representativos para el contexto de España. Por lo tanto, este trabajo resulta de relevancia para contribuir al desarrollo de valores y rangos de referencia sobre la huella de carbono que generan los edificios en España.

Este trabajo abordó por primera vez el desarrollo de ACV de edificios incluyendo diferentes configuraciones posibles y estimado de forma armonizada la huella de carbono que generan los edificios en España. El estudio incorporó resultados de ACV de más de 126 edificios, incluyendo de forma contralada las posibles variaciones de los tipos edificatorios incluidos en este estudio, utilizando la metodología BIM como soporte fundamental para el cálculo.

4. Conclusiones

Este trabajo presenta un método innovador para el desarrollo de los inventarios de del ciclo de vida de edificios y el cálculo de la huella de carbono que generan los edificios. Mediante el desarrollo de este trabajo ha sido posible parametrizar las dimensiones de los elementos que componen los edificios, llegando a crear

de forma automática 126 listados de mediciones (ficheros Excel) para desarrollar el cálculo de la huella de carbono que generan esos edificios. El método constituye un punto de partida para desarrollar una infraestructura de datos sólida y representativa para el contexto de España.

Teniendo en cuentas las principales limitaciones de este estudio que tienen que ver con el número de edificios analizados, sus características geométricas y el número de tipos edificatorios estudiado, desarrollos futuros puede centrarse en aumentar el número de los tipos edificatorios considerados (escuelas, hoteles, hospitales, etc.), a partir del uso de modelos BIM e incluir la rehabilitación de edificios. Así como también incluir diferentes tipos de geometrías de edificios, para determinar cómo esta variable puede influir en los resultados, y el margen de variabilidad que tienen los resultados del ACV con respecto a esta variable. También este proyecto puede ser ampliable a otros países que quieran analizar los valores de la huella de carbono de sus edificios y mediante esto determinar rangos y valores de referencia adaptados a su contexto (características térmicas, constructivas estructurales, etc.).

Otras de las limitaciones detectadas en el presente trabajo están dada por el uso modelos BIM realizados en software BIM específicos como Autodesk Revit y el uso de Dynamo para realizar el automatismo, limitándolo al uso de un único software de modelado y siendo válido como prototipo o testeo de este desarrollo. En este sentido, para mejorar la escalabilidad y la evolución en el tiempo de este tipo de instrumentos parece necesario que futuros desarrollos se enfoquen en utilizar el esquema de datos IFC y scripts desarrollados en Python, con ifcopenshell, por ejemplo. Lo cual permitiría afrontar el problema de forma más global, para todos los casos de uso, independientemente de la herramienta propietaria (en fase de diseño, construcción, etc.).

Referencias

- Birgisdottir, H., A. Moncaster, A. Houlihan Wiberg, C. Chae, K. Yokoyama, M. Balouktsi, S. Seo, T. Oka, T. Lützkendorf, and T. Malmqvist. 2017. "IEA EBC Annex 57 'Evaluation of Embodied Energy and CO₂eq for Building Construction.'" *Energy and Buildings*. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.08.030.
- Den, Xavier Le, Jacob Steinmann, Attila Kovacs, Judit Kockat, Zsolt Toth, Martin Röck, and Karen Allacker. 2023. *SUPPORTING THE DEVELOPMENT OF A ROADMAP FOR THE REDUCTION OF WHOLE LIFE CARBON OF BUILDINGS*.
- European Parliament. 2023. *Amendments 14/03/2023 for Energy Performance of Buildings Directive (Recast)*.
- European Commission, and European Parliament. 2019. "The European Green Deal." doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Gervasio, H., and S. Dimova. 2018. *Environmental Benchmarks for Buildings, EUR 29145 EN, Publications Office of the European Union*.
- IEA EBC. 2017. "IEA EBC ANNEX 72." Retrieved June 1, 2017 (<http://www.iea-ebc.org/projects/ongoing-projects/ebc-annex-72/>).
- IPCC. 2021. "Climate Change 2021: The Physical Science Basis | Climate Change 2021: The Physical Science Basis." Retrieved July 22, 2022 (<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>).
- MITMA. n.d. "Visados de Dirección de Obra Por Superficie Construida." Retrieved (<https://www.fomento.gob.es/BE/?nivel=2&orden=03000000>).
- Obrecht, Tajda Potrč, Martin Röck, Endrit Hoxha, and Alexander Passer. 2020. "BIM and LCA Integration: A Systematic Literature Review." *Sustainability (Switzerland)* 12(14). doi: 10.3390/su12145534.
- Ramboll, BPIE, and KU Leuven. 2022. "Support Study for the Development of the Roadmap for the Reduction of Whole Life Carbon of Buildings." Retrieved (<https://c.ramboll.com/whole-life-carbon-reduction>).
- Reinhart, Christoph F., and Carlos Cerezo Davila. 2016. "Urban Building Energy Modeling - A Review of a Nascent Field." *Building and Environment* 97:196–202. doi: 10.1016/j.buildenv.2015.12.001.
- Röck, Martin, Elena Baldereschi, Evelien Verellen, Alexander Passer, Serenella Sala, and Karen Allacker. 2021. "Environmental Modelling of Building Stocks – An Integrated Review of Life Cycle-Based Assessment Models to Support EU Policy Making." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 151:111550. doi: 10.1016/J.RSER.2021.111550.
- Röck, Martin, and Andreas Sørensen. 2022. *Towards Embodied Carbon Benchmarks for Buildings in Europe #2 Setting the Baseline: A Bottom-up Approach*.

Uso del BIM para el desarrollo de una infraestructura de datos para estimar la huella de carbono que generan los edificios a lo largo de su ciclo de vida en España. García Martínez, A; Soust-Verdaguer, B; Rey-Álvarez, B; Máximo Cubero, G.S; Alba Dorado, J.A.

Smith Innovation, BPIE, WGBC, and KU Lueven. 2023. "INDICATE Project." Retrieved (<https://www.indicatedata.com/>).

Soust-Verdaguer, Bernardette, Carmen Llatas, and Antonio García-Martínez. 2017. "Critical Review of BIM-Based LCA Method to Buildings." *Energy and Buildings* 136(1):110–20. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.12.009.

Agradecimientos

Los autores agradecen el trabajo de los compañeros del equipo de INDICATE España: María Dolores Fernández Gálvez, Luis Castro Torres, Lourdes García González, Marta Julián García, Paula Fernández, Nuria Gómez y Darya Gachkar.

Los autores agradecen la ayuda y el apoyo de sus compañeros: Laudes Foundation, Maya Faerch, James Drinkwater; Smith Innovation, Simone Kongsbak, Adam Rietti, Mikkel A. Thomassen; BPIE, Zsolt Toth, Rutger Broer, Lisa Graaf; KU Leuven; Martin Röck and Karen Allacker; WGBC, Laura Pallares, Stephen Richardson; Ireland GBC, Stephen Barrett, Pat Barry; Czech Technical University in Prague, Julie Zelezna; GBCe, Bea de Diego; Alicia de la Fuente, Dolores Huerta, Raquel Diez, Borja Izaola.

Los autores agradecen el trabajo especial realizado por los colaboradores y los proveedores de datos, entre ellos: ITeC, Gloria Diez, Licinio Alfaro; IeTCC, Enrique Larrumbide, Juan Queipo de Llano, José Antonio Tenorio; Ecómetro, Pablo Rodríguez, Gabriela Freese; IBAVI; Davil Mayol, CYPE; Zero Consulting, Alba Campos, Consuelo Perey; Mace, Carlos Rodríguez; One Click LCA Clara García; AMB, Eva Bernadí, Mireia Díaz, Margarita Espinós; AUS, Gerardo Wadel, Albert Sagrera Cusco, Laura Reus, Marina Varela, CYPE, Benjamín Gonzalez, Pablo Gilabert; UPV/EHU (Grupo Caviar), Xabat Oregi; ICCL; IVE; MITMA; OECC; VERDE, Paula Rivas; NS Arquitectos, Nuria Santos; Mocabi Arquitectos, Nacho Company; Margal, María Maroño; Ineria, Ana García, Alejandro Cobos, Pilar Jiménez; GBM, Jordi Castellano; Energreen, Mauro Manca, Giorgia Conti; Pryconsa, Elena Santacruz De Pedro; JMPAN Ingeniería, Javier Martínez Pan.

BIM-GIS INTEGRATION OF 3D THERMAL POINT CLOUDS

Ramón-Constantí, Amanda^a; Castilla-Pascual, Francisco Javier^b y Adán-Oliver, Antonio^c

^aGrupo MAE+EE (Universidad Castilla-La Mancha, Ciudad Real, España) amanda.ramon@uclm.es, ^bGrupo MAE+EE (Universidad Castilla-La Mancha, Albacete, España) fcojavier.castilla@uclm.es, ^c3D VC&R Lab (Universidad Castilla-La Mancha, Ciudad Real, España) antonio.adan@uclm.es

Abstract

In the current context of the search for energy efficiency and zero consumption in the construction industry, the presence of numerous buildings with unknown but crucial thermal characteristics stands out. Understanding these characteristics is essential for comprehending their energy performance and enhancing their conservation and management. Thermal point clouds emerge as a valuable yet underexplored tool capable of providing temperature maps for both indoor and outdoor spaces. This article introduces a comprehensive methodology for acquiring 3D thermal point clouds from buildings and their subsequent processing. The integration into a georeferenced BIM-GIS model will be addressed, facilitating visualization, and understanding for the various stakeholders involved in the building's management and conservation. Furthermore, a framework is established, not only allowing the incorporation of historical data but also enabling the sensorial fusion of different methods for monitoring surface temperatures on facades and structural elements. This approach sets the foundation for an integrated and efficient management of buildings through thermal digital twins, paving the way for future research and applications in the field of energy efficiency in built environments and their integration into BIM models.

Keywords: BIM-GIS, thermal point clouds, digital twin, 3D-TPC, ArcGIS, laser scanner, temperature

Resumen

En el actual contexto de búsqueda de eficiencia energética y consumo cero en la industria de la construcción, destaca la presencia de numerosos edificios cuyas características térmicas son desconocidas pero cruciales para comprender su rendimiento energético y mejorar su conservación y gestión. Las nubes de puntos térmicas surgen como una herramienta valiosa pero poco explorada capaz de proporcionar mapas de temperaturas en espacios interiores y exteriores. Este artículo presenta una metodología integral de adquisición de nubes de puntos 3D térmicas de edificios y su posterior procesamiento. Se abordará su integración en un modelo georreferenciado BIM-GIS, facilitando la visualización y comprensión para los diversos actores involucrados en la gestión y conservación del edificio. Además, se establece un marco de trabajo que no solo permite la incorporación de datos históricos, sino que también posibilita la fusión sensorial de diferentes métodos de monitorización de temperaturas superficiales en fachadas y elementos constructivos. Esta aproximación permite sentar las bases para una gestión integral y eficiente de edificios mediante gemelos digitales térmicos, allanando el camino para futuras investigaciones y aplicaciones en el ámbito de la eficiencia energética en entornos construidos y su integración en modelos BIM.

Palabras clave: BIM-GIS, nubes de puntos térmicas, gemelo digital, 3D-TPC, ArcGis, escáner láser, temperatura

Introducción

La integración de modelos BIM de edificios y sistemas de información geográfica (GIS) implica combinar las cualidades de ambas metodologías para resolver posibles problemas relacionados con el mantenimiento de los edificios, lo que resulta especialmente valioso en el actual contexto de ciudades inteligentes y la creación de gemelos digitales del entorno construido. Diversos autores han abordado, durante los últimos años, el uso del BIM como una metodología que permite proveer de información el proceso de gestión de edificios tal y como se ve en los estudios realizados por Göçer et al. (2016), Kamel y Memari (2019) y Oti et al. (2016), mientras que el GIS ofrece capacidades analíticas con respecto a información geoespacial, como en el estudio realizado por Hong-mei et al. (2001). Esta integración ha llamado la atención del ámbito de la Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operación (AECO) y de la industria geoespacial y se ha empleado en diversas aplicaciones, como la evaluación del ruido del tráfico como en el estudio de Deng et al. (2016), la evaluación de daños por inundaciones como en el estudio de Amirebrahimi et al. (2016) y la planificación de rutas de evacuación en interiores edificios tal y como se realiza en los estudios de Isikdag et al. (2013) y Wu y Zhang (2016), entre otros. Tanto los datos BIM como los GIS se pueden utilizar e integrar en estas aplicaciones. El desafío en la fusión de datos BIM-GIS se aborda mediante la conversión de datos para superar la brecha provocada por diferentes tipos de estructuras de datos. El patrón de conversión de BIM a GIS es particularmente significativo y en los últimos años ha llamado la atención de la industria AECO por su potencial para integrar datos provenientes de diferentes fuentes además de permitir el trabajo colaborativo entre los actores involucrados en varios de los procesos relacionados con la operación y mantenimiento de edificios e infraestructuras.

En este contexto, existe un interés creciente por sistemas capaces de digitalizar edificios as-is.. El concepto as-is (o as-built) hace referencia a un registro de las medidas y elementos de un edificio existente en algún momento después de que se completara la construcción. Además, se busca ser capaces de optimizar un flujo de trabajo que, hasta el momento, es muy manual, y que cuenta con grandes cantidades de datos e información necesarios para comprender el funcionamiento y mejorar el mantenimiento preventivo de los edificios. Hasta ahora, la digitalización 3D de edificios se había enfocado principalmente en la obtención de su geometría. Sin embargo, durante los últimos diez años, han surgido diferentes estudios y propuestas que abren nuevas líneas de investigación orientadas al análisis y estudio de la eficiencia energética de los edificios construidos. Esto ha dado lugar a los primeros trabajos centrados en la digitalización 3D térmica de edificios y, como consecuencia de ello, a la creación de gemelos digitales térmicos. En este artículo, se presenta una metodología para la obtención, procesamiento y visualización de un modelo de puntos 3D digital térmico del interior de un edificio, su procesado para obtener una porción de fachada objeto de estudio, y su posterior integración en un entorno GIS como un paso hacia el gemelo digital de la fachada. En este artículo se hace hincapié principalmente en las etapas relacionadas con la relación entre datos BIM-GIS y térmicos. La metodología describe los trabajos relacionados con la obtención de nubes térmicas de edificios, su procesamiento y la integración en sistemas GIS junto a otros datos no geométricos de edificios. Las referencias a temas más específicos como la automatización de la obtención de estos datos, o la creación de modelos 3D semánticos de forma automática o semiautomática para la simulación energética y otros usos serán objeto de futuras publicaciones.

En el ámbito de la Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operaciones, el uso de las nubes de puntos 3D con información térmica se ha vuelto cada vez más importante en los últimos 10 años, según Rahhal et al. (2019), probado por el aumento de estudios sobre el tema. Estas nubes de puntos capturan la geometría tridimensional de un edificio o espacio, junto con los datos térmicos asociados, que pueden ser útiles para mapear las características térmicas de edificios de gran tamaño, como demuestran los estudios realizados por Hou et al. (2022) donde se ha realizado un mapeo térmico-RGB de una fachada exterior, o el trabajo similar realizado por Alba et al. (2011). Esta combinación de información geométrica y térmica puede proporcionar información valiosa para la gestión de edificios y el análisis del rendimiento energético de éstos. Además, las nubes de puntos 3D con información térmica se pueden utilizar para diversas

aplicaciones en la industria AECO. Por ejemplo, se pueden utilizar para el modelado de edificios existentes (as-is), lo que permite una representación precisa de la geometría y las propiedades térmicas del edificio.

La utilización de cámaras termográficas y otros sensores en el sector AECO ha dado lugar a avances en las técnicas de adquisición y procesamiento de datos. Estas tecnologías han evolucionado significativamente con el tiempo, permitiendo el análisis cualitativo y cuantitativo de datos. Cabe destacar la integración de diversas tecnologías para organizar y visualizar los datos obtenidos de diferentes sensores y dispositivos. Estos datos se pueden implementar en modelos 3D y se pueden utilizar en gemelos digitales basados en BIM. En los últimos años, las nubes de puntos térmicas (TPC) han ganado protagonismo en este campo, particularmente en relación con los modelos tal cual de edificios con información térmica. Las TPC son herramientas valiosas para comprender el comportamiento térmico general de elementos constructivos, habitaciones o grupos de habitaciones específicos, así como los cambios que se producen en un edificio a lo largo del tiempo, como se muestra en trabajos como Adán et al. (2023) donde se propone una plataforma robótica automática para la obtención de mapas térmicos de estancias interiores. A diferencia de las termografías 2D, las TPC proporcionan información más completa de los edificios. La inclusión de datos térmicos en modelos BIM-GIS y gemelos digitales de edificios con datos térmicos se ha vuelto un tema cada vez más común en la literatura académica, especialmente en los últimos cinco años. Antón y Amaro-Mellado (2021) presentaron un software de código abierto basado en un GIS para visualizar y analizar nubes de puntos térmicos 3D exteriores y urbanos. Previtali et al. (2012) desarrollaron una metodología fotogramétrica para mapear imágenes térmicas IR en modelos 3D dentro de un entorno GIS. Por otro lado, Lagüela et al. (2014) propusieron un flujo de trabajo para mapear térmicamente modelos exteriores de edificios con un nivel de detalle Lod-2 en GIS. Estos estudios resaltan la importancia de integrar las TPC de edificios existentes en modelos BIM-GIS para evaluar diversos aspectos, como el estado de conservación de los sistemas de aislamiento térmico, el confort térmico interno, la detección de defectos en elementos constructivos y la gestión relacionada con la eficiencia energética de los edificios.

1. Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es proponer una metodología para la integración de datos de nubes de puntos térmicos 3D de una fachada de un caso de estudio en un sistema BIM-GIS, buscando una mejor visualización e interoperabilidad entre los diferentes datos relacionados con el edificio y su mantenimiento. La singularidad del edificio, con un espacioso atrio de doble altura y un muro cortina con geometría no-regular contribuyen a la complejidad del proceso de integración. Los trabajos realizados hasta el momento en el ámbito de la digitalización mediante nubes de puntos térmicas 3D (3D-TPC) se han llevado a cabo en espacios con geometrías muy regulares, de reducidas dimensiones, y con puertas o huecos rectangulares (habitualmente puertas cerradas).

Los objetivos principales de este trabajo incluyen:

- Desarrollar una metodología de integración BIM-GIS para la visualización de datos térmicos y como herramienta de mantenimiento preventivo en edificación. Desarrollar una metodología aplicable a herramientas BIM-GIS tanto comerciales como de código abierto, asegurando su validez en diversos entornos de software.
- Integración de diversas estructuras de datos relacionadas con datos térmicos de edificios, incluidos datos históricos de diversas fuentes (sensores ambientales, fotografías térmicas para mantenimiento de equipos, etc.) que podrían contribuir al mantenimiento preventivo de los edificios y su gestión.
- Integrar conjuntos de datos provenientes de 3D-TPC en un modelo GIS, que es una tarea que no se ha realizado anteriormente.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en el apartado 2.1 se muestra el sistema de sensorización empleado y el proceso de adquisición de una nube de puntos térmica, en el apartado 2.2 se desarrolla el procesamiento básico de estas nubes para obtener una nube de puntos omnidireccional 3D-TPC, en el apartado 2.3 se explica cómo se exportan estos datos y cuál es su problemática actual respecto a su

integración en formatos y modelos BIM. La sección 3 desarrolla el estado actual de los modelos BIM-GIS y su utilización como metodología válida para la visualización de datos en gemelos digitales de edificios, la sección 4 desarrolla el caso de estudio. En el apartado 4.1 se describe la sensorización del espacio realizada y el formato de los datos que es necesario incluir en el modelo, en el apartado 4.2 se detalla el procesamiento de estos datos, su almacenamiento y la forma de incluirlos en el modelo BIM-GIS. La sección 5 muestra los resultados del caso de estudio, y, por último, la sección 6 desarrolla las conclusiones y propone futuros trabajos que podrían realizarse para mejorar la metodología y lograr una mejor integración de datos térmicos de edificios en modelos BIM y GIS.

2. Metodología

2.1. Descripción del sistema de sensorización y proceso de adquisición

Para realizar esta digitalización, se empleó un escáner láser 3D de rango medio (Leica BLK360) para capturar nubes de puntos. Este escáner compacto y ligero ofrece un rango mínimo de 0.6 metros y un rango máximo de 60 metros. Tiene un campo de visión de $360^\circ \times 300^\circ$ (h x v), que cubre eficazmente todo el espacio visible. Además, el escáner está equipado con tres cámaras RGB integradas que giran junto a él, capturando 30 imágenes durante una vuelta completa. Estas imágenes se unen luego para formar una imagen panorámica completa de 15Mpx, que abarcan toda la escena escaneada. Sin embargo, la información térmica obtenida no cubre toda la escena, sólo una banda central, por lo que es necesario tomar escaneados térmicos en diferentes puntos de la escena y con diferentes orientaciones del sensor láser para obtener datos de temperatura para obtener posteriormente la nube térmica omnidireccional. La Figura 1 muestra el proceso de obtención en varias posiciones y diferentes tiempos para obtener una nube omnidireccional 3D-TPC y su posterior procesado.

2.2. Procesamiento y obtención de una nube 360-T

El proceso para la calibración previa de las cámaras térmicas y las características ópticas relacionadas con el escáner láser antes de empezar a procesar se detallan en Heikkila & Silven (1997). El proceso para procesar y obtener una única nube de puntos térmica a partir de los datos en bruto de una única toma se detalla en Ramón et al (2022). Todo el procesamiento se realiza utilizando el software Matlab. Una vez se han seguido los pasos de las diferentes calibraciones y se han procesado de forma individual las 9 nubes térmicas que cubren el espacio estudiado, es necesario realizar un proceso de registro entre estas nubes. Primero se procesa y se obtiene una nube panorámica por cada posición (Pos1, Pos2 y Pos3) en la que se ha colocado el escáner con el trípode, siguiendo estos tres pasos:

1. La cámara térmica gira junto al conjunto del escáner en el eje Z, a tramos de 36° y toma una imagen por tramo hasta completar una vuelta completa de 360° .
2. Para cada k-ésima imagen ($k=1\dots 10$), hay que calcular las coordenadas $(X_f, Y_f)_k$ de los puntos de la escena $(X_p, Y_p, Z_p)_k$. Hay que contar con la rotación α respecto de la posición inicial del escáner, que llamamos "Home" y se les asigna las correspondientes temperaturas.
3. Se forma una nube térmica 360-T de amplitud $71^\circ \times 360^\circ$.

Una vez se ha realizado una nube panorámica por cada una de las posiciones del sensor láser, es necesario realizar un proceso de "registro" entre ellas para obtener una mayor densidad de datos del muro cortina y cubrir un espacio de la escala del que se está estudiando. Tras alinear todas las nubes térmicas omnidireccionales de cada zona con un sistema de referencia común, se logra obtener una nube térmica omnidireccional. Esta nube suele basarse en el sistema definido durante el primer escaneado de la primera zona.

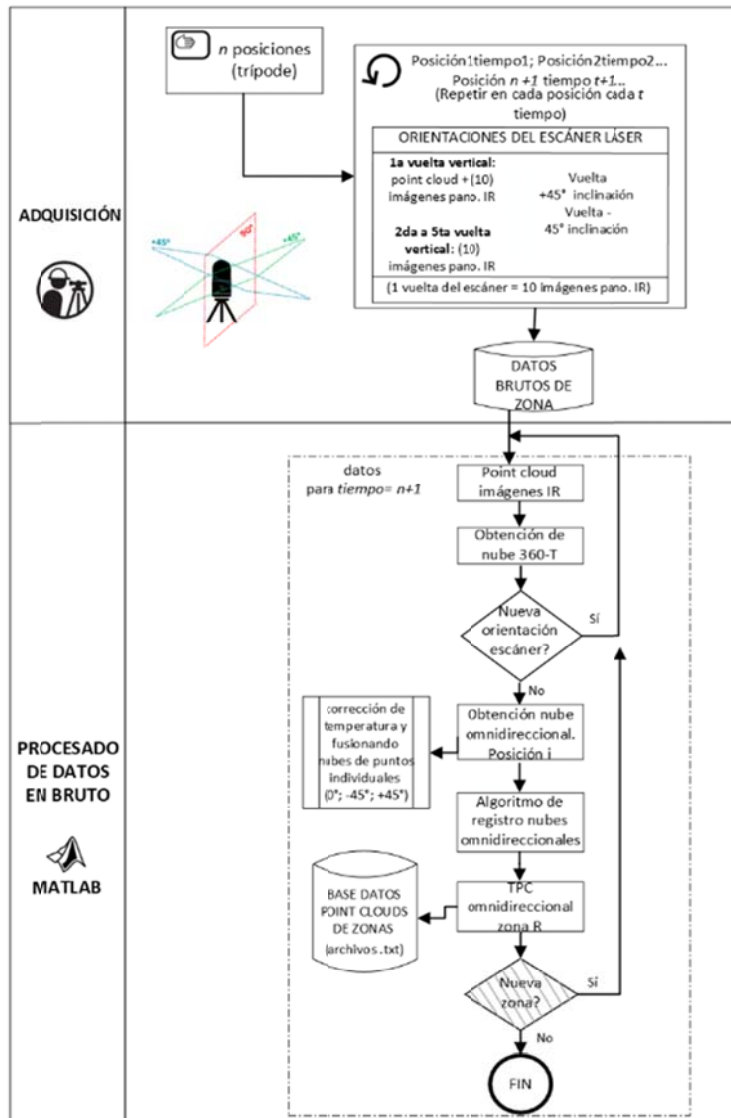


Fig. 1. Diagrama de metodología de obtención de 3D-TPC omnidireccional mediante diferentes posiciones del sistema de sensorización y posterior procesado de datos. Elaboración propia.

2.3. Procesamiento de datos a partir de la nube de puntos

Como resultado del procesamiento, la 3D-TPC obtenida desde Matlab (Figura 2) tiene un formato .txt de filas y columnas que puede ser leído en softwares especializados en gestión de nubes de puntos y mallas como CloudCompare. El archivo de nube de puntos cuenta con puntos X, Y, Z y un valor escalar que corresponde a la temperatura de dicho punto. CloudCompare se ha utilizado para limpiar de outliers y aislar la fachada digitalizada para este trabajo. La 3D-TPC es exportable a un archivo .xyz y se puede importar a software BIM como Revit, sin embargo, su utilización es aún muy limitada en softwares comerciales no especializados en nubes de puntos, por lo que se ha decidido utilizar CloudCompare para segmentar y obtener los valores de temperatura de los elementos estudiados, empleando la herramienta "Edit→Scalar Fields" con el fin de filtrar los valores de temperatura en diferentes capas, que comprenden valores escalares desde los 20°C hasta los 27°C. Es importante destacar que CloudCompare no permite calcular directamente las medias de valores escalares. Mediante esta metodología, se realiza un filtrado basado en el valor del escalar para obtener la temperatura asociada a los puntos de cada elemento.

Posteriormente, esta información se puede aplicar como parámetro o como atributo en softwares BIM y GIS para cada uno de los componentes que conforman la fachada estudiada, incluyendo los vidrios y los montantes y travesaños. Este proceso se explica detalladamente en el caso de estudio.

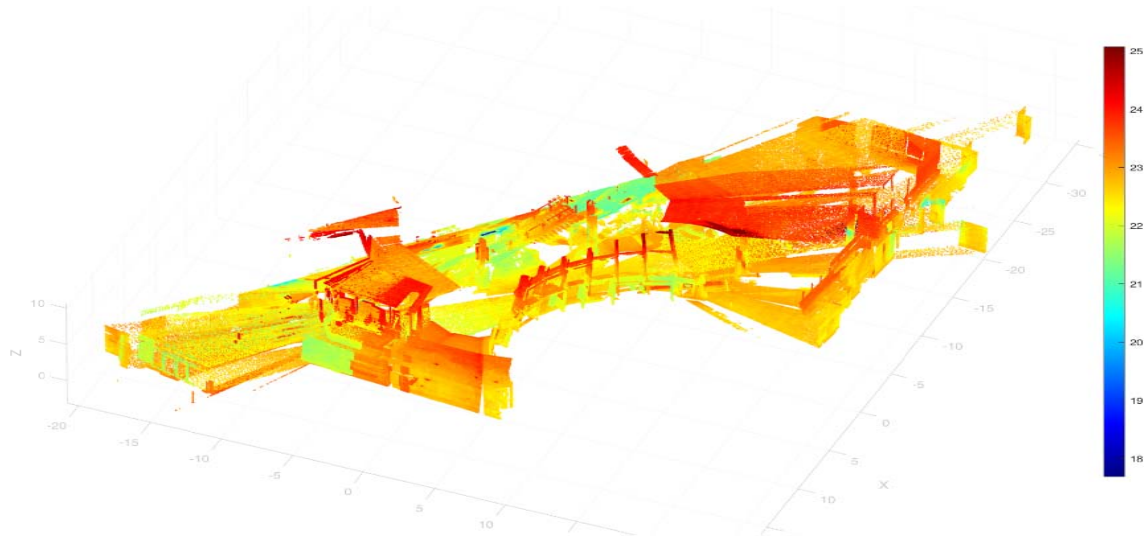


Fig. 2. Visualización de 3D-TPC desde Matlab con escala de falso color asignado a la temperatura. Elaboración propia.

3. Caso de estudio

Los datos geométricos y térmicos se recopilaron del 23 de febrero al 3 de marzo, en un edificio del Campus de la Universidad de Nueva York en Abu Dabi (NYUAD), ubicado en la isla de Saadiyat al norte del área metropolitana de Abu Dabi. El edificio donde se han realizado los trabajos pertenece a la zona oeste del campus, y tiene planta baja diáfana, con accesos desde distintos puntos, amplios pasillos y espacios para aulas, laboratorios, despachos y espacios de trabajo, tanto abiertos como cerrados. El espacio en el que se desarrolla el trabajo consta de un área de edificación de planta baja con un entresuelo accesible desde la planta baja mediante diferentes escaleras y ascensores. La planta baja es mayoritariamente espacio de circulación, con un gran hall en doble altura que se abre a un patio interior construido con un muro cortina de vidrio de forma elipsoidal, tal y como se ve en la Figura 3. La planta superior consta de diferentes espacios de circulación, oficinas abiertas y despachos que se mantuvieron cerrados durante los trabajos realizados. El espacio inmediatamente superior es una pasarela ajardinada que se encuentra en el segundo piso y no es objeto de este estudio. Todo el espacio interior se mantuvo climatizado durante los ensayos y digitalizaciones.

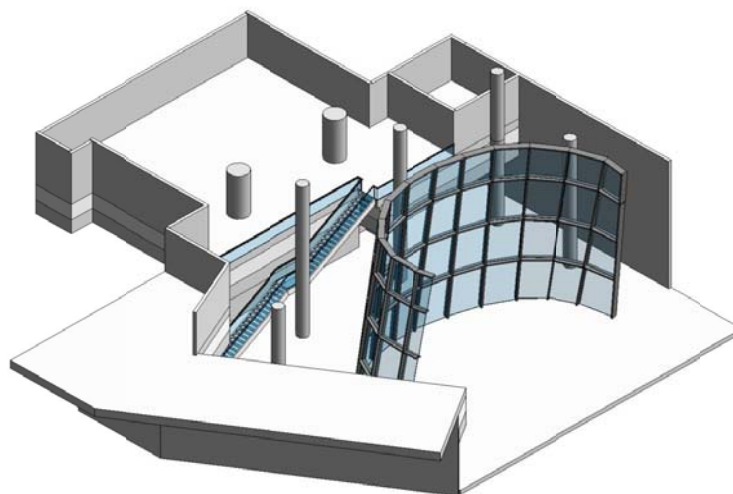


Fig. 3. Modelo 3D realizado en Autodesk Revit del espacio a doble altura estudiado y la fachada del patio interior. Elaboración propia.

3.1. Sensorización realizada

Para cubrir todo el espacio, se colocó el sensor láser en 3 posiciones diferentes en el interior del edificio: dos en la planta baja para tomar datos de medio muro cortina (Figura 4), y una posición en el descansillo de las escaleras que conectan la doble altura con el espacio de oficina de la entreplanta. Se obtuvieron en total 9 nubes de puntos (una nube vertical y dos a +45 y -45 grados de inclinación del trípode empleado, por cada posición). Se obtuvieron datos de sensores de temperatura y humedad ambiente registrando durante una semana, y que coincidieron en varios momentos con las digitalizaciones térmicas 3D-TPC realizadas. Estos datos de sensores se almacenan en un archivo .csv con valores en filas y columnas que ha sido subido a una plataforma de gestión de archivos en la nube junto a unas fotografías 2D IR que complementan la monitorización realizada del espacio y zonas adyacentes. Estos son los datos, cada uno con sus diferentes formatos que resulta de interés añadir al modelo BIM-GIS en el que hay que integrar toda esta información para facilitar a los técnicos o equipos de gestión y mantenimiento del edificio su consulta y visualización en un modelo único.

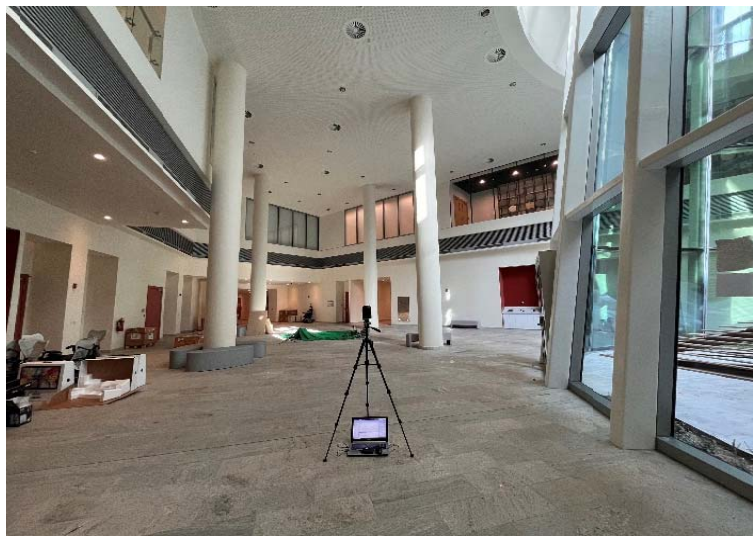


Fig. 4. Set-up del escáner láser montado sobre el trípode y equipo informático para realizar captura de datos de una única posición. Elaboración propia.

3.2. Procesamiento de datos y visualización

Las herramientas empleadas en este estudio incluyen Autodesk Revit, Esri ArcGIS Pro y ArcGIS Pro Online. Esri ArcGIS Pro y ArcGIS Pro Online (ESRI, 2021) fueron preferidos a las alternativas de código abierto debido al soporte técnico proporcionado por la universidad, junto con sus funciones avanzadas. Éstas incluyen no solo la visualización de datos sino también la disponibilidad de cajas de herramientas (toolboxes) con diversas funcionalidades para la implementación de gemelos digitales y la integración de datos de las diferentes fuentes externas que estuvieron tomando datos mientras se tomaban las 3D-TPC. Se utilizó Autodesk Revit (REVIT, 2018) para el modelado geométrico y añadir datos de localización de los edificios dentro del campus. El software se utilizó para lograr un Nivel de Detalle (LOD) 4 de los edificios estudiados, según el estándar City Geography Markup Language (CityGML). La porción de edificio caso de estudio ha sido modelado geoméricamente en Autodesk Revit empleando dos nubes de puntos con color RGB realizadas desde el interior y registradas entre sí. Estas nubes de puntos se procesaron y se limpiaron de valores outliers en Autodesk Recap. El modelo .rvt resultante se exportó directamente a ArcGIS Pro para servir de base para la geometría del edificio y de la fachada objeto de estudio.

Además, para aportar contexto al modelo dentro del campus, se incorporaron al flujo de trabajo datos abiertos de OpenStreetMap (OSM) (OpenStreetMap, 2015). Esta información complementaria fue fundamental para modelar con precisión el diseño del campus y ubicar los edificios dentro de él. La integración de estas herramientas permite una representación integral y precisa del entorno construido,

facilitando análisis detallados dentro del marco de los gemelos digitales térmicos para una mejor toma de decisiones.

4. Resultados

Se utilizó la herramienta ArcGIS Pro en su versión de escritorio para integrar toda la información creada, y las herramientas en la nube de Esri que permiten cargar los modelos realizados en una única plataforma en la nube, que permite compartir un visor donde se puede interactuar con los modelos (visualizar desde diferentes puntos de vista, cambiar de escala a una visión global o una más cercana del edificio o elemento estudiado, activar o desactivar plantas y sensores...), tal y como se ve en la Figura 5.

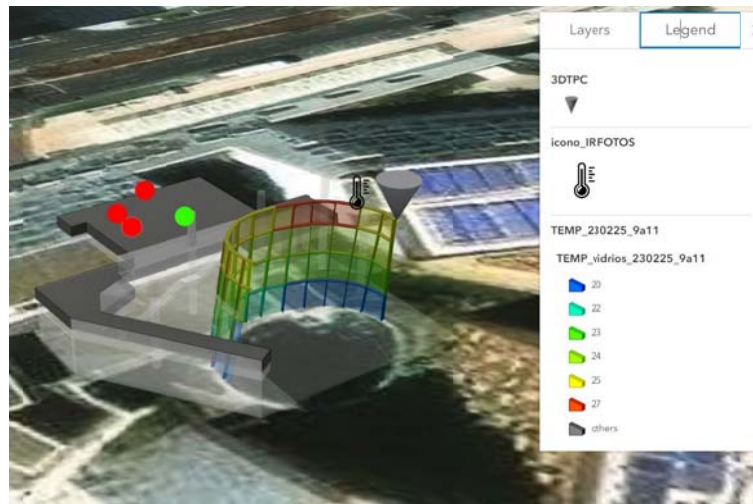


Fig. 5. Visor online de ArcGIS Pro donde se ha colocado una intensidad menor al edificio y se ha mantenido la fachada del muro cortina a la que se han asignado valores de falso color mediante atributo "TEMP". Elaboración propia.

La integración de datos se ha realizado de la siguiente manera:

- El modelo geométrico y georreferenciado de los volúmenes del campus de la NYUAD se obtuvieron de OpenStreetMaps (OSM) y se insertó en un mapa base de tipo imagen satelital. Los metadatos de los edificios del campus se han limpiado, y se han mantenido los parámetros que nombran los diferentes edificios e indican su uso (*educativo, oficinas, residencial, servicios...*).
- El modelo .rvt del edificio se ha importado directamente a ArcGISPro desde Revit. El propio software tiene una *toolbox* que convierte los datos "De BIM a geodatabase", y que permite explotar el modelo en elementos por categorías tal y como vienen predeterminadas desde Revit (*Architectural, Floors, Mass, Structural...*). Estas categorías no se pueden modificar manualmente, ni añadir nuevas.
- Se han añadido los sensores en el espacio como elementos "3DPoint", y se le ha añadido a cada uno un atributo que referencia a un archivo .csv en la nube en la que se hace referencia al registro de datos obtenidos durante los días que duró el ensayo.
- Respecto a la fachada del muro cortina, este elemento se ha convertido de BIM a un "multipatch", que es un elemento tridimensional al que se le pueden añadir atributos personalizados y posteriormente, visualizarlos con una escala de colores. Se ha creado un atributo llamado "TEMP" donde se coloca el valor escalar obtenido previamente desde la 3D-TPC a partir del proceso realizado en CloudCompare. Se han creado dos "multipatch" diferentes hasta el momento, para comprobar de qué manera insertar datos de dos lecturas diferentes realizadas en dos momentos. La Figura 6 muestra en una leyenda cómo están organizados estos valores de temperatura.
- Una de las 3D-TPC se ha subido a la plataforma Sketchfab, a la cual se ha asignado un icono que redirige mediante un enlace a la página. Hasta el momento, no ha sido posible integrar

correctamente y de forma directa la 3D-TPC mediante un archivo. las en ArcGIS Pro ni en su versión en la web, por lo que esto es un tema que queda pendiente para siguientes desarrollos. Puede visualizarse en el siguiente enlace: <https://skfb.ly/oPDX9>

- La propuesta de gemelo digital en la plataforma online de Esri puede ser consultada desde el siguiente enlace: <https://arcg.is/1ezqy80>

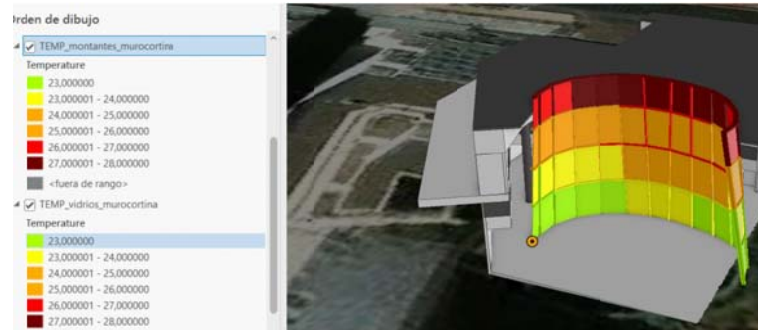


Fig. 6. Vista cercana del modelo con valores de temperatura obtenidos a partir de la 3D-TPC y leyenda con los elementos visualizados. Elaboración propia.

5. Conclusiones

La elaboración de modelos BIM-GIS de interiores de edificios con características térmicas es un tema de creciente interés en la actualidad, posiblemente debido a la complejidad que aun conllevan los procesos involucrados para los equipos de trabajo de arquitectos e ingenieros. La metodología utilizada está fuertemente influenciada por el acceso a los diversos dispositivos de sensorización disponibles, su precisión y su ubicación en los espacios monitoreados. Obtener datos precisos y variados de los interiores de los edificios para la creación de gemelos digitales térmicos implica generalmente la instalación de dispositivos y sensores en lugares no previstos durante el diseño y construcción del edificio, además de requerir un mantenimiento continuo que puede resultar complicado. La metodología propuesta ha demostrado ser efectiva en el caso de estudio presentado, abordando aspectos diversos que no habían sido tratados previamente en investigaciones similares, como el uso de nubes de puntos térmicas en una zona de gran escala con varios pisos, la presencia de una fachada mayoritariamente acristalada y de geometría compleja, la implementación de una red de sensores y la posterior integración de los datos recopilados en un modelo BIM-GIS integral que servirá como base para futuros desarrollos. También se han asignado temperaturas a todos los elementos que forman la fachada, lo que permitió la creación de una estructura de datos para un modelo geométrico-térmico que se puede consultar en la nube. Además, se encontraron las siguientes limitaciones:

- Limitaciones en el sistema de sensorización: El sistema empleado actualmente enfrenta desafíos significativos al tomar escaneados láser en periodos de tiempo cortos. Esto se traduce en la necesidad de generar nubes de puntos térmicas durante períodos prolongados, especialmente al cubrir espacios extensos como el evaluado en este estudio, que requieren de entre 1 y 3 horas de escaneo.
- Falta de automatización en la metodología de adquisición y procesamiento: Tanto la adquisición como el procesamiento de los datos presentan un nivel aún bajo de automatización, especialmente en casos como el desarrollado donde existen varias plantas. La falta de herramientas automatizadas dificulta el proceso, lo que resulta en un post-procesado manual. Este paso implica la obtención manual de valores medios de temperaturas a partir de los datos recopilados, los cuales luego deben ser aplicados al modelo BIM-GIS.
- Posibilidad de software abierto: En la actualidad, la mayoría de las herramientas utilizadas son software comercial, como Autodesk Revit y Esri ArcGIS Pro. Si bien el software libre, como CloudCompare, se utiliza en el proceso intermedio para obtener los valores de temperatura, se requiere una mayor integración de herramientas de código abierto en todo el flujo de trabajo. Sería

necesario utilizar herramientas de software libre como Blender o QGIS, disponiendo de los conocimientos de programación adecuados.

- Despliegue de medios físicos: La recolección de datos en espacios de esta naturaleza implica un despliegue físico significativo de medios y recursos. La conexión de los sensores, por ejemplo, puede ser limitada y no abarcar todo el espacio disponible, lo que conlleva a una falta importante de datos para un análisis cuantitativo completo.
- Limitaciones en la visualización térmica: Aunque se ha logrado recopilar datos térmicos, la visualización y análisis de estos aún presentan limitaciones. Es importante destacar que la literatura existente sobre la visualización de datos térmicos en modelos BIM-GIS es escasa o inexistente, lo que resalta la necesidad de desarrollar y aplicar técnicas más avanzadas en este campo.
- Limitaciones del GIS en espacios interiores: En este estudio, el GIS ha demostrado ser una herramienta valiosa debido a la monitorización de un espacio interior extenso, con numerosos elementos como sensores que requerían una localización precisa en el espacio. Además, al tratarse de un edificio en un campus universitario, la capacidad de GIS para realizar una segmentación del edificio monitorizado y ubicar estos elementos en el espacio es importante para la creación de gemelos digitales de estos tipos de edificios y sus elementos dentro del contexto de campus. Sin embargo, la geolocalización a través del GIS puede no ser relevante en todas las aplicaciones de gemelos digitales, ya que su utilidad dependerá de los atributos, elementos o aspectos específicos que se deseen incorporar en dicho gemelo digital.

Referencias

- ADÁN, A., LÓPEZ-REY, A., & RAMÓN, A. (2023). Robot for thermal monitoring of buildings. *Automation in Construction*, 154, 105009. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105009>
- ALBA, M. I., BARAZZETTI, L., SCAIONI, M., ROSINA, E., & PREVITALI, M. (2011). Mapping infrared data on terrestrial laser scanning 3D models of buildings. *Remote Sensing*, 3(9), 1847-1870. <https://doi.org/10.3390/rs3091847>
- AMIREBRAHIMI, S., RAJABIFARD, A., MENDIS, P., & NGO, T. (2016). A BIM-GIS integration method in support of the assessment and 3D visualisation of flood damage to a building. *Journal of Spatial Science*, 61(2), 317-350. <https://doi.org/10.1080/14498596.2016.1189365>
- ANTÓN, D., & AMARO-MELLADO, J. L. (2021). Engineering graphics for thermal assessment: 3D thermal data visualisation based on infrared thermography, GIS and 3D point cloud processing software. *Symmetry*, 13(2), 1-20. <https://doi.org/10.3390/sym13020335>
- DENG, Y., CHENG, J. C. P., & ANUMBA, C. (2016). A framework for 3D traffic noise mapping using data from BIM and GIS integration. *Structure and Infrastructure Engineering*, 12(10), 1267-1280. <https://doi.org/10.1080/15732479.2015.1110603>
- ESRI. (2021). ArcGIS Pro Software. En *Software details*. <https://www.esri.com/es-es/arcgis/products/arcgis-pro/overview>
- GÖÇER, Ö., HUA, Y., & GÖÇER, K. (2016). A BIM-GIS integrated pre-retrofit model for building data mapping. *Building Simulation*, 9(5), 513-527. <https://doi.org/10.1007/s12273-016-0293-4>
- HEIKKILA, J., & SILVEN, O. (1997). Four-step camera calibration procedure with implicit image correction. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1106-1112. <https://doi.org/10.1109/cvpr.1997.609468>
- HONG-MEI, Z., CHENG-HU, Z., WEI-QIANG, G., & JIN-CAI, D. (2001). Spatial distribution characteristics of urban thermal conditions: application of GIS and remote sensing. *Journal of Geographical Sciences*, 11(3), 261-270. <https://doi.org/10.1007/bf02892309>
- HOU, Y., CHEN, M., VOLK, R., & SOIBELMAN, L. (2022). Investigation on performance of RGB point cloud and thermal information data fusion for 3D building thermal map modeling using aerial images under

- different experimental conditions. *Journal of Building Engineering*, 45, 103380. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103380>
- ISIKDAG, U., ZLATANOVA, S., & UNDERWOOD, J. (2013). A BIM-Oriented Model for supporting indoor navigation requirements. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.05.001>
- KAMEL, E., & MEMARI, A. M. (2019). Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. En *Automation in Construction* (Vol. 97, pp. 164-180). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.11.008>
- LAGÜELA, S., DÍAZ-VILARIÑO, L., ROCA, D., & ARMESTO, J. (2014). Aerial oblique thermographic imagery for the generation of building 3D models to complement Geographic Information Systems. *Proceedings of the 2014 International Conference on Quantitative InfraRed Thermography*. <https://doi.org/10.21611/qirt.2014.041>
- OPENSTREETMAP. (2015). *Open Street Maps Wiki*. <https://www.openstreetmap.org/>
- OTI, A. H., KURUL, E., CHEUNG, F., & TAH, J. H. M. (2016). A framework for the utilization of Building Management System data in building information models for building design and operation. *Automation in Construction*, 72, 195-210. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.043>
- PREVITALI, M., ERBA, S., ROSINA, E., REDAELLI, V., SCAIONI, M., & BARAZZETTI, L. (2012). Generation of a GIS-based environment for infrared thermography analysis of buildings. En M. Strojnik & G. Paez (Eds.), *Infrared Remote Sensing and Instrumentation XX* (Vol. 8511, p. 85110U). <https://doi.org/10.1117/12.930050>
- RAHHAL, A., MATTHYS, C., RAJEB, S. BEN, & LECLERCQ, P. (2019). *Limitations of Using Digital BIM Models to Carry out Thermal Analysis*.
- RAMÓN, A., ADÁN, A., QUINTANA, B., CASTILLA, F. J., PÉREZ, V. (2022). Technology and Methodology for Obtaining Omnidirectional 3D Thermal Point Clouds Models of Buildings. *International Congress on Project Management and Engineering*. <https://doi.org/10.31819/9783968690575-002>
- REVIT, A. (2018). Revit 2021 | Software de BIM | Tienda oficial de Autodesk. En 21 de abril. <https://www.autodesk.es/products/revit/overview?term=1-YEAR>
- WU, B., & ZHANG, S. (2016). Integration of GIS And BIM for indoor geovisual analytics. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 41, 455-458. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B2-455-2016>

CONSTRUCCIÓN DE MODELOS BIM EN EL ESQUEMA DE DATOS IFC CON LA LIBRERÍA IFCOPENSHELL

Pastor Villanueva, José María

BIM Manager, Ingeniero de Caminos, C. y P. (Técnica y Proyectos, S.A., Valencia, España)
jmpastor@typsa.es.

Abstract

This paper proposes a methodology for building information models according to the IFC data schema, using software development tools, by means of Python programming language and the IFCOpenShell library. It takes advantage of the characteristics of the IFC data schema as an interchange format (schema's open source, use of plain text, use of class-object hierarchies) to overcome the limitations of current modeling software. Three use cases are shown as an example of the flexibility and the power of the proposed methodology of alignment axes and auxiliary annotation elements for linear works, the interpretation of geotechnical boreholes to complement the information of geotechnical models and the creation of reinforcement bar sets in circular-shaped with variable height wind turbines foundations. In all cases, models are generated correctly with the required geometric and non-geometric information, fully interoperable with the rest of the BIM software.

Keywords: ifc, programming, automation, IFCOpenShell, Python.

Resumen

El presente artículo propone una metodología de construcción de modelos de información según el esquema de datos IFC, mediante el uso de herramientas de ingeniería de software, empleando el lenguaje de programación Python y la librería IFCOpenShell. Se aprovecha las características del esquema de datos IFC como formato de intercambio (código abierto del esquema, utilización de texto plano en su redacción, uso de jerarquías de clases-objetos) para solventar las limitaciones de las que adolece que el software de modelado actual. Se muestran tres casos de uso como muestra de la flexibilidad de la metodología propuesta y la potencia de sus capacidades: la generación de ejes de trazado y elementos de anotación auxiliares para obras lineales, la interpretación de columnas de sondeos geotécnicos para complementar la información de modelos geotécnicos y la creación de conjuntos de armaduras en cimentaciones troncocónicas de aerogeneradores. En todos los casos se generan modelos correctamente con la información geométrica y no geométrica requerida, plenamente interoperables con el resto de software BIM

Palabras clave: ifc, automatización, programación, IFCOpenShell, Python.

1. Introducción

En la actualidad, la generación de modelos de información sobre los que se fundamente la metodología BIM recae principalmente en software comercial de modelado. Este software cuenta con procedimientos de creación y gestión de la información optimizados para su eficiente gestión.

Sin embargo, dicho software adolece de ciertas limitaciones:

- Está orientado a dar respuesta a la creación de los casos más habituales de geometría de objetos del sector de la construcción, pero tienen carencias a la hora de representar entidades menos utilizadas. Suelen contar con herramientas genéricas de creación y edición de geometría, pero su uso no es tan potente como el de las herramientas específicas.
- Es frecuente que este software de modelado no pueda utilizar eficientemente la información empleada por los equipos de diseño, en especial en las fases tempranas, dada la heterogeneidad de los contenedores de información utilizados por cada una de las disciplinas. La interpretación de la información resultante del proceso de diseño para alimentar los modelos suele hacerse de manera manual, por parte de un equipo de modelado distinto al de producción.

En el presente artículo se muestra una propuesta de metodología de creación de modelos de información según el esquema de datos IFC que permite complementar al software comercial en aquellos ámbitos del diseño en donde su utilización resulta insuficiente.

La metodología presentada resulta ser suficientemente flexible como para adaptarse a una gran variedad de casos de uso, con potencia como para gestionar adecuadamente la información geométrica y no geométrica. No se encuentra limitada por la complejidad de la geometría o la singularidad de los objetos representados y resulta especialmente adecuada en aquellos casos en los que el equipo de diseño genera particularizaciones de un prototipo, esto es, variaciones controladas y parametrizadas de un conjunto de elementos fijo y predeterminado.

1.2. El esquema IFC

El esquema IFC es un estándar internacional (UNE-EN ISO 16739-1, AENOR-UNE, 2018) organizado en torno a un conjunto de entidades (Clases), relacionadas entre sí mediante vínculos de diverso tipo. Su definición formal, en formatos tales como *.xml, *.json o STEP, permite ser interpretado correctamente por las máquinas y leído según el lenguaje humano. A estas entidades se les puede aplicar algoritmos de creación, consulta, modificación o eliminación para el tratamiento discrecional de la información en ellas contenida.

El concepto de Clase en el esquema IFC es idéntico al empleado en la programación orientada a objetos en Ingeniería de Software: un objeto que agrupa un conjunto de propiedades y/o métodos, con una serie de características (herencia, encapsulación, polimorfismo) que le añade vez flexibilidad y robustez.

Resulta natural, pues, abordar la gestión de las entidades IFC mediante herramientas propias de la Ingeniería de Software. Entre ellas destaca la utilización de librerías de funciones preconfiguradas para la creación o edición de los conjuntos de Clases que representan los objetos a modelar.

1.3. La librería IfcOpenShell

La librería empleada en este trabajo para la creación de los modelos ha sido IfcOpenShell (<http://ifcopenshell.org>). Se trata de una librería de código abierto para el tratamiento del estándar Ifc, con soporte para las versiones IFC2x3, IFC4 Add2 TC1 y IFC4.3 Add2, entre otras. Ha sido programada nativamente en C++ y cuenta con una versión para Python (Krijnen, 2017, Krijnen, 2020, Haselberger 2023, El-Diraby, 2017).

Además de las API para C++ y Python, la librería provee un conjunto de herramientas para la gestión de archivos .ifc, incluyendo la conversión de la geometría a otros formatos (OBJ, DAE, GLB/GLTF, STP, IGS,

etc.), la extracción de información no geométrica, un add-on para BlenderBIM (<https://blenderbim.org>, Pérez, 2023), e incluso da soporte a otros formatos abiertos de intercambio, como BIM Collaboration Format (*.bcf) o Information Delivery Specification (*.ids).

Para el desarrollo de la metodología presentada se han utilizado las herramientas básicas de la versión 0.7.0. de la librería.

2. Metodología

2.1. Introducción

La metodología expuesta nace en el ámbito de la redacción de Proyectos en una empresa de ingeniería, ante la necesidad de disponer de herramientas y procesos con los que generar modelos de información de una manera automatizada, fiable y capaz de aprovechar la información previa generada durante el diseño de las obras de ingeniería civil. Se observa la limitación de los softwares de modelado y la falta de interoperabilidad entre estos y las herramientas de diseño y gestión de la información habituales.

Se propone una metodología a utilizar por parte de los distintos equipos de diseño capaz de cumplir con las siguientes directrices:

- Competente para gestionar tanto la información geométrica como no geométrica
- Personalizable para cada una de las disciplinas que la adopten
- Ágil, con capacidad de reutilización frente a nuevos diseños similares o variaciones de un diseño existente
- Basada en el esquema de información *.ifc para asegurar su posterior interoperabilidad con otros softwares de modelado.

Para dar respuesta a esta necesidad se investiga en la posibilidad de creación de documentos en formato *.ifc mediante el uso de librerías informáticas que ayuden en la tarea, utilizando un algoritmo de generación de información adaptable a distintos ámbitos de producción.

El diseño del algoritmo de programación propuesta resulta de considerar tanto los datos de partida de las disciplinas afectadas, su organización en torno a distintos tipos de contenedores de información, la organización de la librería de gestión del esquema IFC utilizada y la propia naturaleza del esquema de datos *.ifc, que requieren del establecimiento de un conjunto de clases básicas sobre las que se organizan entidades superiores.

2.2. Requisitos

La metodología de trabajo propuesta en esta publicación requiere de la utilización de algunas tecnologías y conocimientos previos. Los más importantes son los siguientes:

- 1.- Conocimiento profundo del conjunto de entidades ifc de un esquema concreto, de las relaciones entre ellas (herencia, composición, relación, etc.), y de las propiedades de cada una de estas entidades.
- 2.- Como consecuencia del punto anterior, conviene aproximarse al esquema de datos *.ifc desde el prisma de las tecnologías de la información, y tener unos conocimientos adecuados de Programación Orientada a Objetos.
- 3.- Conocimientos de programación en un lenguaje soportado por las librerías informáticas utilizadas, así como de un entorno de desarrollo. Se ha empleado Python (www.python.org) como lenguaje de programación (Matthes, 2021), con algunos módulos específicos de lectura y tratamiento de archivos *.xlsx, *.csv y *.xml. El entorno de programación empleado ha sido la interfaz IDLE proporcionada por Python.
- 4.- Conocimientos en el uso de la librería seleccionada para agilizar la gestión de las entidades IFC, que permite soslayar el problema complejo de tratar de escribir directamente las definiciones de las entidades

IFC necesarias para definir el problema. La librería IfcOpenShell utilizada cuenta con una amplia documentación y con un sólido soporte de la comunidad de desarrolladores y usuarios.

2.3. Descripción de la metodología

El procedimiento general de la metodología propuesta responde al siguiente algoritmo general:

1. Importación de las librerías IfcOpenShell y otras necesarias para la gestión de los archivos de entrada.
2. Lectura de los archivos del modelo analítico a representar.
3. Creación de las entidades básicas del archivo ifc: *IfcProject*, *IfcSite*, *IfcFacility*, etc.
4. Creación de un bucle sobre todos los elementos del modelo analítico, realizando las subrutinas siguientes:
 - a. Identificación del tipo de elemento. Generación de la geometría básica que lo representa.
 - b. Creación de tantas clases IFC auxiliares (puntos, direcciones, secciones transversales, etc.) como se necesarias, basadas en la interpretación de la geometría básica anterior.
 - c. Creación de las clases IFC finales correspondientes que representan formalmente los objetos a representar, en base a la geometría y clases auxiliares anteriores.
 - d. Cumplimentación de los atributos propios de la entidad IFC y asociación con los Conjuntos de Propiedades correspondientes, si los hubiera.
5. Escritura del archivo *.ifc

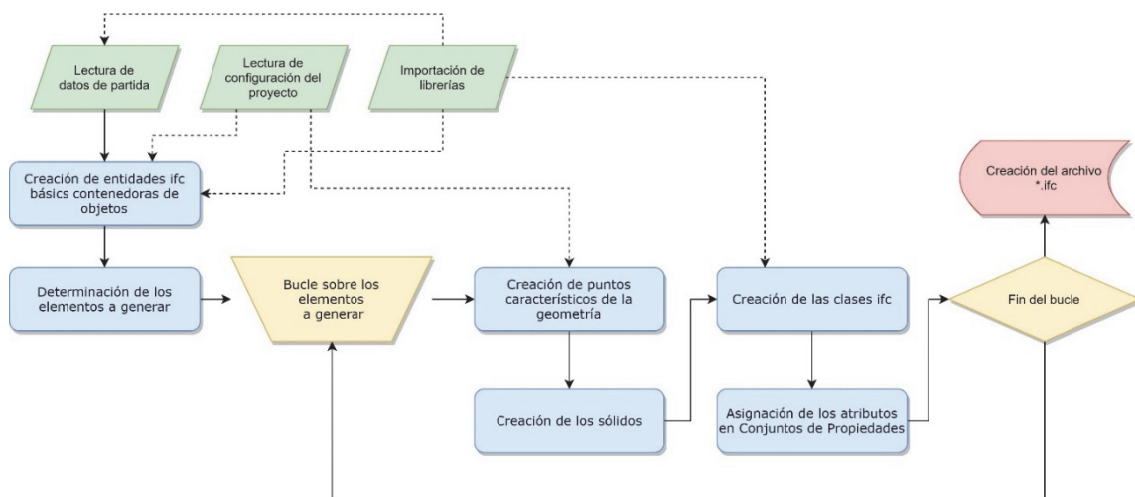


Fig. 1 Algoritmo general de generación de modelos *.ifc con IfcOpenShell. Fuente: Elaboración propia (2024)

2.4. Campo de aplicación y limitaciones

La metodología propuesta es de aplicación en los sectores de la construcción en los que se cumplan los siguientes requisitos:

- 1.- Los usuarios de los modelos no requieren en primera instancia de la utilización de modelos de información en formato nativo. La reutilización de los modelos generados directamente dentro de un software de modelado se consigue posteriormente mediante la importación del formato *.ifc de estos softwares.
- 2.- El número de objetos a modelar está determinado con anterioridad a la creación del modelo. El problema a resolver está resuelto con anterioridad a la creación de los modelos de una manera analítica, siendo los modelos de información una extensión de los modelos matemáticos o de las bases de datos que contienen a los sólidos a modelar.

3.- La información geométrica y no geométrica puede ser parametrizada en torno a un número finito de variables sobre las que el diseñador tiene control.

4.- Los modelos resultantes están sometidos a procesos industriales, esto es, resultan ser variaciones de un prototipo previamente testado del que se generan copias o variaciones del mismo de acuerdo a los parámetros antes indicados.

3. Resultados

A continuación, se muestra la utilización de la metodología descrita en tres casos. El objetivo es presentar las posibilidades de la metodología en tres disciplinas distintas, mostrando la potencia y flexibilidad de su uso.

3.1. Creación de modelos de ejes

El objetivo de este desarrollo es crear modelos de información que representen tanto a los ejes de trazado de obras lineales como a elementos anotativos que ayuden a la comprensión de su diseño. Estos elementos anotativos se componen tanto de localización los puntos singulares (puntos kilométricos, puntos de tangencia de las sub-alineaciones, etc.), como anotaciones con información significativa de los ejes: parámetros de las curvas, clotoides o parábolas utilizadas.

La representación de estos elementos anotativos resulta necesaria en este tipo de modelos para poder visualizar e interpretar correctamente el eje. En ausencia de estos elementos el eje resulta ser un cilindro de radio minúsculo y una gran longitud, difícil de localizar, seleccionar o consultar sus propiedades con los visores de archivos *.ifc actuales.

Si bien la versión 4.3 del esquema *.ifc incluye entidades del tipo *IfcAlignment*, las versiones actuales de los principales visores de archivos *.ifc no soportan la consulta o visualización de las propiedades de dichas entidades o la localización de las subentidades que forman las alineaciones principales. La visualización de estos elementos resulta de gran ayuda para la comprensión y justificación del diseño de las obras lineales. El caso concreto presentado forma parte de un caso real en el que la administración gestora de la obra lineal diseñada requiere la utilización de la versión 2x3 del esquema *.ifc y la presentación de los ejes en la manera aquí mostrada.

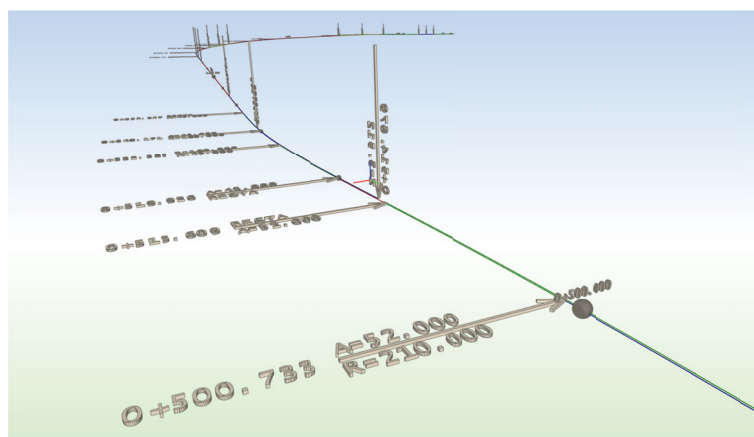


Fig. 2 Ejemplo de modelo de ejes de trazado con definición de parámetros. Fuente: Elaboración propia (2024)

Para cada eje se generan dos cilindros, uno de ellos con la información relativa al alzado del eje, localizado en las coordenadas globales que se especifica en el eje de diseño, y un segundo eje localizado 5 cm más abajo, con la información relativa a la alineación en planta. De esta manera se consigue desacoplar el comportamiento de ambas entidades y se simplifica la creación e interpretación de las mismas. Este criterio debe ser señalado adecuadamente en el Plan de Ejecución BIM del proyecto para conocimientos de todos los agentes y evitar errores en la consulta de las coordenadas de los ejes.

Cada uno de estos ejes se compone a su vez de un conjunto de elementos propios (rectas y parábolas para los alzados, rectas, clotoides y curvas para las planas) independientes. A cada uno de estos elementos se les asocia la información no geométrica de interés, de acuerdo con su propia naturaleza. En cuanto a la geometría de los ejes, se procede a convertir las entidades curvas en polilíneas, con una separación entre vértices adecuada para representar correctamente el eje sin que se produzcan desviaciones apreciables de su geometría respecto de las curvas teóricas.

Como datos de partida se requieren los ejes de trazado analíticos, en formato abierto *.landxml.

```
<?xml version="1.0" standalone="yes" ?>
<LandXML>
  <Units>
    <Metric areaUnit="squareMeter" linearUnit="meter" volumeUnit="cubicMeter"/>
  </Units>
  <Project name="LÍNEA 10 METRO DE VALENCIA" />
  <Application name="Trazado3" version="v.2.017 Beta H" manufacturer="TYPESA" timeStamp="2024-02-19T09:35:50">
    <Author createdBy="MBB" />
  </Application>
  <Alignments name="Ejes">
    <Alignment name="SU9113-VDoble-EjeVizq-MDD03" length="275.307985" staStart="-41.742000">
      <CoordGeom name="VÍA IZQUIERDA">
        <Line dir="28.996182" staStart="-41.742000" length="12.036902">
          <Start>4371628.017000 725603.859000</Start>
          <End>4371638.826787 725609.153856</End>
        </Line>
        <Spiral radiusEnd="80" radiusStart="INF" rot="ccw" spiType="clothoid" constant="20.000000"
          dirStart="28.996182" dirEnd="27.006745" staStart="-29.705098" length="5.000000">
          <Start>4371638.826787 725609.153856</Start>
          <PI>4371641.820453 725610.620216</PI>
          <End>4371643.339528 725611.306298</End>
        </Spiral>
        ...
      </CoordGeom>
      <Profile name="VÍA IZQUIERDA" staStart="-41.742000">
        <ProfAlign name="Alzado 1" desc="Alzado 1 VÍA IZQUIERDA">
          <PVI>-41.742000 -0.090000</PVI>
          <ParaCurve length="60.000000">-4.999000 -0.090000</ParaCurve>
          <ParaCurve length="56.000000">56.301571 3.588034</ParaCurve>
          <PVI>233.565985 4.297092</PVI>
        </ProfAlign>
      </Profile>
    </Alignment>
  </Alignments>
</LandXML>
```

Fig. 3 Fragmento de definición de eje de trazado en formato *.landxml. Fuente: Elaboración propia (2024)

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Lectura de los archivos *.landxml con los ejes.
- Procesado de estos archivos con la biblioteca *xml.etree* de Python. Determinación de las entidades recta, curva, clotoide y parábola, así como de los parámetros que las identifican.
- Creación de las polilíneas representativas de los ejes. Determinación de los puntos que definen la posición de las anotaciones.
- Extrusión de los sólidos de los modelos. Creación de las extrusiones de los ejes. Creación de las flechas y letras como extrusión de sus correspondientes geometrías bidimensionales. Los elementos son creados como instancias de *IfcAlignment's*
- Asignación de la información no geométrica apropiada a cada una de las entidades creadas a través de conjuntos de propiedades. Coloreado de las alineaciones en función de su tipología para facilitar la identificación de los mismos.
- Escritura del archivo en formato *.ifc.

Es previsible que este procedimiento quede obsoleto en el futuro, cuando los visores de archivos *.ifc puedan operar más eficientemente con ejes de trazado.

3.2. Creación de modelos de columnas de sondeos

En la actualidad, la utilización de la metodología BIM en la disciplina de geotecnia se encuentran en un estado incipiente (Algarín, 2020, Martínez, 2017). Existe software capaz de interpretar la información proveniente de sondeos, catas y otras técnicas de investigación del terreno, y de generar sólidos que representan los diversos estratos constituyentes del terreno objeto de modelado, si bien la utilización de

este software no está ampliamente extendida y su utilización tiene sentido únicamente allí donde se dispone de una gran cantidad de información geotécnica, siendo esta, además, de un gran valor añadido (minería, perforación de túneles, etc.). En la mayoría de las obras de ingeniería y edificación suele ser suficiente la lectura directa de las investigaciones realizadas, así como la consideración del terreno de cimentación como una sucesión de estratos sub horizontales.

Una primera aproximación a la creación de modelos geométricos de información para la disciplina de geotecnia, aplicable a obras ordinarias, consiste en la creación de modelos de sólidos, con información del resultado de la campaña de investigación realizada. Seleccionando una forma adecuada para estos sólidos (columnas cilíndricas para sondeos o penetraciones dinámicas, cubos para calicatas, etc.) y asignando a cada uno de ellos los parámetros identificativos de los estratos que definen, se consigue tener un contenedor de información que centraliza toda la información de la disciplina de geotecnia. Este modelo de geotecnia puede enriquecerse a su vez con información vinculada relativa a los partes y fotografías de las columnas estratigráficas, actas de ensayos de investigación, etc.

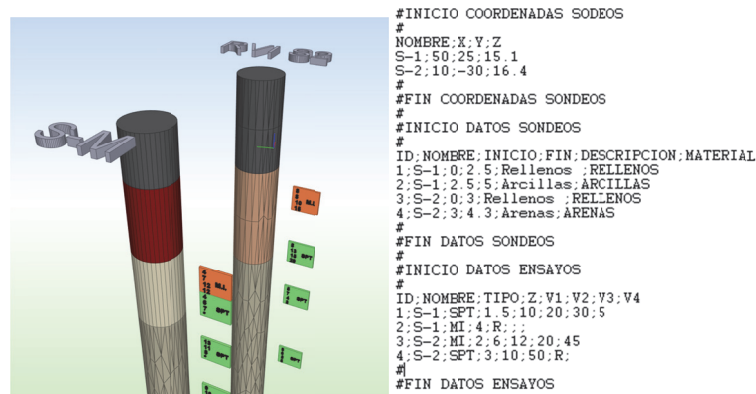


Fig. 4 Ejemplo de modelo de columnas de sondeo georreferenciadas con información de SPT y MI; Ejemplo de datos de entrada.
Fuente: Elaboración propia (2024)

La creación de estos modelos de información puede automatizarse con la metodología aquí presentada. La información de partida para la creación de estos modelos es el conjunto de investigaciones geotécnicas realizadas, estandarizadas de acuerdo a un formato consensuado y recopilado en uno o varios archivos informáticos. Para este ejemplo se parte de una hoja de cálculo en la que se aglutinan los sondeos realizados, con información de la posición, tipología de estratos, techo y muro de estos, y valores de golpes de ensayos SPT (Standard Penetration Test) y de MI (Muestras Inalteradas) a las profundidades correspondientes.

El procedimiento seguido para la creación de estos modelos de geotecnia es el siguiente:

- Lectura de las hojas de cálculo en formato *.csv donde se encuentra recopilada la información geotécnica
- Determinación de la geometría básica de los sólidos: coordenadas X, Y Z de los techos y muros de los estratos, así como de los textos representativos de la información de los ensayos de identificación.
- Extrusión de los sólidos representativos de los sondeos utilizando la clase *IfcGeotechnicalStratum* y de las anotaciones mediante la clase *IfcBuildingElementProxy*.
- Asignación de la información no geométrica y vinculada a los sólidos generados. Coloreado de los elementos en función del tipo de terreno al que representan.
- Escritura del archivo en formato *.ifc.

3.3. Creación de modelos de cimentaciones de aerogeneradores

Las cimentaciones de aerogeneradores son elementos estructurales, habitualmente troncocónicos, que reciben la acción de los postes de los aerogeneradores y las transmiten al terreno de cimentación. Se trata

de piezas muy fuertemente armadas, con disposición de armado en dirección radial y circunferencial, empleando a grupos de armaduras con formas definidas en función de su localización y función. Es frecuente la utilización de diámetros Ø32 y la utilización de varias capas de armadura (Dayong, 2019).

La creación de modelos de información de estos elementos, en los que se incluya el modelado de las armaduras, proporciona un gran valor añadido, pues permite comprobar la posibilidad de colocación de todas las familias de armado diseñadas, previamente a la construcción de las cimentaciones.

Estos tipos de armaduras pueden generarse con el procedimiento aquí descrito gracias a la parametrización de su definición (tipología de armadura, vértices de doblado de la armadura, diámetro, radio de doblado, número de armaduras y ángulo inicial de colocación). La definición de todas las armaduras creadas en un formato acordado se realiza en la misma hoja de cálculo utilizada para la comprobación de los distintos Estados Límite Últimos y de Servicio requeridos por la normativa de diseño de cimentaciones de aerogeneradores.

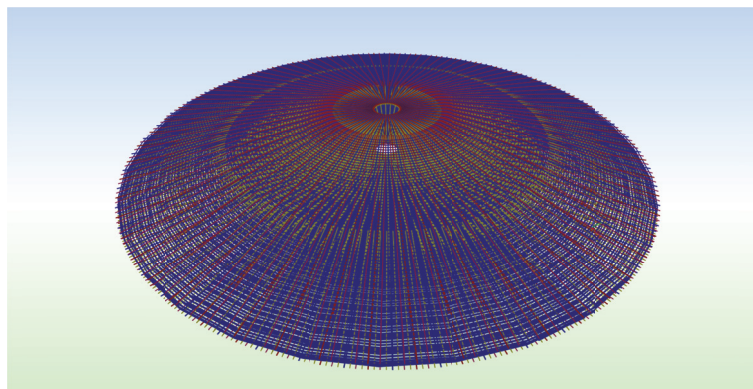


Fig. 5 Ejemplo de modelo de armaduras para cimentación de aerogeneradores. Fuente: Elaboración propia (2024)

El procedimiento seguido para la creación de estos modelos de barras es el siguiente:

- Lectura de las hojas de cálculo donde se encuentra recopilada la información geométrica de las barras a colocar.
- Determinación de la geometría básica de las barras, creación de los radios de doblado y extrusión de las barras. Se utilizan procedimientos de generación distintos en función de que se trata de familias de barras radiales o circunferenciales.
- Extrusión de los sólidos representativos de las barras y asignación de los mismos a la clase *IfcReinforcingElement*
- Asignación de la información no geométrica de la barra (diámetro, familia, resistencia del acero, etc.)
- Escritura del archivo en formato *.ifc.

3.4. Procedimientos comunes

La librería IfcOpenShell soporta las clases *IfcProject*, *IfcSite*, *IfcBuilding*, *IfcFacility*, etc., como parte de su esquema, por lo que el tratamiento de la información no geométrica relativa a estos contenedores de elementos puede realizarse de manera similar a la de los sólidos.

3.5. Verificación de la usabilidad de los modelos

Se han realizado pruebas de verificación de que los modelos generados mediante la metodología propuesta cumplen con el estándar IFC de buildingSmart. Para ello se ha procedido a abrir los modelos generados mediante visores de archivos ifc. Los modelos generados han sido abiertos sin problemas en los principales visores BIM del mercado (BIM Vision, BIM Collab Zoom, Navisworks Freedom, Open BIM Viewer y Solibri Anywhere). En todos los casos el árbol de jerarquía de los elementos mostrado respondía al esquema

utilizado para su creación, la geometría modelada se reproducía correctamente y la información no geométrica estaba correctamente asociada a los objetos. Tan sólo se aprecia pérdida de información al convertir las geometrías circulares por polilíneas equivalentes, si bien este problema es común a toda importación de archivos *.ifc.

Adicionalmente, se ha procedido a importar los modelos generados en los principales softwares nativos: REVIT, Civil3D, TEKLA, y Edificius. En todos los casos la importación se ha realizado adecuadamente, sin pérdida de información geométrica o no geométrica.

4. Conclusión

En la presente comunicación se muestra la posibilidad de generación de modelos de información BIM según el esquema de datos IFC mediante la utilización de herramientas informáticas de diseño de software, utilizando el lenguaje de programación Python y la librería IfcOpenShell.

La metodología consiste en la lectura de un modelo analítico que define una geometría y su información no geométrica asociada, el tratamiento de este modelo analítico, la creación de las diferentes entidades del esquema *.ifc que las representan y la escritura de archivo en formato *.ifc que las contienen.

4.1. Resultados obtenidos y limitaciones observadas

Se muestra la aplicación exitosa de la metodología a tres casos de utilización de diferente naturaleza: generación de ejes de trazado y anotaciones auxiliares, tratamiento de información geotécnica y creación de armaduras de refuerzo de una cimentación troncocónica.

La metodología propuesta resulta ser efectiva en aquellos casos en los que se deban generar variaciones de geometría de problema determinado, resuelto con anterioridad de manera analítica, y representado por un conjunto controlado de parámetros. La metodología permite la gestión tanto de información geométrica como no geométrica, así como la posterior integración de los modelos en otros softwares de modelado sin pérdida de información.

No se han observado limitaciones técnicas en el uso de la metodología. La principal restricción a su uso se encuentra en el conocimiento previo de los principios de programación y de la estructura organizativa del esquema IFC.

4.2. Futuras líneas de investigación

Se proponen como futuras líneas de investigación:

- 1.- La aplicación de la metodología propuesta en otros ámbitos de la industria de la construcción (detallado de piezas de fabricación, generación de catálogos de piezas de hormigón prefabricado, construcción en madera, etc.)
- 2.- Utilización de las herramientas para mejorar el intercambio de información entre modelos de información y modelos analíticos de cálculo (cálculo estructural, determinación de cargas térmicas, etc.) mediante la generación de las entidades *.ifc específicas de estas disciplinas capaces de ser reconocidas por los principales softwares de diseño.
- 3.- Creación de algoritmos similares para la creación, lectura y verificación de los requerimientos exigidos a las infraestructuras mediante el formato estandarizado IDS.
- 4.- Estudio de las capacidades de otras librerías de gestión (xbim (<https://xbim.net>), IFC++ (<https://ifcquery.com>), etc.)

Referencias

- 1.- AENOR-UNE (2018). *Intercambio de datos en la industria de construcción y en la gestión de inmuebles mediante IFC (Industry Foundation Classes). Parte 1: Esquema de datos (ISO 16739-1:2018) (Ratificada por la Asociación Española de Normalización en abril de 2020.)*. UNE-EN ISO 16739-1. Madrid: AENOR.
- 2.- ALGARÍN GONZÁLEZ, A. (2020). "Propuesta de modelo BIM geotécnico para obras lineales". (Trabajo Fin de Máster Inédito). Universidad de Sevilla, Sevilla. disponible en <https://hdl.handle.net/11441/108945> [Consulta: 19 de marzo de 2024].
- 3.- BIM Collaboration Format. buildingSmart International. *BIM Collaboration Format (BCF) – An Introduction*. <<https://technical.buildingsmart.org/standards/bcf/>> [Consulta: 17 de abril de 2024].
- 4.- BlenderBIM. *An add-on for beautiful, detailed, and data-rich OpenBIM with Blender*. <<https://blenderbim.org/>> [Consulta: 17 de abril de 2024]
- 5.- DAYONG, L., SHANSHAN, L y YUKUN, Z. (2019). "Cone-shaped hollow flexible reinforced concrete foundation (CHFRF)–Innovative for mountain wind turbines." En *Soils and Foundations*, vol 59.5, 1172-1181
- 6.- DOCUMENTACIÓN IFCOPENSHELL. *IfcOpenShell 0.7.0 documentation* <<https://blenderbim.org/docs-python/>> [Consulta: 24 de febrero de 2024]
- 7.- EI-DIRABY, T., KRIJNEN, T., & PAPAGELIS, M. (2017). "BIM-based collaborative design and socio-technical analytics of green buildings". En *Automation in Construction*, vol 82, 59-74
- 8.- Information Delivery Specification. buildingSmart International. *Machine readable Information Delivery Specification* <<https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/>> [Consulta: 17 de abril de 2024]
- 9.- IFC++. *Open source IFC implementation for C++*. <https://ifcquery.com/> [Consulta: 17 de abril de 2024]
- 10.- IFCOPENSHELL. *The open source IFC toolkit and geometry engine* <<http://ifcopenhell.org/>> [Consulta: 24 de febrero de 2024]
- 11.- KRIJNEN, T. y BEETZ, J. (2017). "An IFC schema extension and binary serialization format to efficiently integrate point cloud data into building models". En *Advanced Engineering Informatics*, 33, 473-490.
- 12.- KRIJNEN, T., NOARDO, F., OHORI, K. A., LEDOUX, H., & STOTER, J. (2020). "Validation and inference of geometrical relationships in IFC". En *Proceedings of the 37th International Conference of CIB W* (Vol. 78, 98-111)
- 13.- HASELBERGER, M. (2023). "Realisierung von Fluchtwegsdaten im IFC-Format mithilfe von IfcOpenShell" Diploma Thesis, Technische Universität Wien. Disponible en <https://doi.org/10.34726/hss.2023.117407> [Consulta: 15 de abril 2024]
- 14.- MARTÍNEZ IBÁÑEZ, V, PELLICER, E. (2017). "Propuesta metodológica para la implementación de la información geotécnica en modelos BIM". En Congreso Internacional BIM / Encuentro de Usuarios BIM. Valencia. Editorial Universitat Politècnica de València
- 15.- MATTHES, E. (2021). *Curso intensivo de PYTHON (2021)*. Madrid: Anaya.
- 16.- MOULT, D y KRIJNEN, T. "Compliance checking on building models with the Gherkin language and Continuous Integration." En *EG-ICE 2020 Workshop on Intelligent Computing in Engineering*, Proceedings. 2020
- 17.- PÉREZ GARCÍA, A, MARTÍN DORTA, N. y ARANDA DOMINGO, J. A. (2023). "Automatización de procesos para generar modelos IFC. Aplicación en dos casos de estudio". Oliver Faubel, I (dir. Congr.), Fuentes Giner, B (dir. Congr.). En EUBIM 2023. Congreso internacional BIM/ 12º encuentro de usuarios BIM. Valencia. Disponible en <https://riunet.upv.es/handle/10251/193981> [Consulta: 17 de abril 2024]
- 18.- PYTHON.ORG. *Referencia del Lenguaje Python* <<https://docs.python.org/es/3/reference/>> [Consulta: 24 de febrero de 2024]

19.- SEUNGWOO, S et al. (2022). "Automated generation of a model view definition from an information delivery manual using idmXSD and buildingSMART data dictionary." En *Advanced Engineering Informatics* 54 pág 101731.

20.- xbim. *Xbim toolkit*. <https://docs.xbim.net/index.html> [Consulta: 17 de abril de 2024]

TRABAJO COLABORATIVO EN EL MÁSTER BIM DE LA UDC

Romero-Fernández, José^a; Garrido-Iglesias, André^b y Pérez-Ordoñez, Juan Luis^c

^aUniversidade da Coruña, Máster BIM - jose.romero.fernandez@udc.es, ^bUniversidade da Coruña, Máster BIM - andre.giglesias@udc.es, ^cUniversidade da Coruña, Departamento de Ingeniería Civil - jlperez@udc.es

Abstract

Working collaboratively in the development of a project is one of the principles of the BIM methodology. Like other skills, the ability to be able to work collaboratively must be trained. For this reason it is essential that students of a master's degree in BIM methodology acquire competencies for collaborative work. In this article, the characteristics of the Collaborative Work subject within the framework of the Master's Degree in BIM Continuing Education at the University of A Coruña are detailed. The student faces, for the first time in the master's degree, a collaborative task with the tools that he/she has used during his/her training. After passing the course, the student acquires skills in team organisation, task allocation and work distribution. Likewise, they must get used to monitoring the work writing reports where they will record the decisions, tasks allocations or decisions taken in the accomplishment of the task, resolving inconsistencies or inaccuracies in the basic documentation from which they start to carry out the task.

Keywords: collaboration, collaborative work, teamwork, BIM, Revit, ArchiCAD, teaching, experience, Slack.

Resumen

Trabajar de forma colaborativa en el desarrollo de un proyecto es uno de los principios de la metodología BIM. Al igual que otras habilidades, la habilidad de ser capaz a trabajar de forma colaborativa se debe entrenar. Por esto motivo es fundamental que los estudiantes de un máster sobre la metodología BIM adquieran competencias para el trabajo colaborativo. En este artículo, se detallan las características de la asignatura de Trabajo Colaborativo enmarcada dentro del Máster de Formación permanente en BIM de la Universidade da Coruña. El estudiante se enfrenta, por primera vez en el máster, a una tarea colaborativa con las herramientas que ha manejado durante su formación. Tras superar la asignatura el estudiante adquiere capacidades para la organización de equipo, asignación de tareas y reparto del trabajo. De igual modo debe acostumbrarse a hacer un seguimiento del trabajo mediante actas, donde plasmarán las decisiones, repartos o criterios tomados en el desempeño de la tarea, solventando incoherencias o inexactitudes de la documentación base de la que parten para la realización de la tarea.

Palabras clave: colaboración, trabajo colaborativo, trabajo en equipo, BIM, Revit, ArchiCAD, docencia, experiencia, Slack.

1. Introducción

Building Information Modeling (BIM) es fundamentalmente una metodología de trabajo colaborativa (Galindo, 2021) (González, 2015). Dado que la colaboración es una parte importante de la metodología, también lo es establecer un proceso docente adecuado para, no solo la adquisición de conocimiento por parte de los alumnos, sino también como una buena cimentación para el futuro trabajo práctico profesional.

Es por ello por lo que la mayoría de los Masters, que en la actualidad se ofertan, incluyen formación en esta habilidad ya sea de manera transversal a través de la incorporación de tareas en grupo a lo largo de la formación o a través de una o varias asignaturas en las que el foco principal es simular una casuística en la cual cada miembro del equipo actúa, en función de la actividad a realizar, con un rol determinado dentro de la elaboración de un proyecto.

1.1. La interoperabilidad y el trabajo colaborativo

1.1.1. La interoperabilidad

Según el Diccionario de la Real Academia Española, la interoperabilidad se define como (Real Academia Española, 2014):

1. *Gral.* Habilidad de dos o más sistemas o de sus componentes para utilizarse de forma conjunta e intercambiable.
2. *Adm.* Capacidad de los sistemas de información, y por ende de los procedimientos a los que estos dan soporte, de compartir datos y posibilitar el intercambio de información y conocimiento entre ellos.

Se puede deducir de ambas acepciones, que la interoperabilidad, dentro de la metodología BIM, implica el intercambio de información entre softwares distintos (sistemas de información) y que resulta en una herramienta indispensable para el trabajo entre herramientas diferentes.

Como es ampliamente reconocido, el formato de archivo más asentado como estándar de interoperabilidad es el estándar IFC (Biblus, 2024) (Vitorino, 2020). La utilización de este formato de archivo no implica necesariamente trabajar de forma colaborativa, ya que una misma persona puede trabajar en dos sistemas de información distintos a través del formato IFC.

1.1.2. El trabajo colaborativo

Existen estudios que afirman que en enseñanzas universitarias no existen herramientas que permitan la adquisición de competencias en cuanto al trabajo colaborativo, destacando la importancia que dicho tipo de trabajo tiene entre profesionales de proyectos de construcción. (Becerik-Gerber et al, 2012)

Posteriormente, se estudió la construcción del conocimiento cuando el profesor actúa como guía a los alumnos en el aprendizaje (Murzi, 2014), mientras éstos trabajan de forma colaborativa en equipos siendo los propios alumnos los que contribuyen al conocimiento a través de la experiencia.

Más adelante, se estudiaron diferentes conceptos predefinidos (Liu et al, 2017) realizando entrevistas a grupos de trabajo y como influyen en el éxito de los proyectos desarrollados con BIM, detectando una resistencia al cambio por parte de los participantes, así como una aparición clara de liderazgos desde el comienzo.

La concepción del trabajo colaborativo de la asignatura desarrollado en este artículo se basa en cómo se administra el trabajo en el ámbito profesional: la colaboración interna y la colaboración externa. (Stank et al, 2001)

La **colaboración interna** es la que se desarrolla dentro de un equipo de trabajo habitual, por ejemplo, en un estudio de arquitectura cuando varios trabajadores desarrollan un mismo proyecto. Esa colaboración interna sería la que realizarían los alumnos dentro de un mismo equipo de trabajo.

La **colaboración externa** es la que se desarrolla entre equipos de trabajo diferentes, por ejemplo, un estudio de arquitectura que subcontrata la estructura o instalaciones de un proyecto. Esa colaboración externa sería la que realizarían los alumnos con los miembros del otro equipo.

2. Trabajo colaborativo como asignatura en el Máster BIM de la UDC

En el caso de la formación ofertada por la Universidade da Coruña en el Máster de Formación permanente en BIM (Máster BIM, 2024) el núcleo en dónde los estudiantes adquieren la competencia colaborativa es la asignatura denominada “**CEBIM2.4 - Trabajo colaborativo**”. La asignatura forma parte del segundo módulo denominado “Interoperabilidad y colaboración entre disciplinas” y se imparte después de las asignaturas dedicadas al modelado arquitectónico, estructuras e instalaciones (en la tabla 1 se muestra la secuencialidad de la formación del máster). Al igual que las demás asignaturas la dedicación por crédito ECTS son 7 horas presenciales que se reparen en 6 sesiones de 5 horas a las que hay que sumar 77,4 horas de dedicación por parte del estudiante fuera del horario de docencia presencial. Durante este periodo conocerá la metodología de trabajo colaborativo en las plataformas de Revit y ArchiCAD y cómo desempeñar un método de trabajo colaborativo para la superación de la asignatura mediante el modelado de un edificio de viviendas.

Tabla 1. Plan de estudios Máster de formación permanente en BIM (2024)

MÓDULO/ASIGNATURA	ECTS
Módulo: CEBIM1: Modelado de la información arquitectónica	17
CEBIM1.1 - Introducción a la metodología BIM	0,7
CEBIM1.2 - BIM 3D: Modelado Básico	5,5
CEBIM1.3 - BIM 3D: Documentación del Modelo	5,8
CEBIM1.4 - BIM 3D: Modelado Avanzado	3,5
CEBIM1.5 - BIM 3D: Parametrización: Desarrollo de Familias y Programación de Objetos	1,5
Módulo: CEBIM2 - Interoperabilidad y colaboración entre disciplinas	13
CEBIM2.1 - Interoperabilidad – Intercambio de información	0,7
CEBIM2.2 - Diseño y cálculo de estructuras en edificación	3
CEBIM2.3 - Diseño y cálculo de instalaciones en edificación - MEP	4,3
CEBIM2.4 - Trabajo colaborativo	4,3
CEBIM2.5 - Aplicaciones BIM	0,7
Módulo: MBIM1 - Gestión en la edificación	9
MBIM1.1 - Gestión de Proyectos BIM. Plan de Ejecución BIM - BEP	1,5
MBIM1.2 - Estimación de costes - 5D	3
MBIM1.3 - Plan de obra - 4D	3,5
MBIM1.4 - Control de Calidad en Proyectos BIM	1
Módulo: MBIM2 - Análisis energético en edificación	3
MBIM2.1 - Análisis energético en edificación - BEM	3
Módulo: MBIM3 - Programación y Fabricación Digital	3
MBIM3.1 - Programación: Dynamo y Grasshopper	1,5
MBIM3.2 - Fabricación Digital	1,5
Módulo: MBIM4 - Gestión de la operación del edificio	3
MBIM4.1 - Técnicas de levantamiento (LIDAR, GIS)	1,6
MBIM4.2 - Patrimonio en BIM (HBIM)	0,7
MBIM4.3 - Mantenimiento del Edificio (FM)	0,7
TFM - Trabajo Fin de Máster	12

2.1. La organización de la asignatura

La asignatura se divide en 6 sesiones de 5 horas cada una. En dichas sesiones se enseñan conceptos básicos del trabajo colaborativo en ArchiCAD y en Revit. La práctica que deben realizar los estudiantes consiste en modelado de varios edificios, organizándolos en varios equipos. Entre los distintos aspectos que deben modelar, se encuentran los siguientes:

- Arquitectura (en Revit y ArchiCAD): elementos de estructura simples, suelos de acabado y falso techo. Carpinterías similares a las definidas en el proyecto
- Estructura del otro equipo (el equipo debe elegir Revit o ArchiCAD y vincularlo por IFC a la otra plataforma)
- Instalaciones del otro equipo (el equipo debe elegir Revit o ArchiCAD y vincularlo por IFC a la otra plataforma):
- Abastecimiento (solo red general), saneamiento (solo red general), ventilación (solo baños hasta cubierta de una vivienda), e iluminación (solo puntos de luz de una vivienda de la planta tipo) y solo hacerlo en una plataforma y se debe vincular a la otra.

Esta distribución está ideada para que los estudiantes se familiaricen con los dos tipos de colaboración mencionados en el punto anterior: la colaboración interna y la colaboración externa.

Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4	Sesión 5	Sesión 6
<ul style="list-style-type: none"> • Configuración de servidor de ArchiCAD y de Revit • Flujo de trabajo básico en el trabajo colaborativo de ArchiCAD y de Revit 	<ul style="list-style-type: none"> • Familiarización con el edificio • Organización de los equipos, tareas y modelado. • ArchiCAD 	<ul style="list-style-type: none"> • ArchiCAD 	<ul style="list-style-type: none"> • ArchiCAD 	<ul style="list-style-type: none"> • Revit 	<ul style="list-style-type: none"> • Revit

Fig. 1 Distribución de la asignatura. Fuente: propia

En la primera sesión, se explica cómo configurar los servidores de los dos programas, así como las funcionalidades básicas de los roles y permisos (ArchiCAD) y de los subproyectos (Revit). En la segunda parte los alumnos, de forma práctica en ArchiCAD, crean los perfiles de usuario, roles y un proyecto al que acceden para familiarizarse de forma práctica con los conceptos de reservar, liberar, enviar y recibir cambios, la mensajería y la solicitud de permisos. En Revit hacen tareas similares con la creación de subproyectos, la solicitud de permisos de edición, sincronizar, recibir lo más reciente, liberar elementos y la gestión del archivo local y modelo central.

En la segunda sesión los equipos se reúnen y hacen un visionado de los planos del edificio facilitado. En ese estudio, los equipos suelen detenerse y enumerar las posibles dificultades que se pueden encontrar, así como discutir los puntos fuertes y débiles de cada uno de los miembros del equipo. Además, se introduce a los alumnos la herramienta Slack para las comunicaciones. Dentro de Slack, se crean tantos canales como equipos en total, así como un canal adicional general para la organización entre diferentes equipos. Dentro de la sesión de 5 horas, los equipos suelen dedicar 2 horas a estas tareas, empezando posteriormente con el modelado en ArchiCAD.

En las siguientes sesiones, los equipos modelan los edificios de forma autónoma y sin intervención de los profesores más allá de las dudas que puedan plantear los alumnos. La toma de decisiones sobre aspectos no definidos en los planos facilitados se permite que sean cada uno de los equipos los que decidan como resolverlas. Dichas decisiones se reflejarán en un acta de reunión.

El acta de reunión es un documento en el que se pide a los equipos que dejen por escrito las reuniones que realizan, los temas que tratan y cómo reparten el trabajo y dividen las tareas. Se les pide al menos 3 actas de reunión para ArchiCAD y otras 3 para Revit, así como un mínimo de 1 acta de coordinación entre diferentes equipos.

2.2. Los equipos y el material de apoyo

2.2.1. Los equipos

La creación de equipos es clave a la hora de obtener grupos equilibrados. Es fundamental valorar las aptitudes de cada estudiante, conocer sus puntos clave y la forma en la que afronta el trabajo en el resto de las asignaturas. La elección de una adecuada combinación permite que los estudiantes más aventajados, apoyen y guíen a los que tienen más dificultades, consiguiendo, de esta manera que el equipo progrese en la consecución de la tarea.

Como criterio principal, se intenta equilibrar por titulación con la que han accedido al título, siendo principalmente Arquitectos, Arquitectos Técnicos e Ingenieros de caminos. En ocasiones ingenieros de diseño industrial, ingenieros topógrafos e incluso de administración y finanzas. El segundo criterio es el rendimiento obtenido en las prácticas de las asignaturas cursadas hasta esa fecha. El tercer criterio son las sinergias aparentes entre alumnos, buscando no romper totalmente los vínculos entre compañeros.

Con estos tres criterios se elabora un listado de grupos, en los que se reparte por titulaciones dejando al menos un arquitecto, arquitecto técnico e ingeniero por equipo. Cuando es el caso de más de una de estas profesiones, se equilibra el equipo mediante las calificaciones y por último se intenta mantener los vínculos personales al menos cada dos de los miembros de los equipos.

2.2.2. El Material de apoyo

Se compone de las distintas herramientas y medios utilizados. Por un lado, se utiliza Microsoft Teams, aparte de la docencia de todas las asignaturas, para las comunicaciones entre alumnos fuera del horario de clase en esta asignatura. Como es un medio utilizado desde el principio del curso, los alumnos ya están familiarizados con su uso.

Otras de las herramientas, como ya se mencionó anteriormente es Slack. Slack es una herramienta de mensajería gratuita (hasta cierto límite) diseñada para su uso en entornos de trabajo (Steven, 2021). Mientras Teams se utiliza para las comunicaciones en reuniones puntuales, Slack se utiliza en la asignatura para una comunicación más fluida y directa entre los alumnos, especialmente cuando están trabajando en los proyectos fuera del horario lectivo. A través de Slack, se solicita, por parte de los profesores, el estado actual del proyecto mediante exportación en formato IFC a modo de entrega parcial y, al mismo tiempo, se entrega un IFC para que la vinculen en su proyecto, simulando más colaboradores. Por ejemplo, se proporciona un IFC de la instalación eléctrica de una de las viviendas calculada en Tekton3D para que la incorporen al proyecto. Las comunicaciones de trabajo se distribuyen en 2 canales tipos de canal (Trabajo colaborativo, equipo_XX) siendo el primero general para toda la asignatura y el segundo para la organización del equipo en cuestión.

Por último, los proyectos que se les facilitan a los alumnos son proyectos publicados en la Plataforma de contratos del sector público o en la Plataforma de contratos de Galicia. La ventaja de esta elección es que, al ser proyectos reales los alumnos pueden acceder a toda la información. Se elijen proyectos de edificios de viviendas, ya que los alumnos ajenos al sector de la construcción pueden estar más familiarizados con los elementos necesarios en una vivienda.

2.3. El desarrollo de los ejercicios

La asignatura se divide en tres ejercicios prácticos, que permiten conocer y evaluar el desarrollo del trabajo colaborativo multiplataforma y la gestión de un equipo de trabajo colaborativo. En la figura 2 se muestra de forma esquemática los 3 ejercicios.

El primer ejercicio busca que el alumno adquiera las competencias de gestión del servidor de Autodesk y de Graphisoft. En el BIMCloud deberá crear usuarios, roles, carpetas y compartir un proyecto Teamwork al que restringirá el acceso y el rol que asigna a cada usuario/miembro del equipo. En este proceso debe seguir la guía de criterios definida en clase para la creación de estas funciones.

En el segundo y tercer ejercicio se creará en colaborativo el proyecto de viviendas elegido. Se plantea entonces el proceso colaborativo de los equipos de acuerdo con los apartados 2 y 3 de la figura 2.

Cabe resaltar que el equipo debe modelar la arquitectura en las dos herramientas y elegir entre modelar la estructura y las instalaciones en Revit o ArchiCAD intercambiando el modelo en la otra plataforma mediante un vínculo IFC. Cada equipo deberá elegir que camino seguir y dejarlo plasmado en un acta de seguimiento del ejercicio. El equipo debe además de modelar la información realizar una serie de tareas comunes a los dos ejercicios. Estas tareas son:

TAREA 1 Elaboración de las actas

de Inicio, Seguimiento y Cierre del trabajo, en las que plasman las decisiones tomadas debido a incongruencias del proyecto base, las incidencias de equipo y el progreso de avance hasta la fecha del acta.

TAREA 2 Elaboración de reparto de tareas

La elaboración de una hoja Excel en la que figura nombre de tarea, miembro asignado, fecha de inicio previsto y fecha de fin, dando libertad para la configuración de parámetros o ampliación de estos a los alumnos.

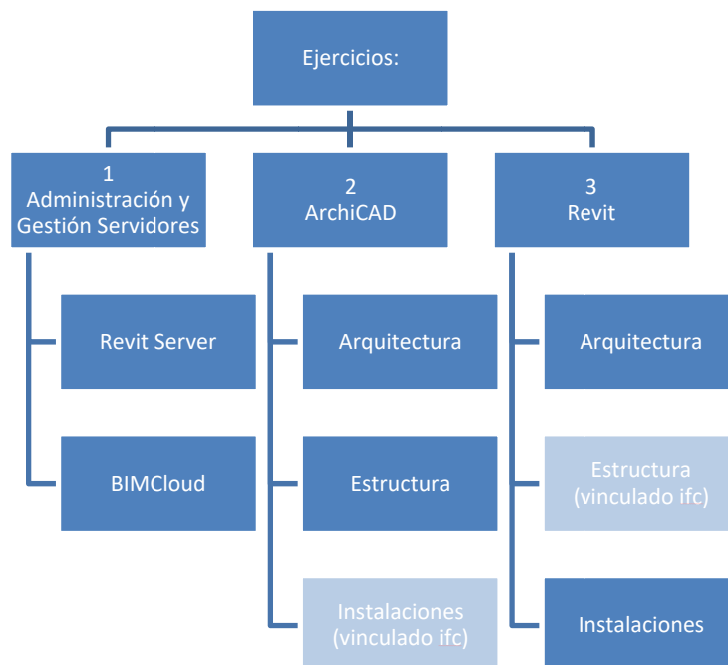


Fig. 2 Detalle de los ejercicios. Fuente: propia

Esta información se encuentra en la carpeta de equipo creada en OneDrive para el material de la asignatura, lo que permite la colaboración en la redacción de estos documentos.

2.4. Desarrollo de la docencia presencial

En la primera sesión el alumno debe realizar el ejercicio 1 en la segunda mitad de la clase. Un tiempo en el que se deja al alumno que se conecte y siga los pasos descritos.

En la segunda sesión el alumno conoce el edificio del ejercicio 2 y 3. Los equipos se reúnen y comienzan a conocer las características constructivas del edificio propuesto y comienzan a repartirse tareas, los profesores asesoran sobre las posibilidades que tiene el equipo para desarrollar el trabajo y las limitaciones o problemas que se pueden encontrar en el desarrollo de la práctica y cómo es el proceso de toma de decisiones, siempre acompañado de la documentación de dichas decisiones en un acta. Esta sesión es la más importante ya que el equipo se enfrenta al reto de repartir el trabajo y organizar qué se debe hacer primero o qué es necesario realizar antes y después.

La tercera y cuarta sesión los equipos trabajan en ArchiCAD, planteando dudas sobre las herramientas y mejorando la destreza de modelado y adquiriendo las rutinas de reservar, liberar, asignar, revisar, enviar cambios, recibir cambios y las diferentes funciones de permisos dentro de la aplicación para el desempeño del trabajo.

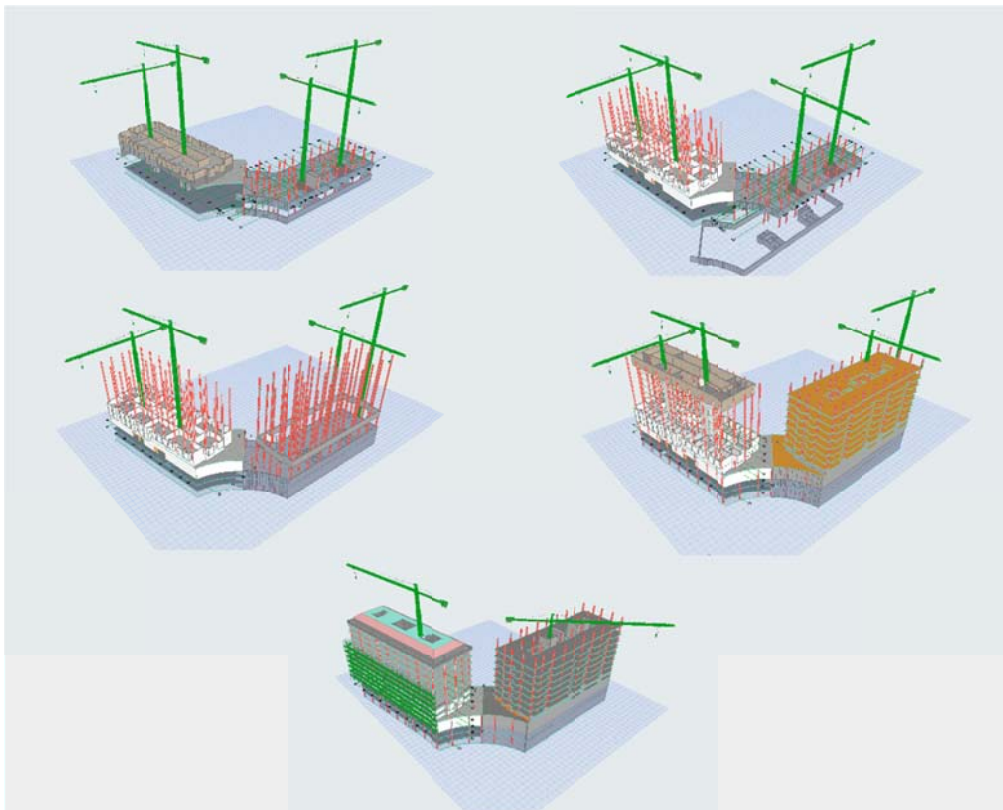


Fig. 3 Secuencia del progreso de trabajo del ejercicio 2. Fuente: propia

La quinta y sexta sesión los equipos trabajan en Revit y al igual que en las anteriores sesiones adquieren las rutinas colaborativas de sincronizar, volver a cargar lo más reciente, liberar todo y los subproyectos.

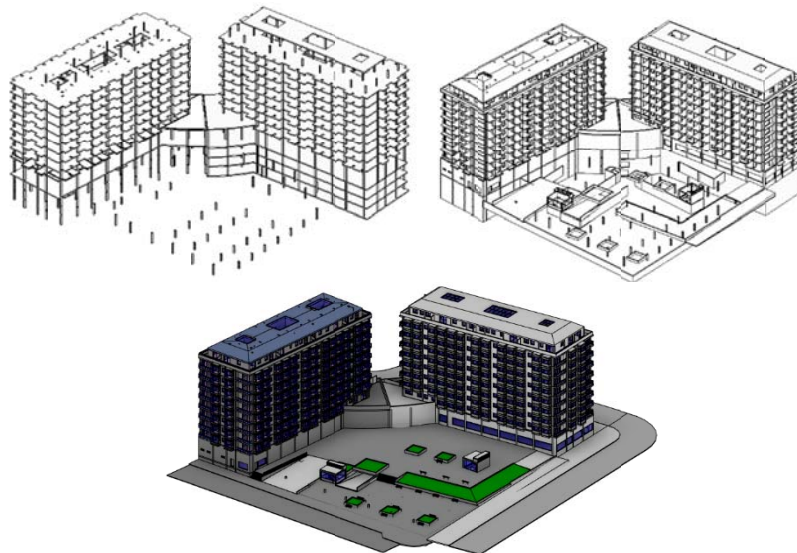


Fig. 4 Secuencia del progreso de trabajo del ejercicio 3. Fuente: propia

2.5. Documentación requerida en la entregar

El proceso de entrega se realiza digitalmente, teniendo que dejar una copia de toda la información que desean entregar en el campus virtual y en la carpeta de OneDrive. El día de la entrega se bloquea el acceso a los servidores a la hora prevista y el equipo deberá entregar la siguiente documentación:

- PLN con el modelo de Arquitectura y Estructura o Instalaciones
- RVT con el modelo de Arquitectura y Estructura o Instalaciones
- IFC de Estructuras
- IFC de Instalaciones
- PDF con la documentación gráfica del proyecto
- PDF con las actas y repartos de tarea

2.6. Evaluación

La evaluación del trabajo realizado por los estudiantes se reparte entre los tres ejercicios según la ponderación mostrada en la tabla 2. Con el objetivo de valorar el trabajo de cada miembro del equipo se asigna el 40% de la nota al trabajo individual, quedando el 60% para el trabajo en equipo.

Tabla 2. Ponderación de los ejercicios en la calificación final de la asignatura

Ejercicio	Evaluación Individual	Evaluación en equipo
1 Administración y Gestión Servidores	10%	
2 Modelado en ArchiCAD	15%	30%
3 Modelado en Revit	15%	30%
Total:	40%	60%

Los criterios que debe cumplir los ejercicios 2 y 3 son los siguientes:

1. Modelo Arquitectura, Estructura, Instalaciones generales y Mobiliario planta tipo

Se tendrá en cuenta las uniones, colisiones y unificación de ID's

Observaciones:

- Arquitectura (en Revit y ArchiCAD): elementos de estructura simples, suelos de acabado y falso techo. Carpinterías similares a las definidas en el proyecto.

- Estructura del otro equipo (Revit o ArchiCAD y vincularlo por IFC a la otra plataforma)
 - Instalaciones del otro equipo (Revit o ArchiCAD y vincularlo por IFC a la otra plataforma): Abastecimiento (solo general), saneamiento (solo general), ventilación (solo baños hasta cubierta de una vivienda), e iluminación (solo puntos de luz de una vivienda de la planta tipo) y solo hacerlo en una plataforma y debe vincular a la otra.
2. Planos
- Deberá definirse un plano de urbanización, distribución, alzados, cotas, NHV, secciones, PCI, Fontanería y Saneamiento, Estructura y Carpinterías.
3. Vínculos (archivos, según plataforma elegida)
- Archivo de vínculo de estructuras
 - Archivo de vínculo de instalaciones
 - IFC
4. Coordinación (registro servidor + teams + slack)
- Mensajes en el servidor
 - Actividad de usuario en el servidor (enviar y recibir, etc)
 - Asignación de roles
 - Reparto de tareas
 - Actas de reuniones

Para obtener la calificación del trabajo en equipo se considera a partes iguales cada uno de los 4 apartados descritos (Modelado, Planos, Vínculos y Coordinación). El trabajo individual se calcula en función del número de datos enviados y conexiones realizadas ponderadas por cada equipo. Además, se tiene en cuenta la dificultad de las tareas desempeñadas. Un aspecto que se va evaluando durante el transcurso de las sesiones y se constata en la entrega de las actas y repartos de tarea.

Con el objetivo de clarificar cómo se calcula la nota final de cada alumno en la asignatura se muestra la ecuación empleada para su cómputo:

$$Nota(alumno) = AD * 0,1 + TArchiCAD * 0,3 + TIndArchiCAD * 0,15 + TRevit * 0,3 + TIndArchiCAD * 0,15$$

donde:

- AD = Evaluación de las tareas realizadas por el alumno en la gestión y administración de los servidores.
- $TArchiCAD$ = Evaluación del entregable realizado por el equipo empleando la plataforma de ArchiCAD según los criterios mostrados.
- $TIndArchiCAD$ = Evaluación del trabajo realizado por el alumno en el equipo. Se calcula mediante el promedio del % del número total de operaciones de liberación, reserva y desbloqueo realizadas por el alumno en la plataforma de ArchiCAD frente al equipo y el % del tamaño total enviado por el alumno frente al equipo al que se suma un factor de corrección entre 0 y 0.3 en función de los roles que haya desempeñado el alumno en el equipo.
- $TRevit$ = Evaluación del entregable realizado por el equipo empleando la plataforma de Revit según los criterios mostrados.
- $TIndRevit$ = Evaluación del trabajo realizado por el alumno en el equipo. Se calcula mediante el promedio del % del número total de envíos realizados por el alumno frente al equipo y el % del tamaño total enviado por el alumno en la plataforma de Revit frente al equipo al que se suma un factor de corrección entre 0 y 0.3 en función de los roles que haya desempeñado el alumno en el equipo.

3. Conclusiones

Tras la experiencia llevada a cabo durante las diez ediciones del título no es significativa la distinta dedicación presencial de las sesiones a una plataforma o la otra debido a que los alumnos, al final de la

sesión 2, empiezan a modelar con una de las dos herramientas. El desequilibrio de horas de dedicación se compensa porque cuando se enfrentan a la segunda plataforma ya tiene asimilados ciertos aspectos de organización del modelado del edificio, identificados y resueltos los problemas que se encuentran o las posibles indefiniciones en los planos, etc. Se puede afirmar que, sin esas horas extra, no existiría una paridad horaria entre las dos plataformas y que la primera plataforma que se escoja partiría con desventaja.

En cuanto al trabajo colaborativo, los alumnos manifiestan que tienen una mayor satisfacción, fluidez, agilidad en ArchiCAD y al acabar la asignatura reflexionan el por qué les parece natural que, en Revit, se tienda a microfragmentar los proyectos en archivos más divididos según las disciplinas.

Existe un consenso generalizado entre los alumnos que los subproyectos es la única herramienta que proporciona Revit para organizar el trabajo colaborativo cuando dos personas o más están trabajando en un mismo archivo. Vuelve a existir un consenso al mencionar que cada equipo de trabajo distinto en un mismo proyecto debería organizar su forma de trabajar a través de subproyectos propios y que imponer una serie de subproyectos podría ocasionar: pérdidas de sinergia en la forma de trabajar de un equipo de trabajo, torpeza, tendencia a entrar en bucles de permisos de edición de elementos, entre otros.

También cuestionan que se utilicen como forma para poder controlar rápidamente la visibilidad de los subproyectos, y por qué no se utilizan las configuraciones de visibilidad/gráficos, filtros y demás herramientas que dispone Revit para controlar la visibilidad de elementos y que, además, dichas configuraciones pueden guardarse en una plantilla de proyecto mientras que los subproyectos no. Existe un consenso entre los alumnos que el coste/beneficio de entorpecer el trabajo colaborativo imponiendo una lista de subproyectos, no compensa los posibles beneficios obtenidos.

En cuanto a ArchiCAD, se cuestionan de inicio el excesivo control de los permisos sobre los elementos y funcionalidades del programa, cuestiones que una vez avanzan en el manejo de la herramienta de forma colaborativa dejan de tener y evalúan como positivo, de cara a la organización de la información.

En cuanto al intercambio de archivos entre las distintas plataformas para las estructuras y las instalaciones, los alumnos observan una aplicación práctica a gran escala de la interoperabilidad, adquiriendo destrezas para su correcta gestión en el futuro profesional. Por tendencia, los alumnos suelen dejar esta parte hacia el final por lo que resulta conveniente irlos guiando para que lo vayan haciendo desde fases más tempranas del modelado y experimentar con las interferencias o cuestiones de coordinación que puedan ir surgiendo, de la forma más parecida posible a un proyecto real.

Otra conclusión que se obtiene del trabajo colaborativo es la necesidad de formar a los profesionales, ya que los mismos alumnos plantean dificultades a la colaboración en un inicio, no lo ven viable en los estudios que conocen o donde trabajan, y valoran positivamente esta metodología una vez superada.

El grado de satisfacción y crecimiento del alumno en esta asignatura es muy elevado y provoca un cambio en la forma de organizar el resto de las tareas del máster, donde los alumnos prefieren continuar con prácticas colaborativas y no volver al trabajo individual.

Referencias

BECERIK-GERBER, B., K. KU, AND F. JAZIZADEH (2012). "BIM-enabled virtual and collaborative construction engineering and management." *J. Civ. Eng. Educ*, Vol.138 (3), pp. 234–245.

BIBLUS (2024). *Formato IFC y Open BIM, todo lo que hay que saber*. <<https://biblus.accasoftware.com/es/formato-ifc-y-open-bim-todo-aquello-que-se-debe-saber/>> [Consulta: 24 de marzo de 2024]

[Editorial Team]

GALINDO ORTEGA, E. (2021). *Diseño y cálculo de instalaciones con metodología BIM. Aplicación a un Templo*. Trabajo Final de Grado. Sevilla: Universitat Universidad de Sevilla, <<https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/93380/fichero/TFG-3380+GALINDO+ORTEGA%2C+ELENA.pdf>> [Consulta: 25 de marzo de 2024]

GONZÁLEZ PÉREZ, C. (2015). *Building Information Modeling: Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos prácticos en gestión de proyectos*. Trabajo Final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica de València, <<https://riUNET.upv.es/handle/10251/56357>> [Consulta: 25 de marzo de 2024]

LIU, Y., S. NEDERVEEN, AND M. HERTOOGH (2017). "Understanding effects of BIM on collaborative design and construction: An empirical study in China." *Int. J. Project Manage*, Vol. 35 (4), pp. 686–698.

<<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.06.007>> [Consulta: 19 de abril de 2024]

MÁSTER BIM (2024). *Plan de estudios*. <<https://posgrado.bim.udc.es/plandeestudios/>> [Consulta: 25 de marzo de 2024]

MURZI, H. (2014). "Team-based learning theory applied to engineering education: A systematic review of literature." ASEE (org.) En: *2014 ASEE Annual Conference & Exposition*. Reston, VA.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (2014). *Diccionario de la lengua española, 23.ª ed., versión 23.7 en línea*. <<https://dle.rae.es>> [Consulta: 24 de marzo de 2024]

STANK, THEODORE P., KELLER, SCOTT B. Y DAUGHERTY, PATRICIA J. (2001). "Supply chain collaboration and logistical service performance" en *Journal of Business Logistics*, vol. 22, issue 1, p. 29-48.

<[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.000009](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.000009)> [Consulta: 19 de abril de 2024]

STEVEN, J. (2021). *'What is Slack?' Everything you need to know about the professional messaging program*. <<https://www.businessinsider.com/guides/tech/what-is-slack>> [Consulta: 24 de marzo de 2023]

VITORINO BRAVO, P.A. (2020). *IFC para la interoperabilidad en BIM*. <<https://konstruedu.com/es/blog/ifc-para-la-interoperabilidad-en-bim>> [Consulta: 24 de marzo de 2024]

PROCESO DE VISADO Y VERIFICACIÓN DE MODELOS IFC EN PLATAFORMAS DE VISADO COLEGIAL CON BLOCKCHAIN

Alonso-Martin, Jerónimo^a; Acebes-Senovilla, Fernando^b; López-Paredes, Adolfo^c

^aArquitecto y Arquitecto Técnico. Doctorando industrial_ Departamento de Organización de Empresas y CIM Escuela de Ingenierías Industriales_ Universidad de Valladolid, (Spain) en “Procesos en la gestión de gemelos digitales para la automatización, verificación y chequeo industrial.”. jeronimoalonsomartin@gmail.com, ^bProfesor Contratado Doctor. Departamento de Organización de Empresas y CIM. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Valladolid (Spain) fernando.acebes@uva.es, ^cCatedrático de Universidad. Dpto. de Organización de Empresas. Escuela de Ingenierías Industriales. Universidad de Málaga (Spain) loppar@uma.es

Abstract

The College of Technical Surveyors of Valladolid has implemented blockchain technology as a proof of concept in its information system, which allows the incorporation of IFC files into the visa process or a set of files that can define the digital model in its set. The electronic record with a time stamp of IFC files allows us to establish the necessary evidence in the collegiate information systems, separate ourselves from traditional CAD representation systems, and address the value generation flows with BIM digital models. A double-layer verification of approved files was provided to the system, incorporating attributes in the verification process of professional works. The information is traced in a double network. The records are certified by extrapolating this verification to any file or document traced by another group or entity belonging to the same network. Which jointly allows the control of documents and files on the shared network. This development in process research allows for the generation of traceability and process control flows and establishes copyright on architectural projects.

Keywords: BIM, IFC, blockchain, check, COATVA, signeblock, Qid

Resumen

El Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Valladolid ha implantado la tecnología blockchain como prueba de concepto en su Sistema de información, lo que permite incorporar ficheros IFCs (o conjunto de ficheros que puedan llegar a definir la maqueta digital en su conjunto) al proceso de visado. El registro electrónico de ficheros IFCs con sello de tiempo, permite establecer en los sistemas de información colegial las evidencias necesarias, para desligarnos de los sistemas de representación tradicional CAD y abordar los flujos de generación de valor con maquetas digitales BIM. Para ello, se aportó al sistema de una verificación de ficheros visados en una doble capa, incorporando atributos en el proceso de chequeo de los trabajos profesionales. Se trazan en doble red la información, certificando dichos registros y extrapolando esta verificación a cualquier fichero (documento trazado) por otro colectivo o entidad perteneciente a la misma red, permitiendo conjuntamente la fiscalización de los documentos y ficheros en la red compartida. Este desarrollo de procesos, actualmente en fase de investigación permite generar flujos de trazabilidad y fiscalización de dichos procesos y establecer los derechos de autor sobre los proyectos arquitectónicos. Este artículo muestra la forma de llevarlo a cabo, con resultados óptimos en su implantación y uso por los técnicos y agentes de la edificación.

Palabras clave: BIM, IFC, blockchain, check, COATVA, signeblock, Qid

Introducción

Tras la implantación sistémica de los modelos de datos paramétricos en el ámbito AEC de entornos gráficos ha sido necesario abordar desde un punto de vista colegial la legitimación y legalidad de los modelos BIM en los sistemas de información colegial. Los ficheros de intercambio de datos IFC permiten no solo visualizar determinada información contenida de forma gráfica, sino ser el contenedor gráfico de los entregables en los proyectos edificatorios. El uso de la criptografía, la transacción en cadenas de bloques y el sello de tiempo ligado a la identidad digital permite el registro legal de los ficheros y documentos, consiguiendo una integridad documental con amparo legal.

La determinación gubernamental de implantación en la administración pública de impulsar electrónicamente a través del PLAN BIM necesita que los actores involucrados en los procesos de verificación de la identidad, chequeo de proyectos y control de la legalidad dispongan de herramientas electrónicas adecuadas para poderlo llevar a cabo. Así mismo esta tecnología permitirá en segundas etapas la automatización de procesos de chequeo y validación, la definición legal de la maqueta digital y de las regulaciones normativas técnicas. La implantación manifestada por Orden PCM/818/2023 por el que se aprueba el Plan de Incorporación de la Metodología BIM en la contratación pública, es un punto de no retorno en España.

El COATVA ha implantado esta tecnología no intrusiva para la traza de los documentos y ficheros aportados por los colegiados, de forma y manera que un tercero pueda verificar la autenticidad del fichero trazado, aportando seguridad jurídica y una herramienta antifraude a los usuarios, promotores o administración pública.

Estas transacciones criptográficas se realizan en un segundo plano, sin la intervención de los colegiados. La verificación de la autenticidad del fichero se realiza a través de un TRAZER incorporado en la página web del colegio, donde con solo volcar el fichero determina la existencia o no de traza en la Blockchain.

Esta tecnología se implantó en marzo de 2023 habiéndose producido un total de 7.781 transacciones para un total de 236 colegiados activos en 2023, con un total de 8.156 archivos recibidos en la plataforma en 2023 con 3.727 ficheros visados estableciendo una ratio de 2,20 archivos de media por trabajo profesional como se observa en los siguientes gráficos.

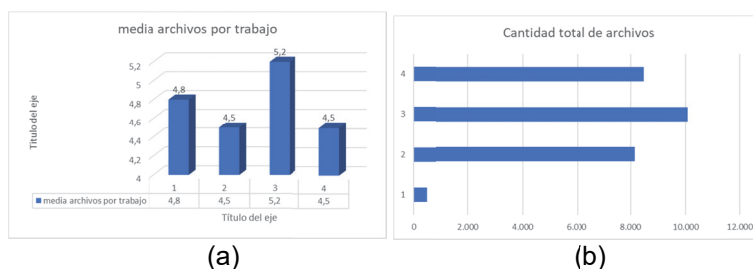


Figura 1. Media de ficheros por trabajo (a). Archivos enviados por año al sistema del COATVA (b): Fuente:propia

1. Metodología

La metodología empleada ha sido diseñada por un proveedor de firma electrónica relacionada con una red de Blockchain llamada Signe. Mediante API se ha integrado en el sistema de información del COATVA la herramienta de traza y en la página web el verificador de trazas TRAZER.

1.1. Ficheros originales IFC incorporados al visado

El colegiado accede al sistema de la página web con su usuario y contraseña, iniciando un nuevo trabajo e incorporando los documentos objetos del visado; entre ellos puede discriminar entre documentos a visar de rango obligatorio, documentos complementarios no obligatorios y las maquetas digitales en formato IFC.

En la figura 2 se puede ver la estructura de datos del IFC y su visualización entendidos como ficheros originales en incorporar al sistema de visado.

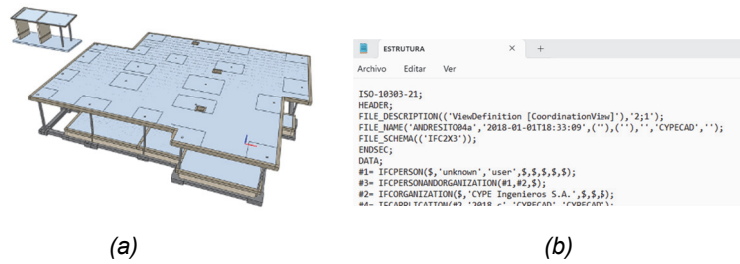


Figura 2. Visualización del IFC; gráficamente (a) y como texto (b). Fuente: propia

El sistema carga el fichero IFC eligiendo la opción de maqueta digital como se observa en la figura 3.

Documentación técnica y administrativa

Envío de documentos para su Visado y/o registro

Esta documentación pertenece al trabajo profesional nº: 202310967 -

Dirección de obra de Proyecto vivienda unifamiliar en Mojados - Alfonso Rodríguez Pérez

Estos documentos son:

Maqueta digital

Puede seleccionar o arrastrar uno o varios documentos aquí

Elegir archivos ESTRUTURA.ifc

Enviar archivo/s Salir Ya he enviado toda la documentación. Quiero solicitar la tramitación

Instrucciones

Figura 3. Carga del fichero IFC en el Sistema. Fuente: propia

Una vez visado en el COATVA se produce en segundo plano la traza en la blockchain de los ficheros y documentos incorporados.

1.2. Trazabilidad en la red de blockchain

El proceso de visado se realiza mediante API en la red, siendo una tecnología no intrusiva. Se realiza en dos fases en la red, incorporando el COATVA una tercera fase. En la primera fase se hace un trazado en una red privada incorporando los códigos criptográficos propios de esa red; en una segunda fase se traza estos registros junto con muchos otros en bloque cada 10 minutos; simultáneamente el COATVA genera sus propios códigos criptográficos para poder visualizar determinados datos programados en el "TRAZER". En la figura 4 muestro la trazabilidad y por tanto la fiscalización de los procesos de trazado de los ficheros.



Figura 4. Anotaciones en la Red (a); Registros criptográficos en los bloques (b). Fuente: propia

Una vez producida la transacción se puede descargar un certificado del registro electrónico con un QR para verificar estos sellos de tiempo. También cualquier usuario puede dirigirse a la web colegial y verificar en el TRAZER si el fichero descargado y entregado por un tercero es auténtico o una falsificación. Ello se realiza mediante el repudio del código criptográfico generado en el proceso de registro. En la figura 5 se puede observar el certificado de registro y el acceso al TRAZER.

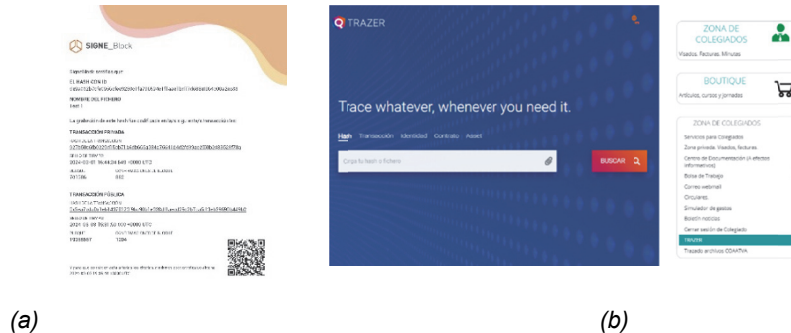


Figura 5. Certificado de registro (a); acceso al Trazar del COATVA (b). Fuente: propia

1.3. Verificación de la originalidad del fichero IFC en el sistema

Una vez entregado el fichero IFC por un tercero podemos verificar su originalidad acudiendo al TRAZAR e interrogando al mismo si dicho fichero ha sido incorporado al sistema y por tanto visado. Ello se realiza volcando directamente en el buscador. En la figura 6 se muestra el mensaje positivo si el fichero es encontrado en la red.

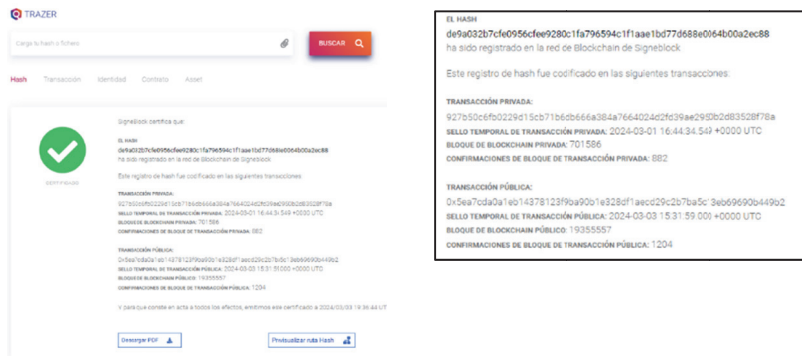


Figura 6. Mensaje de no repudio en el TRAZER. Fuente:propia

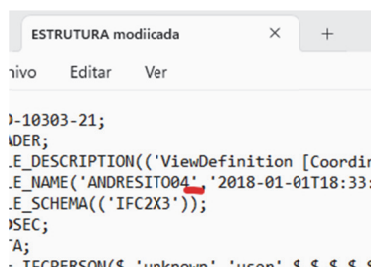
Si además se quiere información adicional, el COATVA a través de la tercera fase de registro puede aportar más información; como puede ser el nombre del proyecto, el autor, el número de expediente y el colegiado firmante. Ello se consigue en el trazador de archivos electrónicos del COATVA, donde puedo verificar a través del número y fecha de visado su originalidad o con el propio fichero electrónico. En la figura 7 se observa el trazador colegial y el mensaje con los datos programados.



Figura 7. Acceso al registro electrónico del COATVA (a), Mensaje de no repudio con datos (b)

1.4. Detección de ficheros manipulados

Estudiado el caso de modificación del fichero original mediante su apertura y modificación el sistema debería detectar dicha falsificación. Para ello se modifica un parámetro interno el fichero origen mostrado en la figura 1 eliminando un carácter del fichero. En la figura 8 muestro el carácter alterado del IFC que gráficamente no habrá sufrido modificaciones.



```
ESTRUTURA modificada
vivo Editar Ver
I-10303-21;
DER;
.E_DESCRIPTION(('ViewDefinition [Coordin
.E_NAME('ANDRESITO04', '2018-01-01T18:33:
.E_SCHEMA(('IFC2X3'));
SEC;
A;
PERSON/('unknown', 'user' <<<<<<
```

Figura 8. Alteración o falsificación del IFC: Fuente propia

De idéntica forma volcamos dicho fichero en el Trazer para verificar si existe el repudio o no. Con ello comprobaremos el mensaje no positivo de traza en el sistema y deduciremos que el fichero entregado es fraudulento como se expone en la figura 9.

2. Conclusiones

La incorporación de la tecnología blockchain permite de forma eficiente el control documental y de los ficheros incorporados al sistema. El acceso a la trazabilidad de los procesos esta permitiendo su fiscalización de forma segura. El COAATVA al ser una entidad de derecho público que mediante el visado colegial otorga carácter de veracidad a los ficheros y documentos incorporados al sistema, aporta un valor legal que debe tenerse en cuenta por la administración pública, pues permite mediante los nuevos sistemas de representación paramétrica dar un salto cuantitativo sobre la forma y fondo de realizar, presentar y traspasar información relativa a los proyectos.

Mediante esta experiencia exitosa, debe generalizarse por los demás agentes su uso, debiendo establecer una red blockchain común, para la verificación conjunta de cualquier fichero trazado por cualquier agente y en cualquier punto del sistema. También será necesario abordar desde un punto de vista normativo la definición de proyecto, sus entregables y la forma de relacionar la documentación o los ficheros electrónicos para una mayor integridad documental.

Ello abre la puerta a definir procesos automatizados reglados y potenciados por los colegios profesionales para la mejora de los procesos técnico-administrativos, principalmente en lo concerniente con la verificación documental y técnica de los proyectos, el control y fiscalización de procesos y los propios sistemas de otorgamiento de derechos de carácter público.

Estos desarrollos deberán democratizarse, debiendo auditar todos los procesos de implantación evaluando los resultados obtenidos de esta primera experiencia.

3. Abreviaturas

BLOCKCHAIN	Cadena de Bloques
IFC	Formato de clasificación estándar
CAD	Diseño asistido por computadora
BIM	Modelado de Información en Construcción
COAATVA	Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Valladolid

Qid	Patente de Signablock Q-Id es la fusión de la Identidad Digital en Blockchain y la Firma Electrónica
AEC	Arquitectura, Ingeniería y construcción.
TRAZER	Verificador de ficheros en la blockchain de la empresa Signeblock
API	Interfaz de programación de aplicaciones

4. Agradecimientos

Agradezco la oportunidad de mostrar esta implantación y sus resultados al Colegio de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Valladolid y a la empresa de sistemas STIVA, al Consejo General de la Arquitectura Técnica de España, y a la empresa Signeblock.

Referencias

España, Orden PCM/8

18/2023, 18 de julio, 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 172, p. 105006 a 105035

N. O. Nawari y S. Ravindran, «Blockchain and Building Information Modeling (BIM): Review and applications in post-disaster recovery», *Buildings*, vol. 9, n.º 6. MDPI AG, 2019, doi: 10.3390/BUILDINGS9060149.

T. Ablyazov y I. Petrov, «Influence of blockchain on development of interaction system of investment and construction activity participants», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 497, n.º 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/497/1/012001.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

ENFOQUE BASADO EN BIM-GIS ALINEADO CON ISO 9001 PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD

Araya-Santelices, Pablo^a; Moraga, Pedro^b; Atencio, Edison^b; Lozano-Galant, Fidel^c y Lozano-Galant, José Antonio^c

^aDepartamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña, España, pablo.araya@upc.edu; ^bEscuela de Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile, pedro.moraga.o@mail.pucv.cl, edison.atencio@pucv.cl; ^cDepartamento de Ingeniería Civil, Universidad de Castilla-La Mancha, España, fidel.lozanogalant@uclm.es, joseantonio.lozano@uclm.es.

Abstract

Quality management in the construction stage is a central concern, leading to fulfilling project requirements. Along these lines, construction companies have adhered to international standards to implement a Quality Management System (QMS) in organizations and projects, such as ISO 9001. In an ISO-aligned SCG, both project and business components should interoperate. However, quality management is often conducted independently, based on manual data capture and processing, where BIM could be an enabler. Likewise, the literature shows few BIM applications aligned with ISO-based quality management. This research proposes a tool for project quality management aligned with ISO 9001 and supported in BIM and GIS. To this end, the main requirements of ISO 9001 have been parameterized in a BIM model, allowing a digital quality management process, and positioning the BIM model as an accessible and efficient means for audits of compliance with the standard. This model was applied as a QMS in reinforced concrete walls, showing the correct functionality of the tool and the advantages over the QMS.

Keywords: Quality management, Quality control, BIM, ISO 9001, GIS.

Resumen

La gestión de calidad en la etapa de construcción es una preocupación central, ya que esta conduce al cumplimiento de los requisitos del proyecto. En esta línea, empresas constructoras han adherido a estándares internacionales para implementar un Sistema de Gestión de Calidad (SGC) en organizaciones y proyectos, como la ISO9001. En un SCG alineado a ISO debiesen interoperar componentes del proyecto como empresariales. Sin embargo, la gestión de calidad suele conducirse de forma independiente, basada en captura y procesamiento manual de datos, donde BIM podría ser un facilitador. Así también, la literatura muestra escasas aplicaciones de BIM alineados con la gestión de calidad basada en ISO. Esta investigación propone una herramienta para la gestión de calidad de un proyecto, alineada a ISO 9001 y soportada en BIM y GIS. Para ello se han parametrizado los principales requerimientos de ISO9001 en un modelo BIM permitiendo un proceso de gestión de calidad digital, así también, posicionando el modelo BIM como un medio accesible y eficiente para las auditorías de cumplimiento de la norma. Este modelo fue aplicado como SGC en muros de hormigón armado, mostrando la correcta funcionalidad de la herramienta y las ventajas sobre el SGC.

Palabras clave: Gestión de calidad, Control de calidad, BIM, ISO 9001, GIS.

Introduction

Quality management is crucial in the Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry (Faraji, 2022), (Nguyen, 2018), ensuring the delivery of high-quality, safe, and functional projects. The complexity of construction projects, with numerous stakeholders (Faraji, 2022), long life cycles, and high budgets, underscores the need for an effective Quality Management System (QMS). Inadequate quality management can lead to substantial costs, up to 25% of the total project cost (Santelices, 2019), (Dzul, 2009). However, quality management is often perceived as less crucial than cost or time management, partly due to the subjective nature of the "quality" concept (Khadim, 2023). Conventional methods, mainly paper-based, are cumbersome, lacking efficiency and coordination in data exchange, leading to redundancies and information fragmentation (Holkar, 2021). To address this, strategies from the manufacturing industry, such as Total Quality Management (TQM), Lean Manufacturing, Six Sigma, Statistical Process Control (SPC), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), and ISO 9001 standards, have been adopted to enhance QMS in construction (Khadim, 2023), (International Organisation for Standardisation, 2015). ISO 9001, an international specification, provides a framework for effective quality management practices, widely adopted in the construction area for continuous improvement (Castillo-Peces, 2018), (Gomez, 2018).

Building Information Modeling (BIM), as a collaborative approach, has transformed project management in the AEC industry. Although mainly applied in the design stage, BIM's potential in quality management during construction is underutilized (Meng, 2020), (Holkar, 2021). On the other hand, the implementation of Geographic Information Systems (GIS) tools within a project, especially during the construction stage, facilitates the management of geospatial information, identifying hazardous areas, planning safe routes, and optimizing logistics. GIS tools provides quality management data, including reports, photographic records, and drawings, contributing to accurate decision-making (Chen, 2022). The integration of BIM with GIS is valuable for recording geospatial quality data, enhancing traceability, and performing georeferenced quality, allowing for improved cross-discipline collaboration, stakeholder communication, and defect information sharing (Altıntaş, 2021).

This research proposes a tool for the integration of BIM and GIS, aligned with ISO 9001 standards, in the QMS. The developed prototype links the status and progress of quality controls with a parametric BIM model, facilitating visualization and documentation management during construction. This integrated approach was tested through a case study focused on quality controls for reinforced concrete walls construction. The prototype improves the traceability of quality data, facilitating informed decision-making during construction and minimizing errors in this phase.

1. Research methodology

This research proposes a tool based on the integration of BIM, GIS and aligned to ISO 9001 standards, to improve quality management during the construction phase. The work follows the Design Science Research Method (DSRM) which seeks to solve an identified problem through an artifact proposal and its validation. The adaptation of DSRM to this work is organized in five stages as presented in Fig. 1: (1) identification of the observed problems; (2) definition of objectives for a possible solution; (3) design and development; (4) demonstration; (5) evaluation (Peppers, 2020).

In the first stage, a literature review was carried out, based on Scopus repositories together with the review of existing standards and quality plans. The purpose of the section is to identify the status of the application of new technologies, with a special focus BIM, integrated with ISO 9001 standards in the construction QMS. In addition, the various current uses of BIM in the AEC industry, as well as the problems and challenges regarding the current methods, were mentioned. In the second stage, a potential solution to the problems - the DSRM artifact - is proposed, consisting on the implementation of BIM and ISO 9001 standards to improve construction quality management. In the third stage, the artifact design and development is performed, where three activities were defined to carry it out: (1) Definition of the elements of the ISO 9001 standard to be parameterized, (2) Definition of the criteria to be used for quality controls, (3) flows and criteria for linking the georeferenced form to the BIM model.

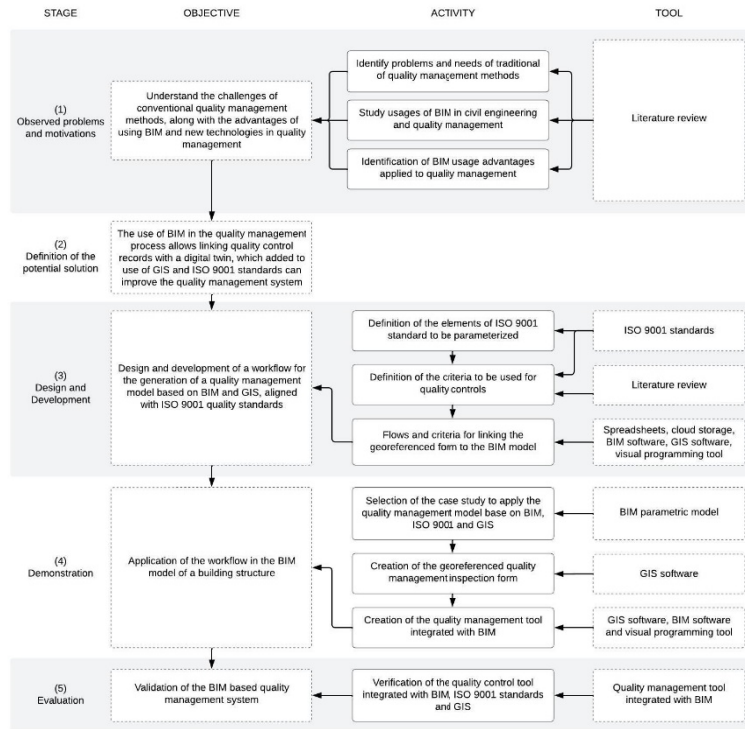


Fig. 1 Research methodology. Source: own elaboration

In the fourth stage, the tools designed and developed in the previous stage are applied to a building project, linking the quality control results, georeferenced through GIS, with a parametric BIM model, using visual programming tools, to have better visual control over the quality documentation during construction and to make better use of it, thus improving the quality management of the project. Finally, in the fifth stage, the quality management system created is evaluated through its application in a case study.

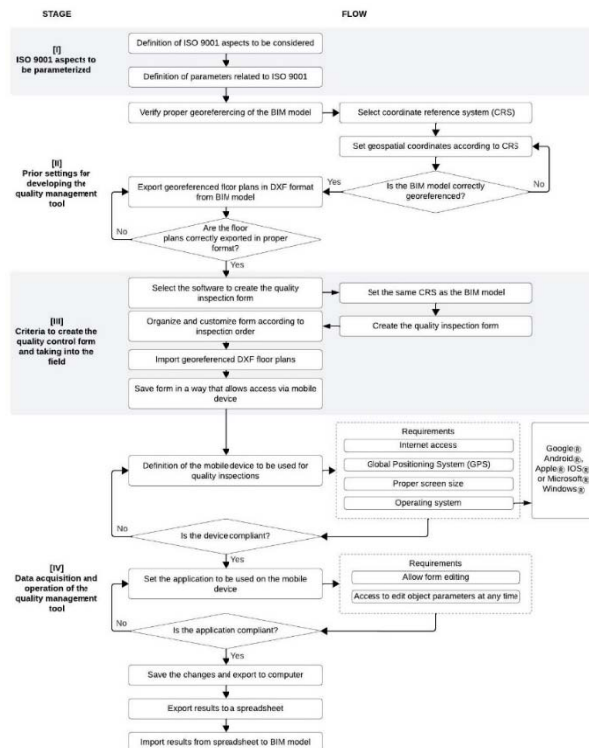


Fig. 2 Flow for the creation of a quality management tool. Source: own elaboration

2. Developed method

The proposed quality management tool based on BIM and GIS consists of the utilization of a georeferenced quality inspection form, which contains a set of quality controls that verify the correct execution of the supervised element, linking these results to a BIM model. Fig. 2 shows four stages to carry out the development of the proposed tool.

3. Case study

3.1. Selection of the BIM parametric model to be used

The BIM model to be used corresponds to a building site, in this case of a single level, which has reinforced concrete walls, so the quality control will be performed on the walls of the building, which is shown in Fig. 3. For the use of the BIM-based quality management tool, it is assumed that the elements to be inspected were correctly created according to the logical construction order since each control is considered for the whole element.

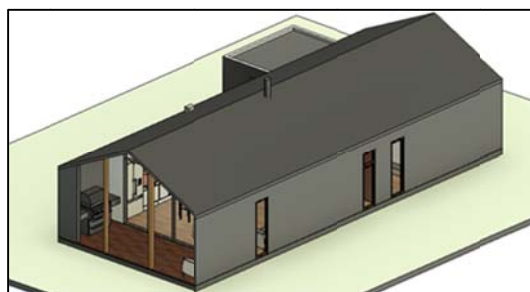


Fig. 3 The BIM model was used for the case study. Source: own elaboration

3.2. Phases and controls to be considered

For the case study, it was considered the creation and application of the tool to perform the quality controls associated with the reinforced concrete walls of a construction site. For this purpose, it is deemed that for the correct execution of each wall, the quality controls mentioned in the book "Procesos y técnicas de construcción" by Hernán de Solminihac and Guillermo Thenoux (De Solminihac, 2005). This reference is related to the Chilean construction requirements where three main phases are considered. The flow between the phases is shown in Fig. 4.

3.3. Prior settings and workflow

The BIM model must be correctly georeferenced in the geospatial coordinates to be used. In this case, the use of the CRS WGS 84 / UTM zone 19s is considered since it corresponds to a location in Chile. As the elements to be controlled in this case will be the walls, the georeferenced floor plan, which contains the elements in question, is exported. For this case, the plans to be used should be exported from Autodesk® Revit® in DXF format, to import them later to the form creation software. Fig. 5 shows the proposed information flow, together with the tools and software to be used to develop the tool.

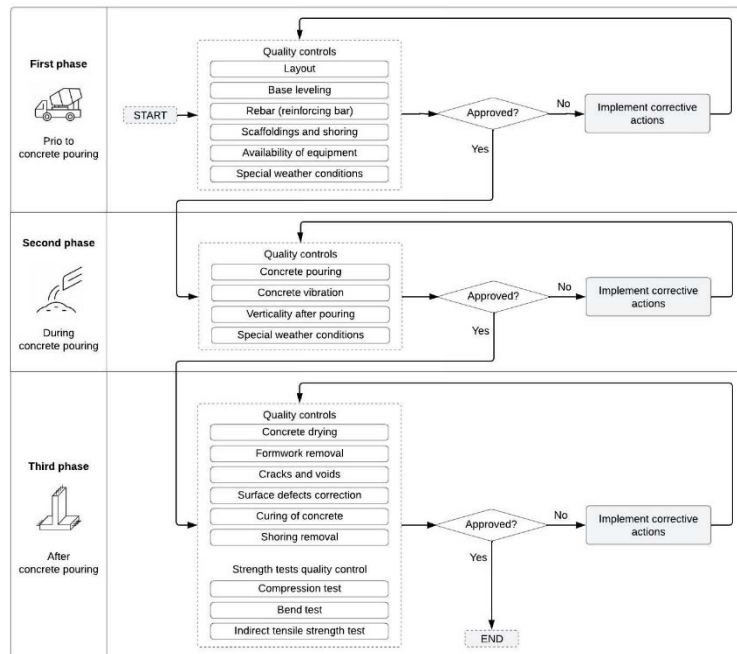


Fig. 4 Flow chart between inspection phases. Source: own elaboration

3.4. Creation of the georeferenced inspection form

For the creation of the georeferenced form, the QGIS® software was used, which has open-source code and a large community of users and allows, among other things, the creation of layers with a series of attributes associated with georeferenced geometric objects that will be created at the time of the quality inspections. In addition, the attributes created can be classified as desired in a form format, with the possibility of separating them by sections and customizing the appearance of the interface. In this case, for each control in the table, the attributes necessary to record the parameters "Status", "Responsible", "Comment" and "Date" are considered, with some specific exceptions that correspond to checks linked to responsible persons and dates of other activities

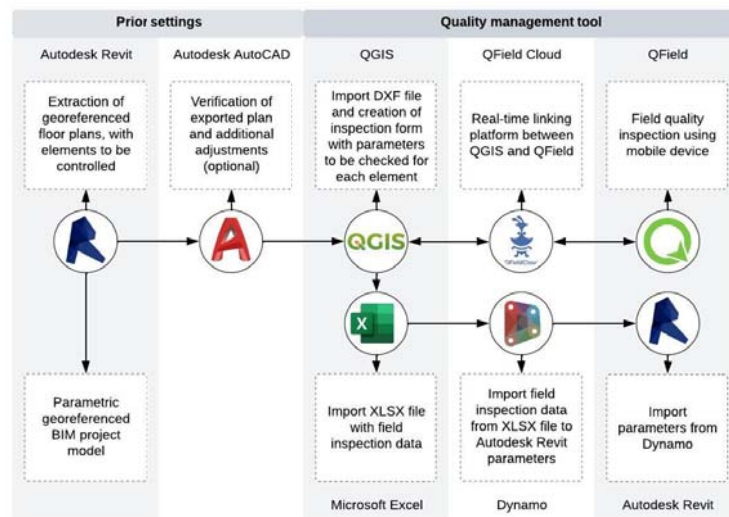


Fig. 5 Flow for the generation of quality management tool. Source: own elaboration

Once inside the software, it is necessary to start configuring the CRS of the project, for which the same as that of the BIM model must be used, in this case, WGS 84 / UTM zone 19s which corresponds to the zone where Chile is located.

To create the form in QGIS®, a Geopackage type layer must be created, since it allows the creation of attributes with more customizable characteristics than shape type layers, such as the free length of the name of the parameters.

The creation of different inspection phases in the form is also useful to restrict the progress of the controls according to their results since QGIS® allows the creation of visibility restrictions for each section. In this case, the use of restrictions is considered based on the statuses recorded in each activity of the previous phase, considering that these parameters must be "Complies" or "Corrected" for the following section to be visible and operable.

Once the quality inspection form and the layer containing the plans have been created, the QGIS® file is ready to be saved. On the one hand, it is necessary to choose the way to save the document and make it easily accessible from a mobile device while, on the other hand, it is necessary to define an application to access the document from the mobile device, which allows the visualization and edition of the document. For this purpose, the QField® application was chosen for field data collection, since it is an application specifically designed to work with QGIS®, it is free to access, has a simple and predictable interface, and allows creating and editing objects at any time, being able to advance in the quality controls as the construction process progresses. Table 1 shows a brief comparison of factors that influenced the decision. It should be noted that to export QGIS® files to QField® it is necessary to install the "QField Sync" plugin which allows, among other things, to link the project to QField Cloud®.

Table 1. Comparison between QField® and Mergin Maps®

QField®	Mergin Maps®
Excellent user reviews in the Google® Play Store	No reviews in the Google® Play Store
Big user community	Smaller user community than QField®
Focus on linking with QGIS projects	Focus on collaboration between field equipment

3.5. Field data collection

For data collection in the field, a mobile device is used. In this case, a Samsung® Galaxy® tab S6 Lite tablet was used, as it has all the necessary features.

Once inside the QField® application, the user must be authenticated by logging in with the account used in QField Cloud®. Fig. 6 shows the flow of the steps mentioned above, before data collection.



Fig. 6 Steps to follow when starting QField® before data collection. Source: own elaboration

3.6. Linking of quality control results to BIM model

To bring the results of the quality controls to the BIM model, it is necessary to pass this information from the inspection form, which is in the cloud storage, to an MS Excel® spreadsheet. To do this, the document must first be updated from QGIS® so that the local project on the computer is updated with the changes made on the mobile device

To import the results of the inspections from the spreadsheet to the BIM model, the Dynamo visual programming tool was used to generate a code that creates shared parameters associated with the elements that will be subjected to quality control, based on the parameters recorded in the field, allowing these to be filled in as the controls progress. As for the Dynamo routine, Fig. 7 shows the steps and processes followed to complete the entire code.

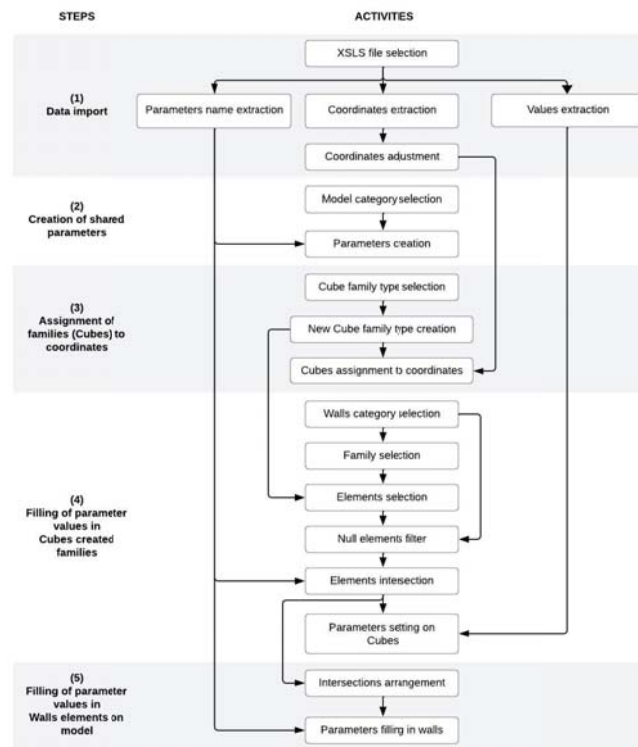


Fig. 7 Flow of Dynamo routine steps. Source: own elaboration

Once all the steps of the Dynamo routine have been executed, the BIM model will already have the parameters associated with the elements in question. Fig. 8 shows the floor plan of the model, where the cubes located on each corresponding wall can be observed.

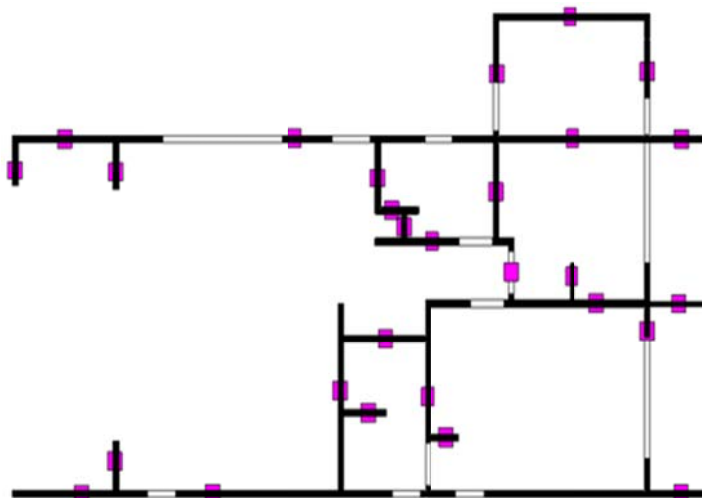


Fig. 8 Floor plans with generic models added. Source: own elaboration

4. Conclusions

This research identified the main problems and deficiencies of conventional methods related to quality management during the construction phase of projects in the AEC industry, among which stands out the inefficiency in the management of documentation related to these processes (Samarghandi, 2016), which is generally based on paper records that are not practical when managing such information and being able to make decisions based on real data. In addition, the lack of consideration of ISO 9001 standards by the QMS is identified, without implementing measures that seek to align project quality with these standards. This information helped to clarify the need to improve the QMS by incorporating new technologies that would allow the quality objectives to be aligned with international ISO 9001 standards.

A quality management tool focused on the digitization of quality controls was developed, using new technologies and ISO international standards as potential tools to optimize QMS-related processes. An information flow was designed that allows the use of GIS software for the collection of quality data in the field, linking the results to a collaborative BIM model through a visual programming code. With this, the advantages of the implementation of such a tool in the QMS are clearly shown.

The proposed methodology was applied to a case of reinforced concrete walls corresponding to a building, aligning the proposed model with the construction processes and quality requirements of these elements. A georeferenced form created in QGIS® was used to carry out the quality controls, which is taken to the field through the QField® application, resulting in a document easy to use by the personnel, with a clear and orderly interface that does not require previous knowledge in BIM or GIS tools for its management, considering also the use of georeferenced plans that facilitates the use and improves the accuracy of the data collection. The values associated with the quality of the elements can be recorded and edited at different times, resulting in an agile process that allows to generation of a digitized historical record of the different controls of each element, in addition to associating these tasks with their respective responsible. The information obtained is synchronized through cloud storage with the computer, streamlining the process of transferring the data collected, and then exporting it to an MS Excel spreadsheet. Through visual programming, it was possible to import into the BIM model the quality parameters collected for each element, with their respective geospatial coordinates, linking them to the corresponding walls within the model. As a result, we have a BIM model that includes a section with all the information related to the quality controls of the controlled elements, being able to visualize and manage this information clearly and graphically.

The implementation of the proposed tool leads the QMS to obtain ISO 9001 certification since it can improve different aspects mentioned in this standard, such as control of documentation, having a digitalized historical record, monitoring of activities, being able to use the information to analyze performance, both of the controlled activities and of the QMS itself and the ability to keep a record of corrective and/or preventive measures. In addition, the tool makes it easier to verify the competencies and training of the people in charge of each activity by registering the people in charge of each task.

Although the proposed tool managed to solve several problems related to quality management during construction, difficulties were also encountered throughout the research, such as the lack of an option to create a parameter section in Autodesk® Revit® called "Quality parameters" or similar, without the parameters created being added to groups already predefined by the application such as "Data" in this case, which would improve the visualization of the parameters in the BIM model. Another problem was the difficulty in designing a routine in Dynamo that would allow all stages to be performed in a single run, which would facilitate the execution of the code. However, once the operation and handling of the tool are known, these problems should not present major difficulties to the quality control process.

References

ALTINTAŞ, Y.D. y ILAL, M.E. (2021) 'Loose coupling of GIS and BIM data models for automated compliance checking against zoning codes', *Automation in Construction*, 128(January). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103743>.

CASTILLO-PECES, C. et al. (2018) 'The influence of motivations and other factors on the results of implementing ISO 9001 standards', *European Research on Management and Business Economics*, 24(1), pp. 33–41. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2017.02.002>.

CHEN, X. et al. (2022) 'Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review', *Engineering, Construction and Architectural Management*, 29(8), pp. 3181–3209. Available at: <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2021-0172>.

DZUL, L.A. y GRACIA, S. (2009) 'Contexto actual de los sistemas de costes de la calidad desarrollados y aplicados a proyectos de construcción: La necesidad de medición de la calidad en el diseño', *Informes de la Construcción*, 61(514), pp. 41–50. Available at: <https://doi.org/10.3989/ic.07.004>.

FARAJI, A. et al. (2022) 'Quality Management Framework for Housing Construction in a Design-Build Project Delivery System: A BIM-UAV Approach', *Buildings*, 12(5). Available at: <https://doi.org/10.3390/buildings12050554>.

GOMEZ, C.P. y HAMID, H. (2018) 'ISO and lean can contribute to a culture of continuous improvement', in *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, pp. 305–315. Available at: <https://doi.org/10.24928/2018/0270>.

HOLKAR, M.R.N. y PATASKAR, M.S. (2021) 'Quality Management In Construction Industry By Using Building Information Modelling (BIM)', *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, 23(09), pp. 265–276. Available at: <https://doi.org/10.51201/jusst/21/08391>.

INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION (2015) *Quality management systems-Requirements INTERNATIONAL STANDARD ISO 9001 ISO 9001:2015*. Available at: www.iso.org.

KHADIM, N. et al. (2023) 'Quantifying the cost of quality in construction projects: an insight into the base of the iceberg', *Quality & Quantity*, 57. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11135-022-01574-8>.

MENG, Q. (2020) 'A review of integrated applications of BIM and related technologies in whole building life cycle', *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(8), pp. 1647–1677. Available at: <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2019-0511>.

NGUYEN, P.T. et al. (2018) 'Construction Project Quality Management using Building Information Modeling 360 Field', *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 9(10). Available at: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2018.091028>.

PEFFERS, K. et al. (2020) 'Design Science Research Process: A Model for Producing and Presenting Information Systems Research', *ArXiv*, abs/2006.02763. Available at: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:57819632>.

SAMARGHANDI, H. et al. (2016) 'Studying the reasons for delay and cost overrun in construction projects: The case of Iran', *Journal of Construction in Developing Countries*, 21(1), pp. 51 – 84. Available at: <https://doi.org/10.21315/jcdc2016.21.1.4>.

SANTELICES, C., HERRERA, R. y MUÑOZ, F. (2019) 'Problems in quality management and technical inspection of work: A study applied to the Chilean context', *Revista Ingeniería de Construcción*, 34(3), pp. 242–251. Available at: <https://doi.org/10.4067/S0718-50732019000300242>.

DE SOLMINIHAC TAMPIER, H. y CASTRO, J. (2005) *Procesos y técnicas de construcción*. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.

AUTOMATIZACIÓN DEL POSICIONAMIENTO DE SISTEMAS CIMBRADO EN TABLEROS DE HORMIGÓN

Loza-Remón, Raquel^a; Barbeta-Acerete, José Mauricio^a; Briz-Millán, José María^a; Garate-Arazola, Alex^b; Blazquez-Recio, Alfonso^b y Espinós-Andrés, Jesús^b

^aLevantina Ingeniería y Construcción, S.L. rloza@lic-sl.com, jbarbeta@lic-sl.com y jmbriz@lic-sl.com;

^bIngreen Innovacion a.garate@ingreen.es, a.blazquez@ingreen.es y j.espinos@ingreen.es

Abstract

The migration of conventional constructive systems of reinforced and post-tensioned concrete structures to industrialised systems based on Construction 4.0 makes it possible to take advantage of the corresponding technologies. In this context, shoring systems are highly appropriate for being processed automatically, as they are modular structures consisting of a limited number of elements with which several variations can be defined based on different geometrical or design requirements.

This paper has two objectives. Firstly, to showcase the advantages of the digitalisation and automated surveying in relation to the L-70 full shoring, a proprietary system of Levantina Ingeniería y Construcción S.L. certified to ISO 9001 for the construction of concrete decks. Secondly, to summarise the main stages of the automation process. It should be noted that what is presented here is part of a more ambitious project called “Digitized, Automated and Intelligent Shoring Systems for Large Reinforced and Post-tensioned Concrete Structures”, currently in the development phase. This project is led by LIC and carried out in collaboration with INGREEN INNOVACION. and the research organization ICITECH (Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología del Hormigón) of the UPV (Universitat Politècnica de València).

Keywords: BIM; Construction 4.0; Digitalisation; Automation; Shoring systems; Tekla Structures; Grasshopper; Python

Resumen

La migración de los sistemas constructivos tradicionales ligados a la ejecución de grandes estructuras de hormigón armado y postesado a sistemas industrializados basados en la Construcción 4.0 permite que se beneficien de sus tecnologías. En este sentido, los sistemas de cimbra resultan altamente adecuados para ser procesados de modo automático ya que se tratan de estructuras modulares formadas por un número limitado de elementos sobre los que se pueden realizar variantes en función de requerimientos geométricos o de cálculo.

El objetivo de esta comunicación es, por una parte, presentar las ventajas que supone la digitalización y levantamiento automatizado para el caso concreto de la cimbra L-70, cimbra llena certificada bajo la Norma ISO 9001 y que LIC tiene en propiedad para la realización de tableros de hormigón y por otro, resumir las principales fases en las que se dividió dicho proceso de automatización. Lo aquí expuesto forma parte de un proyecto más ambicioso denominado “Sistemas Digitalizados, Automatizados e Inteligentes de Cimbrado de Grandes Estructuras de hormigón Armado y Pretensado”, actualmente en fase de desarrollo. Dicho proyecto está liderado por LIC y llevado a cabo en colaboración con INGREEN INNOVACION y el organismo de investigación ICITECH de la UPV.

Palabras clave: BIM; Construcción 4.0, Digitalización, Automatización, Sistemas de cimbrado, Tekla Structures, Grasshopper, Python.

Introducción

Una de las etapas más cruciales del ciclo de vida de un puente es su construcción. A parte del hecho de que pequeños defectos y desviaciones del diseño pueden provocar graves problemas y catástrofes a medio o largo plazo, la propia estructura suele ser más vulnerable durante fases intermedias de la construcción, antes de alcanzar la configuración final. De hecho, un estudio reciente sobre los puentes en China, actualmente el país con más puentes del mundo reveló que el 30% de los fallos catastróficos en puentes estaban relacionados con el proceso de construcción (J.R. Casas, 2015)

El uso de estructuras temporales de cimbrado es una de las técnicas de construcción de puentes de hormigón más empleadas y extendida en todo el mundo. Sin embargo, el diseño y la utilización de los sistemas de cimbra no suelen tratarse con el mismo cuidado que las estructuras permanentes como puede ser el propio puente resultando así el fallo o colapso de la cimbra durante la construcción de puentes la razón más extendida del colapso de este tipo de puentes en la fase de construcción.

Este hecho impregna el día a día de los técnicos de LIC ya que uno de los grandes pilares de la actividad de la empresa y huella de identidad, pues marcó los inicios de la misma, es la ejecución de estructuras de hormigón mediante sistemas de cimbrado.

Bajo el paraguas de la seguridad del diseño y el buen hacer constructivo de dichos sistemas de cimbrado se han llevado en la casa diferentes iniciativas entre las cuales cabe destacar los sistemas de cimbra propios L-70 (llena) y L-600 (aportada) certificados (Certificación ENAC, certificado nº 15/2009) que permiten eliminar y minimizar muchos de los riesgos asociados a las cimbras convencionales.

Sin embargo, y pese a la experiencia, es de destacar el elevado número de horas de ingeniería requeridas para la preparación de los anteproyectos o proyectos de cimbra en los que LIC participa y que le permiten asegurar la seguridad de sus diseños incluyendo el encaje de los elementos (barcas, torres, celosías en su caso), la preparación de los planos de planta, alzado y secciones transversales por torre y el listado de material requerido del catálogo de elementos y componentes del sistema.

Por otro lado, el comportamiento de las estructuras en general y concretamente de las estructuras auxiliares y temporales para la ejecución de infraestructuras, está basada en la idealización de los comportamientos de los elementos y su análisis a través de programas de cálculo por elementos finitos, basados en las teorías clásicas de elasticidad y resistencia de materiales que permiten aproximar los comportamientos de los elementos y el cumplimiento de unos niveles tenso-deformacionales que permiten asegurar, con unos niveles de seguridad fijados, su adecuado comportamiento.

No obstante, resulta extremadamente complejo cuantificar las reservas de flexibilidad generadas por las configuraciones de las holguras de fabricaciones de los componentes.

En el caso que nos ocupa, relativo al cimbrado de viaductos y grandes estructuras de hormigón, la adaptación de las estructuras de cimbrado a los movimientos horizontales impuestos en los contactos con el viaducto, debido a acciones térmicas o reológicas, por ejemplo, puede ser mucho más favorable que la considerada en los modelos idealizados. En estos últimos, estos movimientos horizontales pueden resultar en acciones clave, determinantes y limitantes, cuando la realidad es totalmente distinta. Esto es incluso más importante en viaductos largos en las zonas más alejadas de los puntos fijos de la estructura (provisionales o definitivos). Igualmente, el comportamiento de la interacción entre la cimbra y la estructura a lo largo del proceso de toma de resistencia del hormigón puede estar condicionado por el comportamiento de detalle de los elementos de cimbrado, además del comportamiento de las secciones hormigonadas y de las condiciones de endurecimiento o postesado en su caso.

Teniendo en cuenta todo lo expuesto en los párrafos anteriores, el objetivo de este proyecto es la automatización del diseño de las soluciones de los sistemas de cimbra propio L70 mediante el uso de tecnologías alineadas con la metodología BIM. Esto por un lado permitirá disminuir las horas de ingeniería de cada proyecto de cimbrado aumentando la seguridad de los diseños al eliminar los posibles fallos inherentes al error humano como puede ser la entrada de datos y por otro, introducir en los modelos de

cálculo la caracterización de los elementos de cimbrado obtenida de la investigación operativa realizada mediante una campaña de pruebas de carga sensorizadas. A los beneficios anteriores se añaden todos aquellos propios de la metodología BIM: visualización y coordinación 3D, obtención documentación 2D, control logístico de materiales etc...

El contenido de este artículo forma parte del proyecto “Sistemas Digitalizados, Automatizados e Inteligentes de Cimbrado de Grandes Estructuras de hormigón Armado y Pretensado”, de objetivo ambicioso y que está siendo desarrollado en la actualidad con ayuda de la subvención concedida por la Agencia Valenciana de la Innovación de la cual Levantina, Ingeniería y Construcción S.L., en adelante LIC, resultó beneficiaria en 2022. Este proyecto, de duración total 29 meses, tuvo su arranque en mayo de 2022. En él, LIC asume el papel de líder del Proyecto contando para su desarrollo con la colaboración de INGREEN INNOVACION y del organismo de investigación ICITECH (Instituto Universitario de Ciencia y Tecnología del Hormigón) de la UPV (Universitat Politècnica de València).

1. Metodología

1.1. Esquema metodológico

La metodología del Proyecto “*Sistemas Digitalizados, Automatizados e Inteligentes de Cimbrado de Grandes Estructuras de hormigón Armado y Pretensado*” puede sintetizarse en las siguientes fases (Fig. 1):

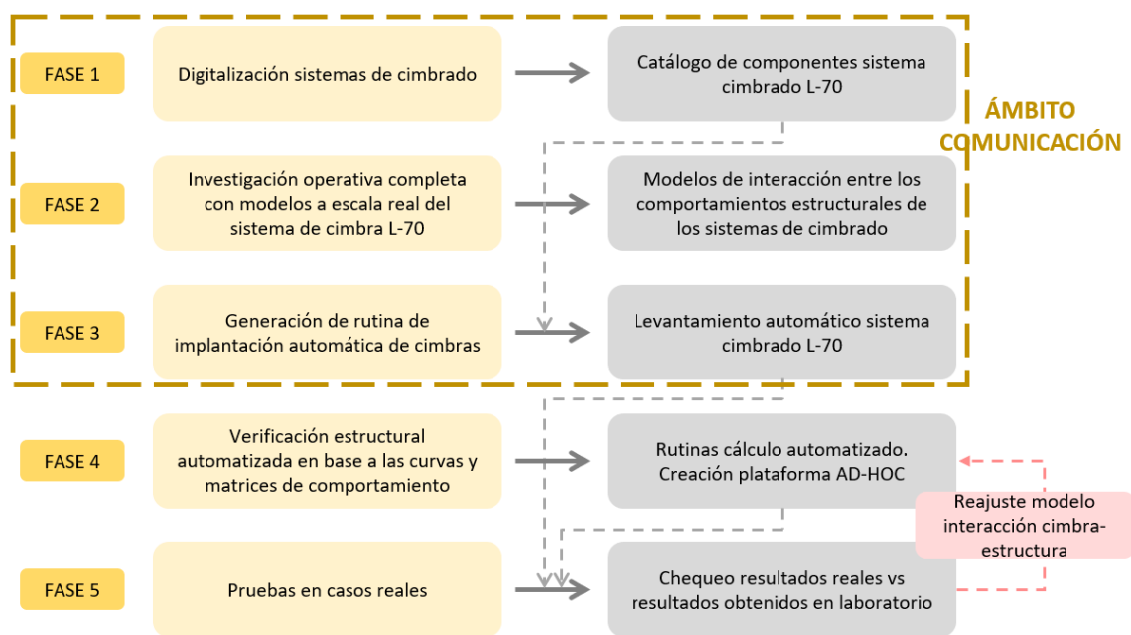


Fig. 1 Esquema metodológico. Fuente: Propia (2024)

Como se ha comentado ya en la introducción, este Proyecto se encuentra actualmente en curso por lo que, con el objetivo de poder ilustrar los principales avances y resultados obtenidos, el ámbito de esta comunicación se limitará a las 3 primeras fases. Las fases restantes serán recogidas dentro del apartado *Desafíos Existentes. Futuras Líneas de Investigación* donde se sintetizará el/los objetivos perseguidos en casa una de ellas y las directrices planteadas para la consecución de los mismos.

1.2. Análisis de fases. Resultados obtenidos

1.2.1. Fase 1: Digitalización Sistemas de cimbrado

Los participantes de esta etapa del proyecto serán *Levantina Ingeniería y Construcción*, junto con la empresa *Ingreen Innovacion*, pionera en la transformación digital del sector de la construcción con una amplia experiencia en el desarrollo de proyecto basados en la metodología BIM, así como en el cálculo de parámetros medio ambientales.

Esta fase puede dividirse a su vez en las siguientes sub-fases:

a) Generación del catálogo de elementos

El arranque del proyecto comenzó con la digitalización de los elementos que forman parte de los sistemas de cimbrado y encofrado. Así, se elaboró un catálogo con todos los elementos que constituyen la cimbra L70 utilizando para ello el software *Tekla Structures*. Fue necesario dotar a cada una de las componentes digitalizadas de un grado de flexibilidad suficiente de forma que fueran capaces de poder adaptarse paramétricamente a todos los condicionantes que rigen el replanteo del sistema de cimbrado. A modo de ejemplo (véase figura adjunta), la altura del husillo hubo que parametrizarla en el rango posible (mínima - máxima apertura) de manera que luego el husillo pudiera ser adaptado geoméricamente a las condiciones existentes.

b) Generación de plantillas

Junto con la generación del catálogo fueron llevadas a cabo una serie de actividades paralelas y que permitían que a partir de un levantamiento 3D de la cimbra L70 utilizando los elementos del catálogo los entregables relacionados con el diseño de cimbrado fueran obtenidos de manera semiautomática suponiendo esto ya en si una ventaja con respecto al método convencional. Así, fueron generadas plantillas tipo para la obtención de planos, plantillas de despiece con la información necesaria para contabilizar elementos y plantillas tipo para la exportación de los modelos a IFC.

c) Formación de los técnicos en el manejo de *Tekla Structures*

Para poder llevar a cabo el manejo de la biblioteca digital generada fue necesaria la formación de los técnicos de la empresa que llevan a cabo este tipo de trabajos tanto con el software BIM, esto es *Tekla Structures*, como con el catálogo de elementos.

d) Proyecto piloto

Para finalizar esta fase se llevó a cabo el proyecto piloto "*Proyecto de Construcción del Viaducto del Quisi en el Tramo Calp-Teulada de la línea 9 de la red Tram de Alicante*". Este permitió, por una parte, afianzar la formación de los técnicos y por otra ajustar y/o modificar las distintas componentes según las necesidades que iban surgiendo al ser empleadas en un caso real.

1.2.2. Fase 2: Investigación operativa completa con modelos a escala real del sistema de cimbra L-70

El objetivo de esta etapa es establecer la base a partir de la cual se pueda automatizar las verificaciones de seguridad del sistema de cimbrado durante la ejecución, así como tener controlado el comportamiento e influencia en las estructuras de hormigón que se construyen junto con la historia tensional de las mismas a partir del fraguado del hormigón.

Esta fase se está llevando a cabo en los laboratorios del *ICITECH-UPV* a partir del ensayo de una batería de configuración de elementos de los sistemas de cimbrado frente a cargas horizontales y verticales. El seguimiento de los ensayos se realiza a través de una disposición adecuada de sensores que muestran los efectos de las cargas estáticas o de deformaciones impuestas en los mismos pudiendo así determinar con precisión los diagramas de interacción entre la capacidad de los elementos para soportar las cargas y los desplazamientos impuestos en la cabeza de los sistemas de cimbrado (v.g. deformaciones térmicas y reológicas producidas por los tableros de los viaductos de hormigón armado y pretensado que sustentan). Los ensayos y resultados contemplarán las holguras de configuración de los elementos de cimbrado, así como las reservas de flexibilidad que las holguras otorgan a los mismos. Estos modelos teóricos ofrecen la oportunidad de extrapolar los resultados a otros casos no ensayados previa calibración y configuración de

los modelos constituyendo por tanto esta investigación la base del análisis del comportamiento de la interacción cimbra-estructura.

1.2.3. Fase 3: Generación de rutina de implantación automática de cimbras

Consiste en la generación de una serie de rutinas de definición geométrica que sean capaces de realizar la implementación automática de los sistemas de cimbrado L70 en base a unas variables y parámetros a introducir y utilizando los componentes del catálogo desarrollado en la fase anterior. Estas rutinas se han llevado a cabo con Grasshopper y Python pudiéndose sintetizar a nivel teórico de la siguiente manera:

Rutina 1: Posicionamiento de las barcas.

Esta rutina tiene como objetivo la ubicación de las barcas en función de los pesos, longitud a cubrir, zonas específicas, stocks de las diferentes tipologías de barca etc.. El flujo de trabajo diseñado comienza con la importación de un archivo en formato .dxf o similar a la interfaz de Rhinoceros el cual contendrá los parámetros geométricos que condicionarán en primera instancia la solución de cimbrado. Así, dicho archivo deberá incluir:

- Eje de trazado.
- Eje en planta.
- Línea de terreno.
- Posición de las pilas.
- Secciones exteriores e interiores.

Tras esto, dentro del plugin Grasshopper se introducen el número de barcas de cada tipo en stock de forma que la solución obtenida quede particularizada para las existencias reales en un momento dado.

A continuación, la rutina generada distingue 3 fases de forma que el algoritmo permita crear un tablero con sección interna variable. Así, recorriendo el tablero con pk crecientes de izquierda a derecha las fases implementadas en el algoritmo e inputs necesarios para la definición de las mismas son las siguientes:

- *Fase inicial:* Se introducirán como inputs el pK del final del frente de fase y la distancia hacia la izquierda desde la primera pila hasta donde comienza la sección del estribo. Definidas estas distancias, que darán lugar a una serie de tramos, mediante unos botones se selecciona el eje de trazado, el eje en planta y la sección interior de cada uno de los tramos anteriores.
- *Fases intermedias:* Para estas fases, se introducirán los PKS de frente de fase, así como las secciones interiores de la parte izquierda (pK-) y derecha (pK+). En esta fase no es necesario indicar la sección de la pila ya que adopta por defecto la definida en la fase inicial.
- *Fase final:* Finalmente se introducirá la distancia hacia la derecha desde la última pila hasta el segundo estribo. Como en el caso anterior, no será necesario introducir ni la sección de la pila ni la del estribo, ya que el algoritmo toma las secciones ya definidas en anteriores fases.

Una vez introducidos esos inputs, el algoritmo levantará la geometría del tablero ubicando el tipo de barca a utilizar y las distancias óptimas entre las mismas. Para ello, en cada fase la programación analiza automáticamente cuales son los tramos con secciones diferentes y busca donde se encuentra la posición de la pila, punto de arranque del proceso iterativo (Fig.2).

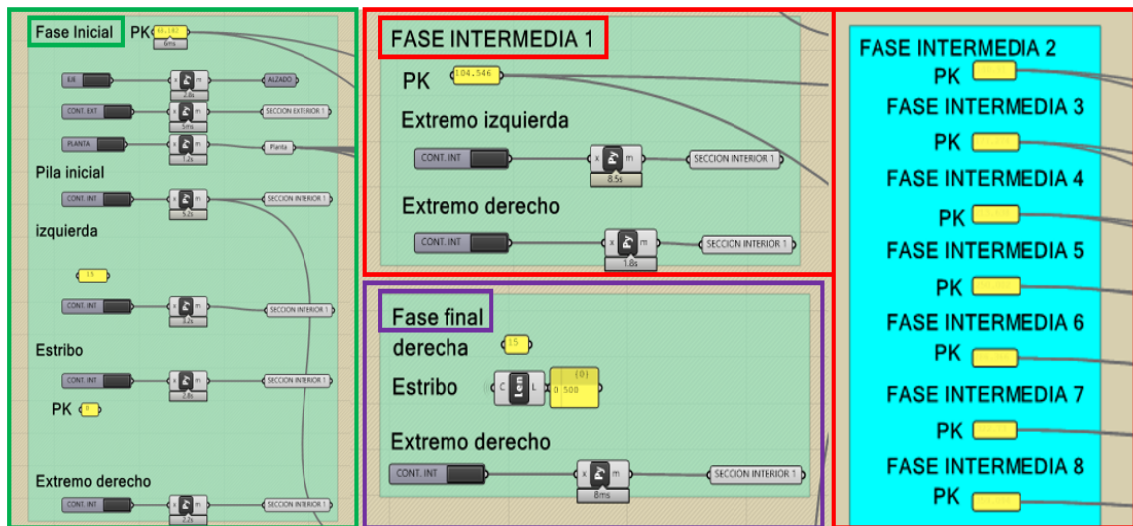


Fig. 2 Rutina 1, posicionamiento de las barcas. Definición de fases. Fuente: Propia (2024)

Así, localizadas las diferentes secciones, calcula el peso nominal de las mismas, y mediante un código de Python empieza a iterar verificando en primer lugar si el peso de la sección objeto de la fase iterativa puede ser soportado por barcas de 4m de largo con módulos de 4 patas de apoyo. En caso de poder soportarlo, el output obtenido indica que puede utilizar tanto barcas de 4m, como de 3.5m como de 3m. En caso contrario comprueba si son válidas las barcas de 3.5m de largo que tienen mayor soporte al peso, si cumple podrán usarse las de 3.5m y 3m, si no cumple realiza la misma comprobación para las barcas de 3m.

En caso de que ninguna de las anteriores cumpla, pasamos a un bucle de iteración con barcas de 4m, 3.5m y 3m, pero ahora apoyadas en módulos de 6 patas. Si esto tampoco cumple, realiza el cálculo con barcas apoyadas en módulos de 8 patas.

Una vez definidos los tipos de módulos a utilizar, así como los tipos de ancho de barcas permitidas, estos datos son introducidos a otro código de Python, que realiza la “búsqueda” (o método) de la sección dorada. Esta técnica nos permite utilizar el máximo número de barcas posibles, jugando con los espacios entre ellas, para conseguir que la superficie ocupada sea la máxima posible.

Finalmente, obtenido el espaciamiento de las barcas, la tipología y la posición, esto se ve plasmado en planta sobre el eje, diferenciando por colores y atributos las posiciones para la siguiente rutina. También genera un modelo 3D del tablero del puente con la ubicación de las barcas de encofrado (Fig. 3).

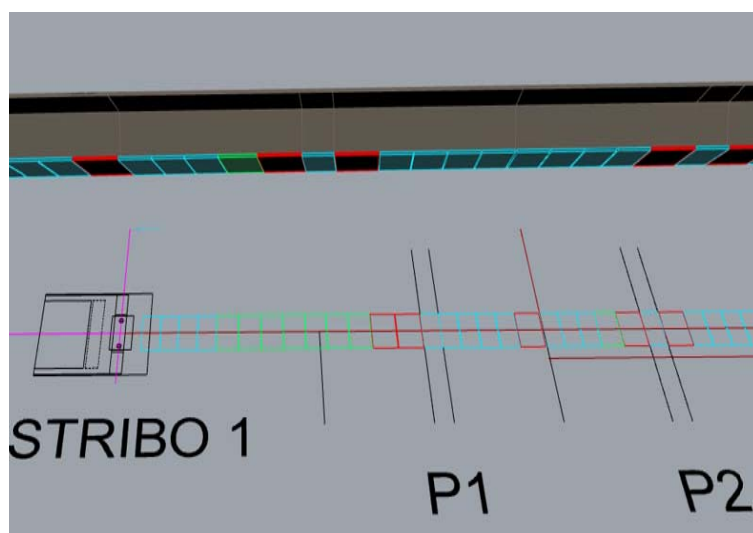


Fig. 3 Output rutina 1, vista 3D y planta. Fuente: Propia (2024)

Rutina 2: Configuración de las torres

Esta rutina bebe de los resultados del algoritmo anterior y tiene como finalidad la distribución y colocación de las torres de encofrado. La principal dificultad encontrada en la generación de esta rutina ha sido implementar la formulación adecuada que permita cubrir la distancia desde el suelo hasta la cara inferior del tablero utilizando las diferentes tipologías de módulos que conforman las torres de encofrado de la cimbra L70 ya digitalizados en Tekla Structures.

Así, partiendo del output final de la rutina anterior, es decir, de la distribución de las barcas se obtiene en planta una sucesión de rectángulos resultado de la proyección en planta de las mismas. De estos rectángulos, se calcula el centroide desde donde se proyecta una recta que interseca con la línea del terreno y con la cara inferior del tablero constituyendo cada una de estas líneas el eje central de las torres de encofrado. La división adecuada de estas rectas permite definir la composición de las torres de encofrado según los módulos tipo de altura 2,6 m o 1,3 m (Fig. 4) Además, tanto en la parte superior como inferior de estos módulos, las torres cuentan con husillos que permiten adaptar la distancia sobrante.

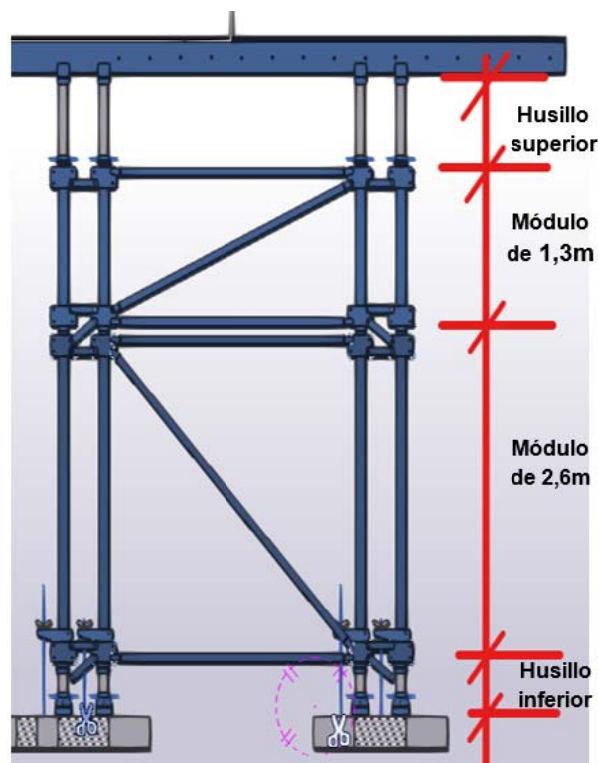


Fig. 4 Configuración de las torres. Fuente: Propia (2024)

La clave de la generación de estos módulos radica en adaptar las longitudes de la línea inicial a la cantidad de módulos que caben. Es decir, en el hipotético caso que se tenga una longitud de línea de 10 metros, esta sería dividida inicialmente entre 2,6 m obteniéndose 3,84 ud lo que equivale a 3 módulos de 2,6 m y un sobrante de 2,2 m. Esto significa que cabe un módulo de 1,3 m y restarán 90 cm. En este caso, esos 90 centímetros se absorben entre el husillo superior y el husillo inferior (Fig.5).

Este es un caso dentro de los millones de casuísticas que se pueden dar. Para eso se han establecido unos criterios en la programación. Estos criterios consisten en que, cuando dividimos entre 2,6 la primera vez, dependiendo del sobrante resultante se definen los siguientes casos:

>2,2m y <2,6 m:

Se alarga la distancia que falte hasta 2,6m y se mete un módulo más de 2,6m. Los husillos inferiores medirán 30cm.

>1,3 m y <2,2m:

Se mete un módulo de 1,3m y el sobrante lo absorben entre el husillo superior y el inferior. Hay que tener en cuenta que el segundo sobrante obtenido al introducir el módulo de 1,3 puede ser incluso de 1cm. Si se da el caso que el sobrante es de 1,31 cm, al meter el módulo de 1,30 solo sobrará 1 cm. Por lo tanto, todos los husillos inferiores a 30cm tendrán que condicionarse a esa longitud.

>1,1m y <1,3 m:

Se alarga la distancia que falte hasta 1,3m y se mete un módulo más de 1,3m. Los husillos inferiores medirán 30cm.

>0,0m y <1,1m:

Esa distancia sobrante se divide entre el husillo superior y el husillo inferior.

Una vez establecida la programación genérica que divide de forma vertical los módulos esta tiene que adaptarse, en cualquier caso, a las diferentes tipologías de módulos de los que LIC dispone ya que, dentro del catálogo, se localizan módulos de 4, 6 y 8 patas con diferentes anchuras entre ellos. Por lo tanto, una vez generada la programación definitiva, ha sido necesaria testearla con ejemplos reales de proyectos que se han ejecutado y ver que se adapta a todas las casuísticas.

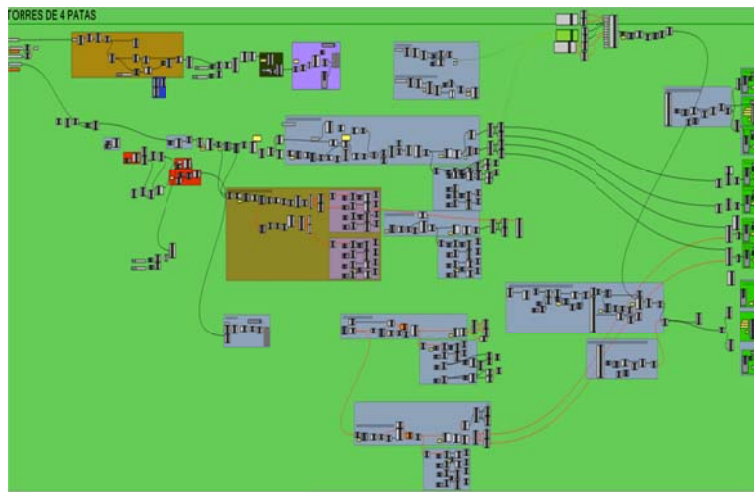


Fig. 5 Ejemplo programación torres de 4 patas. Fuente: Propia (2024)

El último step del proceso consiste en que todos estos “inputs” sean procesados como geometrías dentro del Software Tekla Structures. Esto se consigue mediante el flujo de trabajo continuo entre el plugin interno de Rhinoceros llamado Grasshopper, visto anteriormente, donde podemos obtener la disposición de estos módulos de forma paramétrica e instantánea.

Grasshopper, se conecta con el software Tekla Structures, donde se ha creado anteriormente todas las tipologías de módulo, cuya posición ha sido calculada y optimizada mediante códigos Python (dentro de Grasshopper), a través de componentes personalizados a través del Tekla live link. Lo que significa que no se está exportando geometrías desde grasshopper/Rhino a Tekla, si no que el flujo de información es directo entre un software y otro. Los módulos, las zapatas y los apoyos de los husillos se generan mediante una “componente” personalizada. Los husillos se generarán mediante la componente “viga”.

Una vez concluido todo el proceso de modelado, la empresa podrá disponer de un archivo nativo desde el que poder generar planos. Además, se podrán obtener las BOQ tanto de los módulos necesarios, como de las partes que componen estos módulos. Por último, se podrá exportar un IFC en el caso de ser esto necesario para realizar tareas de coordinación a nivel de proyecto (Fig.6).

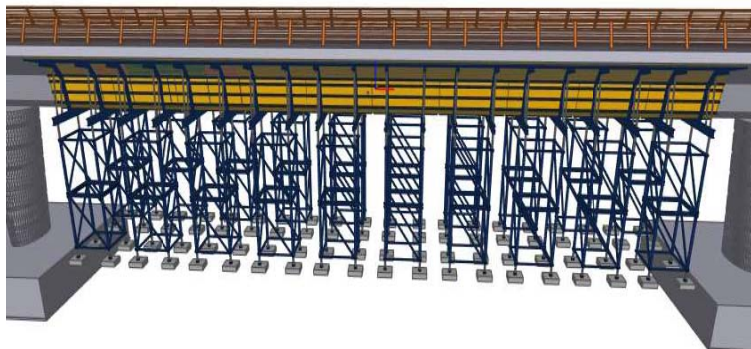


Fig. 6 Proyecto piloto. Fuente: Propia (2024)

2. Desafíos existentes. Futuras líneas de investigación

Los resultados obtenidos con la metodología propuesta son de gran interés si bien se considera que tienen un amplio recorrido de mejora siendo para ello necesario el desarrollo de las siguientes fases del proyecto. Estas fases restantes junto con un pequeño resumen del alcance de las mismas son recogidas a continuación:

Fase 4: Verificación estructural automatizada en base a las curvas y matrices de comportamiento.

La finalidad de esta etapa es el poder automatizar las verificaciones de seguridad del sistema de cimbrado durante la ejecución. Para ello, deberán generarse rutinas de exportación de los modelos BIM del conjunto cimbra-estructura obtenidos como resultado de las Fases 1 y 2 a una plataforma que se desarrollará AD-HOC para el Proyecto y en la cual se llevará a cabo el proceso de diseño de las cimbras a partir de una serie de verificaciones automáticas en base a las curvas y matrices de comportamiento obtenidas en la Fase 2.

Fase 5: Pruebas en casos reales

Finalmente, se realizarán pruebas operativas de configuración, modelización, cálculo y verificación sensorizada del comportamiento en caso real. Se pretende de esta forma que, a través de una sensorización del comportamiento de los sistemas de cimbrado y del viaducto de hormigón, se pueda comprobar a escala real que los modelos virtuales de cálculo implementados representan adecuadamente la realidad. A partir de estas pruebas se realizarán ajustes al modelo de interacción entre los comportamientos estructurales de los sistemas de cimbrado y las estructuras de hormigón ejecutadas a lo largo de la etapa de construcción del viaducto.

3. Conclusiones

Se considera que en el estado actual en el que se encuentra el Proyecto “*Sistemas Digitalizados, Automatizados e Inteligentes de Cimbrado de Grandes Estructuras de hormigón Armado y Pretensado*”, la metodología expuesta es ya de por sí de gran aplicabilidad en el que hacer de nuestros técnicos a la hora de enfrentarse a un proyecto o anteproyecto de cimbrado. El levantamiento automático de las soluciones particulares de cimbrado aumenta la productividad al reducir las horas empleadas en la definición de dichos sistemas de cimbrado. Por ende, la maqueta digital tridimensional permite contar con el beneficio de las ventajas inherentes a la metodología BIM tales como obtención de planos y de despiece de materiales, planificación, realidad virtual y aumentada etc.

Sin embargo, y dando un paso al frente para la migración de la construcción tradicional a la Construcción 4.0, se considera de gran interés el desarrollo de las restantes fases del proyecto de cara a optimizar los diseños y mejorar la seguridad de las soluciones de cimbrando.

Referencias

CASAS J.R., (2015). "The Bridges of the Future or the Future of Bridges?" *Front. Built Environ.* <http://doi:10.3389/fbuil.2015.00003>.

J.-S. TAN, K. ELBAZ, Z.-F. WANG, J.S. SHEN, J. CHEN, (2020) "Lessons Learnt from Bridge Collapse: A View of Sustainable Management" *Sustainability 2020, 12(3), 1205*. <http://doi:10.3390/su12031205>.

URBAN TACTICS - PLATAFORMA WEB BIM BASADA EN DISEÑO GENERATIVO PARA OPTIMIZAR ESTUDIOS DE VIABILIDAD URBANÍSTICA

Quintana-Romo, Mikel^a; Capelastegui-Lasso, Abel^b; Moros-Montañés, Jacinto Jesús^c

^aArquitecto, técnico senior en el Laboratorio de Tecnologías digitales en Tecnia, mikel.quintana@tecnalia.com; ^bArquitecto técnico, Responsable del Laboratorio de Tecnologías digitales en Tecnia, abel.capelastegui@tecnalia.com; ^cArquitecto, investigador en el Laboratorio de Tecnologías digitales en Tecnia, jesus.moros@tecnalia.com

Abstract

Our Urban Tactics platform is framed in the evolution of architecture and construction, evolving from manual design to CAD and BIM integration, overcoming its limitations with Generative Design. Inspired by projects such as Evolving Floor Plans, it perfects urban planning using geographic and urban data. It supplies generative algorithms in a web interface accessible to all, improving project communication and efficiency. It stands out in the BIM field for: (1) Dynamic Web Maps: Search and creation of urban plots. (2) Configuration of Urban Planning Parameters: Customization of urban planning parameters with data automatically extracted from PDF regulations. (3) AI-Assisted Design: Generation of design options using AI evolutionary algorithms. (4) Design KPI Analysis: Evaluation of design solutions using key performance indicators. (5) Export to BIM Software: Compatibility and seamless export to tools such as Rhino and other BIM software. (6) Detailed Reporting: Issuance of comprehensive reports related to urban planning.

This article highlights how Urban Tactics marks a significant advance in urban feasibility studies, enabling more efficient, customized designs adapted to the modern challenges of the sector, raising the standards in the use of BIM data and visualizations.

Keywords: Generative, Algorithm, BIM Web Platform, Data, Visualization, Grasshopper, Python, React.

Resumen

Nuestra plataforma Urban Tactics se enmarca en la evolución de la arquitectura y construcción, evoluciona desde el diseño manual a la integración del CAD y BIM, superando sus limitaciones con Diseño Generativo. Inspirándose en proyectos como Evolving Floor Plans, optimiza la planificación urbanística utilizando datos geográficos y urbanos. Facilita algoritmos generativos en una interfaz web accesible para todos, mejorando la comunicación y eficiencia del proyecto. Destaca en el ámbito BIM por: (1) Mapas Web Dinámicos: Búsqueda y creación de parcelas urbanísticas. (2) Configuración de Parámetros Urbanísticos: Personalización de parámetros urbanísticos con datos extraídos automáticamente de normativas en PDF. (3) Diseño Asistido por IA: Generación de opciones de diseño utilizando algoritmos evolutivos de IA. (4) Análisis de KPIs en Diseño: Evaluación de soluciones de diseño mediante indicadores clave de rendimiento. (5) Exportación a Software BIM: Compatibilidad y exportación fluida a herramientas como Rhino y otros softwares BIM. (6) Informes Detallados: Emisión de informes completos relacionados con la planificación urbanística.

Este artículo resalta cómo Urban Tactics, marca un avance significativo en los estudios de viabilidad urbanística, permitiendo diseños más eficientes, personalizados y adaptados a los desafíos modernos del sector, elevando los estándares en el uso de datos y visualizaciones en BIM.

Palabras clave: Generativo, Algoritmo, Plataforma Web BIM, Datos, Visualización, Grasshopper, Python, React.

Introducción

Gran parte del trabajo de un arquitecto es hacer y rehacer: líneas, formas y geometrías. Desechar y comenzar de nuevo. Entre la primera idea y el proyecto final, existe un camino largo y agotador. Esto se debe a que el diseño es una toma infinita de decisiones; un cambio influye en muchos otros elementos y, en resumen, es un ejercicio de elecciones y concesiones.

En este contexto, el sector de la arquitectura y la construcción se ha apoyado desde hace varias décadas en herramientas innovadoras que han permitido aumentar la calidad y reducir los tiempos de ejecución de proyectos arquitectónicos.

Una nueva tecnología se plantea como la tercera revolución del sector y en ella el ordenador adquiere un nuevo papel, casi de protagonista, participando activamente en el proceso creativo. En un proyecto basado en el diseño generativo, la computadora ya no es solo un lugar para graficar el proyecto, o incluso para registrar materiales y geometrías. Se convierte en coautor del proyecto, presentando múltiples alternativas de diseño, incluida la clasificación de las posibilidades más adecuadas a las menos adecuadas, según los requisitos previos y las premisas definidas por el diseñador. (Suphavarophas, 2023).

Las computadoras pueden ayudar a organizar y priorizar esas decisiones, pero en realidad no pueden tomarlas. Solo las personas pueden decidir lo que es importante. Como señala David Benjamin, arquitecto fundador del estudio de investigación The Living: "Si bien un algoritmo sigue siendo solo un algoritmo, solo un humano decide qué problema resolver, qué objetivos deben lograrse y qué factores son más importantes para resolver un problema. Las computadoras pueden ayudar a organizar y priorizar esas decisiones, pero en realidad no pueden tomarlas. Solo las personas pueden decidir lo que es importante. El diseño generativo ofrece a los arquitectos, ingenieros y constructores una nueva libertad para diseñar y crear un mundo mejor". (Souza, 2020)

1. Objetivo

Urban Tactics se presenta como una plataforma web BIM desarrollada en React y diseñada con un propósito claro que es mejorar significativamente los procesos de planificación urbanística. Esta mejora se logra mediante el desarrollo de algoritmos de diseño generativo que tienen como objetivo crear escenarios 3D optimizados para proyectos urbanísticos. La plataforma que hemos desarrollado está enfocada en facilitar la generación de soluciones urbanas, proporcionando así una herramienta que permita a arquitectos y planificadores urbanos diseñar espacios que respondan de manera óptima a las necesidades del entorno y sus habitantes, cumpliendo siempre la normativa urbanística. Siguiendo una línea similar, plataformas como TestFit.io, ARCHISTAR, y ARCHITECHTURES también se han posicionado como herramientas clave en el sector y que nos han servido como inspiración.

2. Metodología

Para garantizar que la creación de escenarios urbanísticos responda efectivamente a las necesidades específicas de los usuarios, es importante que la interacción entre estos y la plataforma web este bien estructurada. Tener en cuenta esta interacción permitirá al usuario hacer ajustes detallados y mejorar el proyecto según sus necesidades. A continuación, se describen los cinco pasos que tiene que dar el usuario para emplear la herramienta *Urban Tactics*:

- Paso I. Menú principal: Acceso y creación de proyectos. El primer paso consiste en entrar al menú de proyectos, lo que requiere preparar un lugar para guardar los proyectos creados. Esto implica establecer un sistema en la nube o crear un repositorio. Este sistema facilita el almacenamiento y la compartición segura y eficaz de los proyectos, permitiendo a los usuarios acceder fácilmente a proyectos existentes o empezar nuevos.
- Paso II: Configuración del solar del proyecto. Este paso se dedica a la configuración inicial del solar del proyecto, integrando información catastral y del entorno. Se toman en cuenta factores críticos

como las dimensiones del terreno, restricciones legales, y las características físicas y ambientales relevantes.

- Paso III: Definición de parámetros urbanísticos para la generación de diseño. Tras la configuración del solar, se procede a incorporar los detalles de las normativas urbanísticas aplicables y a configurar los parámetros específicos del diseño del proyecto.
- Paso IV: Evaluación de resultados y URBANGPT. Tras generar un conjunto de opciones de diseño alineadas con las necesidades previamente identificadas, se procede a una evaluación profunda de cada solución propuesta. Esta exploración se realiza mediante análisis detallados que abarcan aspectos económicos, espaciales y ambientales, permitiendo una comprensión integral del potencial y la viabilidad de cada opción.
- Paso V: Exportación de los resultados. El paso final permite la exportación del proyecto en un modelo BIM, en específico en un archivo IFC, y la creación de un informe detallado que incluye análisis de viabilidad, estimaciones de costes, y una descripción detallada de la planificación de la solución.

En la Figura 1 se describe cada paso de la plataforma con su objetivo principal.

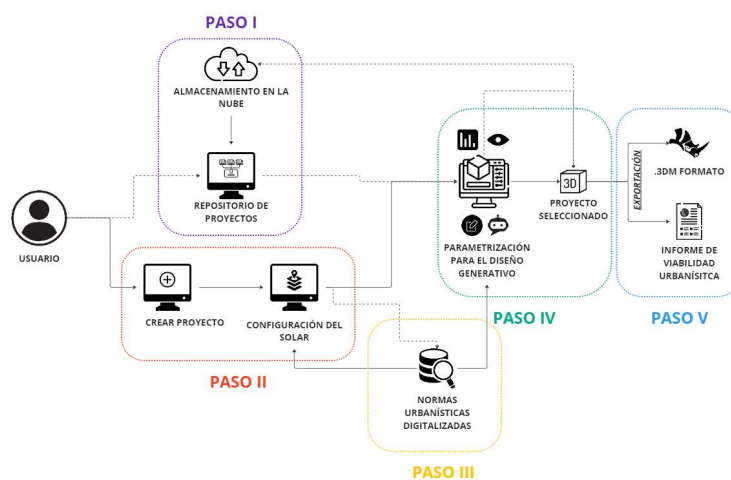


Fig. 1 Diagrama del flujo de trabajo de la aplicación. Fuente: Elaboración propia (2023)

1.1. Paso I: Menú principal. Acceso y creación de proyectos.

En la etapa inicial de interacción con la plataforma *Urban Tactics*, los usuarios encuentran un menú principal diseñado para otorgar un acceso directo e intuitivo a los proyectos ya creados (Figura 2) y a la funcionalidad de inicio de nuevas planificaciones urbanísticas.

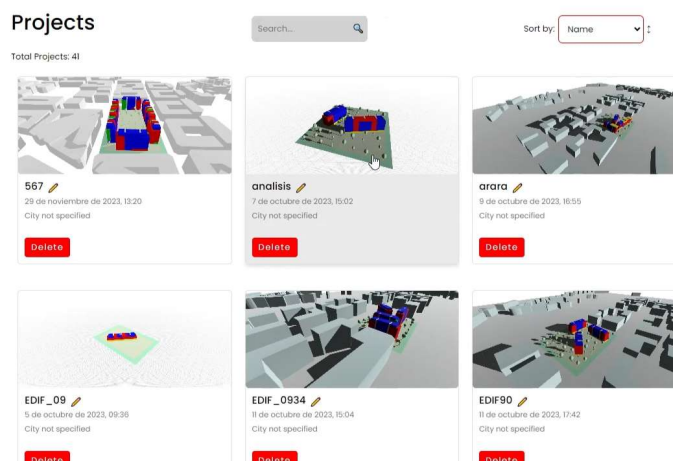


Fig. 2 Repositorio de modelos BIM creados. Fuente: Elaboración propia (2023)

Este repositorio no solo está concebido para la creación y la personalización de los proyectos, sino que también está equipado con capacidades para compartir o suprimir proyectos conforme a los requerimientos del usuario. Para una exploración más específica, se pueden aplicar filtros avanzados, como el número de unidades habitacionales por proyecto y su coste asociado, la fecha de creación, el nombre del proyecto o la localización geográfica, mejorando así la eficiencia en la búsqueda y la selección de proyectos.

La robustez de este sistema recae en la implementación de soluciones en la nube, en nuestro caso se ha utilizado Firebase, un servicio provisto por Google, como servidor de almacenamiento. Para ello mediante el uso de identificadores exclusivos asignados a cada proyecto generado, se garantiza una organización segura de la información. Esto permite la conservación de la planificación del proyecto al completo, que incluye tanto los modelos tridimensionales BIM como los parámetros empleados en la generación del diseño, facilitando así la evolución y reajuste del proyecto en fases sucesivas.

1.2. Paso II: Configuración del solar del proyecto

El segundo paso en la plataforma es entrar al menú de emplazamiento (Figura 3), lo que inicia el proceso de diseño y planificación del proyecto. Durante esta fase, el usuario deberá escoger o dibujar la parcela donde quiere planificar y desarrollar el proyecto.

Esta etapa se caracteriza por el empleo de tecnologías GIS, incluyendo plataformas como Mapbox, y la utilización de datos geospaciales en formato GeoJSON. Dicha integración posibilita la interacción del usuario con mapas dinámicos para determinar tanto la ubicación de los proyectos arquitectónicos como conocer las regulaciones urbanísticas del solar.

Por un lado, Mapbox enriquece esta configuración del solar con características que optimizan la experiencia del usuario y el análisis de la ubicación:

- Búsqueda de ubicaciones: Ofrece a los usuarios la capacidad de localizar rápidamente direcciones o áreas específicas, acelerando la selección del sitio.
- Selección de estilos de mapa: Los usuarios pueden personalizar la apariencia del mapa para satisfacer diferentes requisitos de visualización, desde vistas satelitales hasta representaciones esquemáticas de calles.
- Visualización en 3D: Proporciona una exploración minuciosa del entorno construido y natural, otorgando a los usuarios una comprensión más rica del contexto circundante.

Como hemos comentado antes, están integradas herramientas de delineación manual que permitan al usuario dibujar la parcela que les interese, o bien optar por parcelas preestablecidas por las regulaciones urbanísticas específicas por cada región.

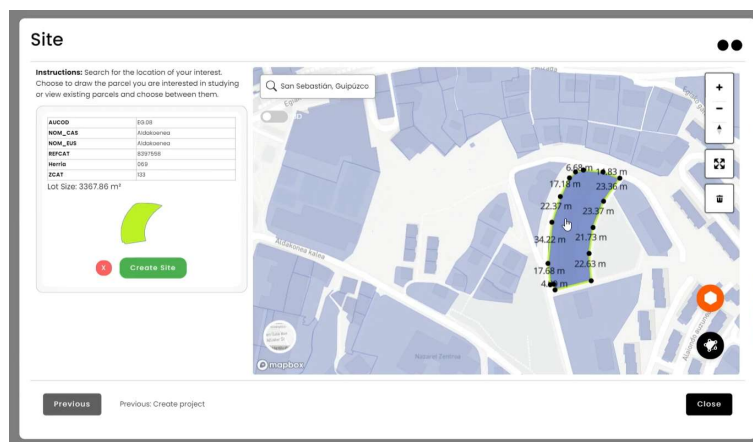


Fig. 3 Parcelas catastrales de San Sebastián. Fuente: Elaboración propia (2023)

Adicionalmente, enriquecemos el sistema GIS con archivos GeoJSON que representan las parcelas catastrales incrustadas con información digitalizada de las normativas urbanísticas. Esta profundidad de

datos se obtiene mediante la aplicación de técnicas avanzadas de aprendizaje automático (Machine Learning) y procesamiento de lenguaje natural (NLP) para la recopilación y análisis de las normativas urbanas. Al seleccionar o dibujar una parcela, los usuarios no solo obtienen visualización geográfica sino también acceso a la información reguladora urbana, asegurando una toma de decisiones bien informada desde las fases iniciales del proceso de diseño.

1.3. Paso III: Definición de parámetros urbanísticos para la generación de diseño

Después de configurar el emplazamiento, el usuario se encuentra en *Urban Tactics* con una interfaz que incluye una columna a la izquierda con dos pestañas principales llamadas "Genetic Design" "Results", donde el usuario por un lado deberá establecer y rellenar una serie de parámetros de planificación urbana (Figura 4) que generan una serie de opciones edificatorias y por el otro evaluará cada una de ellas hasta escoger la que cumplan con sus necesidades.

La interacción con los parámetros se realiza además junto con un entorno visual 3D, utilizando la tecnología de IFC.js para la gestión y creación de modelos BIM en tres dimensiones directamente en el navegador web. Esta visualización en 3D es potenciada y renderizada a través de la biblioteca Three.js, ofreciendo una representación gráfica que facilita la comprensión y la toma de decisiones respecto al proyecto BIM en desarrollo.



Fig. 4 Visualización columna de parámetros. Fuente: Elaboración propia (2023)

El usuario deberá comenzar en la pestaña "Genetic Design", esta actúa como un panel de control donde el usuario puede definir y modificar los parámetros específicos del proyecto. Constituye de siete grupos de parámetros donde cada uno se enfocará en un tema en específico de la construcción. Un ejemplo de estos 7 grupos es la Edificabilidad como muestra la Figura 5. Posteriormente se introducirán en los algoritmos de diseño generativo desarrollados en el backend de la plataforma, permitiendo así la generación de una variedad de soluciones constructivas adaptadas a los objetivos y restricciones del proyecto. Este enfoque permite una exploración detallada de opciones de diseño, desde la distribución espacial hasta la selección de materiales, todos alineados con las metas de sostenibilidad, eficiencia y estética. Tras configurar estos parámetros el usuario procede a activar la generación del proyecto pulsando el botón 'Generar'. Este comando inicia la transmisión de datos hacia nuestro servidor en el backend, alojado en la plataforma web. En el corazón de este proceso está la interacción con Rhinoceros a través de Rhino Compute, que sirve como puente comunicativo con el software, un software de modelado 3D, donde hemos desarrollado algoritmos y scripts especializados dentro de Grasshopper que será responsable de crear modelos 3D y generar opciones de diseño que se ajusten a los parámetros ingresados por el usuario.

Fig. 5 Ejemplo de pestaña llamado edificabilidad. Fuente: Elaboración propia (2023)

El proceso de diseño generativo llevado a cabo en esta fase culmina con la producción de un modelo en formato IFC que nos devuelve de nuevo a la plataforma web. Este modelo representa una representación tridimensional precisa del proyecto sobre la parcela seleccionada.

A continuación, describiremos las siete categorías de parámetros que el usuario debe rellenar.

1.3.1. Tipología de edificación

En la primera categoría, denominada "Tipología de edificación", el usuario deberá seleccionar el tipo de configuración espacial arquitectónica que desea explorar mediante el algoritmo. Esta elección inicial define el marco dentro del cual el algoritmo generará soluciones. Las opciones disponibles abarcan una variedad de estilos y funcionalidades, permitiendo al usuario especificar la naturaleza del proyecto que busca desarrollar. Entre las alternativas a elegir se encuentran:

- Pasante: Edificios que tienen fachada a dos calles opuestas.
- No pasante: Edificios que tienen fachada a una sola calle.
- Con Patio Interior: Edificaciones que incorporan un patio interno, lo cual afecta a la circulación de aire y luz natural.
- En Torre: Edificios de gran altura que tienen un impacto significativo en la densidad y el perfil del skyline.
- Pareadas: Edificaciones que comparten una pared con otra propiedad, pero tienen su propia entrada y espacio exterior.
- Adosadas: Este tipo incluye viviendas unidas entre sí en una fila, compartiendo paredes laterales.

Cada tipología tendrá diferentes implicaciones en cuanto a la distribución del espacio, la privacidad, la densidad de la construcción, y la estética del proyecto. Los usuarios pueden hacer clic en las imágenes para descubrir y aprender más sobre cada estilo, diseño y estructura.

1.3.2. Edificabilidad

En la segunda categoría, llamada "Edificabilidad", el usuario debe definir los aspectos cuantitativos del proyecto. Esto implica introducir los metros cuadrados destinados o el porcentaje de espacio que se asignará a diferentes usos como viviendas, locales comerciales, y plazas de garaje dentro del proyecto. Aunque las normativas urbanísticas a menudo ya establecen estos parámetros y la plataforma en ese caso los introduce automáticamente, en ciertos casos el usuario tiene la libertad de ajustarlos según sus necesidades o preferencias, marcando así los límites de construcción permitidos para distintos tipos de edificaciones y usos comerciales en proporción al área del terreno disponible. Esta personalización

detallada ayuda a crear un proyecto que no solo cumpla con los requisitos legales, sino que también refleje las intenciones y objetivos específicos del usuario. Los parámetros para completar son:

- Viviendas libres
- Viviendas de protección social
- Viviendas tasadas
- Comercial en vivienda libre
- Comercial en vivienda de protección social
- Comercial en viviendas tasadas
- Garajes/trasteros en los distintos tipos de vivienda

También se incluyen criterios específicos como el cómputo de terrazas y descuentos por huecos de instalaciones o ascensor, y para la fachada ventilada o aislamiento de fachada. Estos parámetros determinan la cantidad y el tamaño de las construcciones posibles y afectan directamente a la viabilidad económica, el diseño funcional y la conformidad con las normativas urbanísticas.

1.3.3. Perfil edificatorio

En la tercera categoría de parámetros, denominada "Perfil edificatorio", el enfoque se centra en definir la forma y el volumen del edificio. Similar a la categoría de "Edificabilidad", si las normativas urbanísticas específicas del terreno ya contienen esta información, se completará automáticamente. Sin embargo, si no es así, el usuario tiene la flexibilidad de ingresar estos datos manualmente. Es importante mencionar que, si los datos introducidos por el usuario no se alinean con lo permitido, los algoritmos ajustarán los valores para satisfacer las necesidades del proyecto dentro de los límites que marcan las normativas urbanísticas del terreno. Este proceso garantiza que el diseño final no solo cumpla con las expectativas del usuario sino también con las regulaciones locales. Los parámetros para especificar incluyen:

- Sótanos: Número de niveles subterráneos en el edificio.
- Semisótanos: Niveles que están parcialmente bajo tierra pero que pueden tener acceso a luz natural o salidas a nivel de suelo.
- Plantas Altas (incluida planta baja): Número total de plantas sobre rasante, incluyendo la planta baja.
- Ático: Define la presencia y cantidad de plantas ubicadas en la parte superior del edificio, típicamente caracterizadas por tener terrazas o espacios al aire libre.
- Retiro planta ático: Distancia que el último piso retranqueado (típicamente el ático) debe mantener respecto a los límites normales de la edificación.
- Bajocubierta: Espacios ubicados debajo de la cubierta del edificio, que pueden ser utilizados para vivienda o almacenaje.

1.3.4. Ocupación y retiros

En la cuarta categoría, "Ocupación y retiros", se establecen los límites y restricciones sobre cómo y dónde se puede construir dentro de la parcela. Esta categoría tiene un impacto directo en aspectos como la privacidad, la exposición a la luz solar, la ventilación de los edificios, y el impacto estético en la calle y las parcelas vecinas. Tomando en cuenta estos factores, los usuarios tienen la oportunidad de ajustar valores para asegurar que el diseño final no solo sea funcional sino también coherente con su entorno. Los ajustes permiten optimizar el uso del espacio disponible, respetando al mismo tiempo las normas urbanísticas aplicables. Los valores que los usuarios pueden ajustar incluyen:

- Ocupación máxima: El porcentaje del terreno que puede ser ocupado por la construcción.
- Retiro a vía pública: La distancia mínima que debe mantenerse entre el edificio y la acera o la línea de calle.
- Retiro a parcelas colindantes: La distancia que se debe mantener entre el edificio y las propiedades vecinas.

- Separación mínima entre edificios: Si hay más de un edificio en la parcela, esta medida dicta el espacio que debe existir entre ellos.
- Fondo máximo edificatorio: Define qué tan profundo puede extenderse la edificación dentro de la parcela.
- Alineación máxima u obligatoria: Puede referirse a la regulación sobre cómo se alinean los edificios con respecto a la vía pública o entre sí.

1.3.5. Tipología de viviendas

En la quinta categoría, denominada "Tipología de viviendas", se aborda la definición de la cantidad y el tipo de unidades residenciales que se pueden construir en la parcela. Es posible que, en algunos casos, el usuario no calcule exactamente la cantidad deseada, ya sea excediendo o no alcanzando la cifra ideal. Sin embargo, los algoritmos que implementamos están diseñados para ajustar estos valores, con el objetivo de alinearlos lo máximo posible con las necesidades del usuario y del resto de categorías de parámetros. Para cada tipo de vivienda, los parámetros a configurar son:

- Número máximo de viviendas: Los usuarios deberán establecer el número total de viviendas, lo que afectará directamente la densidad del edificio y la parcela.
- Superficie útil cerrada (SUC): Se especificará el tamaño para las unidades residenciales basadas en el número de dormitorios. Por ejemplo:
 - Viviendas de 1 dormitorio
 - Viviendas de 2 dormitorios
 - Viviendas de 3 dormitorios
 - Viviendas de 4 dormitorios

1.3.6. Ingresos y costes

En la penúltima categoría, "Ingresos y costes", se proporciona un marco para que los usuarios ingresen y analicen los aspectos financieros vinculados al desarrollo de su proyecto de construcción. Esta sección se enfoca en la planificación económica y la determinación de la viabilidad del proyecto, ya que permite realizar estimaciones precisas de los costos involucrados y los potenciales ingresos que se pueden generar. Al tener una comprensión clara de estos elementos financieros, los usuarios pueden tomar decisiones que maximicen la rentabilidad del proyecto y aseguren su éxito económico. En el último paso de la plataforma el usuario recibirá un desglose económico del proyecto según los datos que ha introducido en esta categoría. Los campos que los usuarios encontrarán en esta sección incluyen:

- Garajes libres: Costo por metro cuadrado para construir garajes no asignados a una vivienda específica.
- Trasteros libres: Costo por metro cuadrado para construir unidades de almacenamiento independientes.
- Garajes y trasteros VPS (Vivienda de protección social): Costo para construir garajes y trasteros asociados con viviendas de protección social.
- Garajes y trasteros VPT (Vivienda de tasada): Costo para construir garajes y trasteros asociados con viviendas de precio tasado.

Además, esta sección puede incluir otros campos para capturar costos asociados como urbanización, valor del suelo, impuestos y tasas, gastos financieros, costos de comercialización, honorarios técnicos y gastos generales.

1.3.7. Optimización

En la última categoría, "Optimización", se centra en perfeccionar y afinar las soluciones de diseño a través de un proceso iterativo y evolutivo, utilizando algoritmos creados en Python, simulan la evolución natural para explorar el espacio de diseño de manera eficiente. El objetivo de esta fase es identificar las mejores soluciones posibles que cumplen con los criterios y objetivos definidos previamente, ajustando el diseño a

través de la selección natural digital. Al introducir parámetros específicos de optimización, se guía el proceso de simulación hacia resultados que equilibran de manera óptima las diversas metas del proyecto.

Para ello los usuarios deberán introducir los siguientes parámetros:

- **Tamaño de la generación:** Se define el número de soluciones de diseño individuales que se crearán y evaluarán en cada iteración del proceso de simulación. Un valor de "50" generará cincuenta variantes distintas en cada ronda de simulación.
- **Número de generaciones:** Indica el número total de veces que se repetirá el ciclo de simulación. Un conteo de "100" implica que se llevarán a cabo cien ciclos evolutivos para refinar las soluciones de diseño.
- **Número de opciones:** Determina cuántas de las soluciones generadas se seleccionarán para un análisis más detallado.

1.4. Paso IV: Evaluación de resultados y URBANGPT

En este paso del proceso, tras haber generado una serie de soluciones potenciales (Figura 6), el usuario ya podrá dirigirse a la pestaña "Results" en *Urban Tactics* donde encontrará de nuevo otras cinco categorías enfocadas en la evaluación y análisis de cada opción generada.

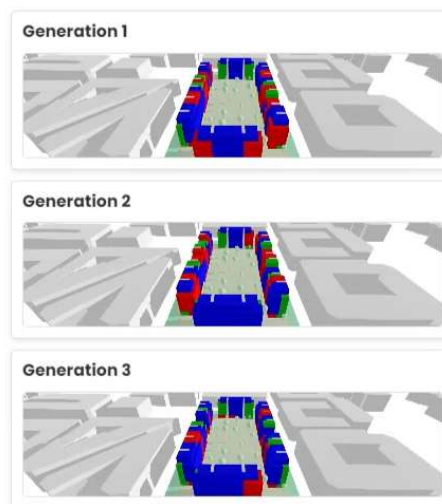


Fig. 6 Opciones generadas por el proceso de diseño generativo implementado. Fuente: Elaboración propia (2023)

Las categorías son:

1. **Opciones de diseño:** se presenta tarjetas para cada solución generativa creada, permitiéndonos seleccionar la que deseamos examinar más a fondo, visualizar y analizar en detalle.
2. **Estadísticas:** nos proporciona estadísticas a través de tablas y gráficas, como porcentajes de uso, el número de viviendas y habitaciones disponibles, y el coste estimado por vivienda, facilitando una comparación rápida y efectiva de cada opción.
3. **Capas:** visualización por niveles del edificio.
4. **Propiedades:** se centra en las propiedades de los elementos constructivos generados, tales como las viviendas, pilares, núcleos de comunicación, suelos, techos y la estructura en general.
5. **Análisis climatológico:** utilizamos herramientas especializadas para el análisis de aspectos medioambientales y de confort como el soleamiento, la radiación solar incidente y la ventilación natural, factores todos ellos determinantes para la sostenibilidad y habitabilidad del diseño. Se ha utilizado el plugin de Ladybug Tools de Grasshopper para realizar estos análisis ambientales avanzados y simulaciones relacionadas con el entorno diseñado.

En la Figura 7 se puede apreciar algunos de los resultados de análisis de una de las opciones escogidas:

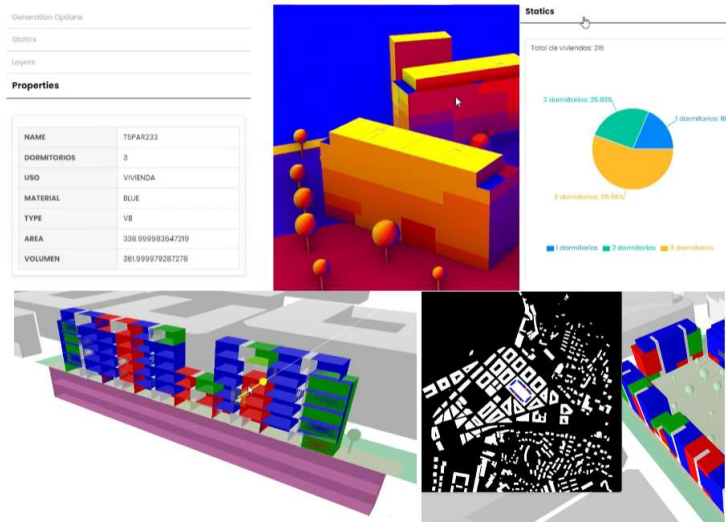


Fig. 7 Resultados y visualizaciones de cada uno de los apartados de análisis de los resultados. Fuente: Elaboración propia (2023)

Complementando a estas categorías de análisis, el usuario dispondrá de herramientas de visualización y análisis 3D que le permitirán la medición del modelo, la realización de cortes transversales y la extracción de planos, entre otras funcionalidades técnicas.

Por último, se ha desarrollado URBANGPT (Figura 8), un chatbot inteligente desarrollado con tecnología de modelos de lenguaje de inteligencia artificial. URBANGPT está diseñado para acompañar a los usuarios a lo largo de todo el proceso, ofreciendo respuestas y aclaraciones en tiempo real sobre dudas específicas del edificio y las regulaciones urbanísticas aplicables al solar.

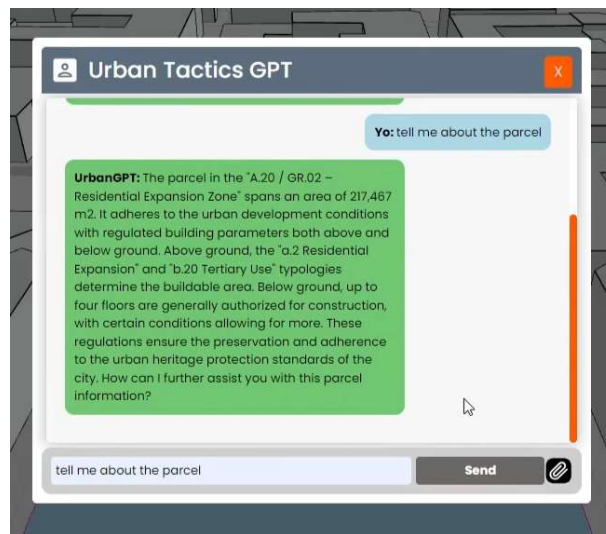


Fig. 8 URBANGPT chatbot. Fuente: Elaboración propia (2023)

1.5. Paso V: Exportación de los resultados

El último paso de *Urban Tactics* consiste en la exportación de la opción de diseño seleccionada. Primero, el usuario podrá exportar el proyecto en formato IFC, que son estándares de la industria para el modelado de información de construcción. Elegimos estos formatos porque facilitan la colaboración multidisciplinaria entre equipos para la gestión del proyecto durante todo su ciclo de vida. Utilizar BIM nos permite realizar modificaciones precisas, simulaciones de rendimiento y coordinar los diferentes aspectos del diseño arquitectónico, estructural y de instalaciones con todos los equipos involucrados.

En segundo lugar, podrá generar un documento PDF que compila: una descripción de los resultados del análisis y del contexto del proyecto incluyendo datos catastrales, y consideraciones urbanísticas y físicas del edificio. Este documento también incluirá un presupuesto estimado del coste que implicaría la realización del proyecto, proporcionando una visión integral del alcance y las implicaciones financieras.

Finalmente, este compendio de información se almacena y se aloja en nuestro servidor comentado en el Paso I. Esta práctica asegura que el proyecto no solo quede debidamente documentado, sino que también esté accesible para futuras evoluciones.

2. Conclusiones

En conclusión, *Urban Tactics* surge como una alternativa en la evolución del diseño urbano y arquitectónico, alineando la innovación tecnológica con la sostenibilidad, la eficiencia económica y la seguridad. Su enfoque en el diseño generativo no solo optimiza los recursos y el tiempo, sino que también abre nuevas avenidas para la creatividad y la personalización del diseño, haciéndolo accesible a un amplio rango de usuarios, independientemente de su nivel técnico.

La integración de herramientas BIM y GIS refuerza esta visión, asegurando que los diseños no solo sean estéticamente atractivos y funcionales, sino también compatibles con el entorno y las regulaciones locales. *Urban Tactics* respeta la autonomía del diseñador, permitiendo una influencia directa en el proceso creativo y garantizando resultados que reflejan las preferencias y necesidades específicas de los usuarios.

Finalmente, la plataforma *Urban Tactics* no es simplemente una herramienta de diseño si no otra vía hacia futuros desarrollos urbanos que sean más eficientes y que estén sintonizados con las decisiones de los usuarios. Este enfoque promete remodelar el paisaje del diseño arquitectónico, orientándolo hacia un futuro más sostenible y receptivo a las complejidades del siglo XXI.

3. Futuros desarrollos

A partir del análisis de los resultados obtenidos y las conclusiones alcanzadas, nos encontramos ante la necesidad de continuar con la implementación y desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas. A continuación, vemos imprescindible avanzar en:

- Integrar sistemas de inteligencia artificial más avanzadas y robustas: Aplicar sistemas de inteligencia artificial más sofisticados que puedan prever y adaptarse a las necesidades cambiantes de las ciudades y sus habitantes.
- Mejorar la interoperabilidad con otras tecnologías: Asegurar la compatibilidad de *Urban Tactics* con otras plataformas o tecnologías de software como la realidad virtual y aumentada, para ofrecer visualizaciones más inmersivas y comprensibles de los proyectos propuestos.
- Expandir el marco normativo y legal: Continuar la expansión de la base de datos de normativas y leyes urbanísticas para incluir más regiones y especificidades locales, promoviendo una adaptabilidad global de la plataforma.
- Implementar la analítica avanzada de riesgos: Incorporar herramientas que permitan una evaluación de riesgos más profunda.
- Mejorar los indicadores de sostenibilidad ambiental: Desarrollar herramientas que evalúen el impacto ambiental de los proyectos en tiempo real, permitiendo ajustes proactivos para lograr la máxima eficiencia energética y el menor impacto ecológico.

Mirando hacia el futuro, nuestro objetivo es evolucionar hacia sistemas que no solo faciliten la creación de entornos construidos, sino que también promuevan un ecosistema urbano más resiliente y armonioso.

Referencias

ARCHISTAR. <https://www.archistar.ai/> [Consulta: 21 de abril de 2023].

ARCHITECTURES. <https://architectures.com/en> [Consulta: 21 de abril de 2023].

Urban Tactics – Plataforma web BIM basado en diseño generativo para optimizar estudios de viabilidad urbanística.
Quintana-Romo, M; Capelastegui-Lasso, A; Moros-Montañés, J.J

LADYBUG TOOLS, Sadeghipour Roudsari, M, <https://www.ladybug.tools> [Consulta: 1 de agosto de 2023].

SOUZA, E. (2020). “¿Cómo impacta el Diseño Generativo en la arquitectura?”. Archdaily.

<<https://www.archdaily.cl/cl/937716/como-impacta-el-diseno-generativo-en-la-arquitectura>> [Consulta: 12 de marzo de 2023].

Suphavarophas, P; Keonil, N; Bunyarittikit, S (2023). “Generative Design Process for Alternative Creation of Architectural Design: Application of Willis Tower Shading Analysis Case Study.” *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 1217 012016.

<https://www.researchgate.net/figure/Generative-design-for-the-MaRS-Autodesk-Office-Project-5_fig1_372868040> [Consulta: 28 de diciembre de 2023]

“Tecnalia - Urban Tactics”. *Youtube* <<https://www.youtube.com/watch?v=gzsd9wPPYs4&t=323s>> [Consulta: 26 de septiembre de 2023]

TESTFIT INC. <https://www.testfit.io/> [Consulta: 21 de abril de 2023].

EXPERIENCIAS REALES CON BIM

ESTRATEGIAS BIM PARA LA ELABORACIÓN DE UN PROYECTO DE REHABILITACIÓN: EL CASO DE ESTUDIO DE LA RPMD DE CARLET

Galiano-Garrigós, Antonio^a, Patón-Ballester, Marina^b y Marco-Peñas, Francisco^c

^a Doctor Arquitecto; Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad de Alicante, España. antonio.galiano@ua.es; ^b Arquitecta y BIM Manager, marinapatonballester@gmail.com; ^c Director de desarrollo y BIM Manager, franjammar9@gmail.com

Abstract

This research describes the strategies developed for the refurbishment project of the RPDM of Carlet from the Conselleria de Igualdad de la Generalitat Valenciana. It is a 32,000 m2 building in which different solutions are developed for the automation of restoration specific processes and to guarantee an appropriate quality level and work coordination.

In this experience, specific strategies are developed to define construction damages and propose repairs. At the same time, strategies are proposed to organize the budget considering the large number of phases into which the project was divided. On the other hand, an energy audit is also carried out in which the BIM model becomes the central repository of all the necessary information.

The size of the building and the large amount of information to be generated confirms that the use of BIM tools has generated added value, leading to the conclusion that without these tools it would not have been possible to successfully complete the work.

Keywords: Refurbishment, Construction Damages, Repairs, Budget

Resumen

La presente comunicación describe las estrategias desarrolladas para la elaboración del proyecto de rehabilitación para la RPDM de Carlet perteneciente a la Conselleria de Igualdad de la Generalitat Valenciana. Se trata de un edificio de 32.000 m2 en el que se aplican diferentes soluciones para la automatización de procesos específicos para un proyecto de rehabilitación y para garantizar la coordinación y el control de calidad de los trabajos.

En esta experiencia se desarrollan estrategias específicas para la definición de lesiones y proponer reparaciones. Al mismo tiempo se proponen estrategias para organizar las mediciones y el presupuesto teniendo en cuenta la gran cantidad de fases en las que el proyecto se dividía. Por otra parte, se realiza también una auditoría energética en la que el modelo BIM se convierte en el repositorio central de toda la información necesaria.

El tamaño del edificio y la gran cantidad de información a generar confirma que el uso de herramientas BIM ha generado un valor añadido llegando a concluir que sin estas herramientas no hubiera sido posible finalizar con éxito el trabajo.

Palabras clave: Rehabilitación, Lesiones, Reparaciones, Presupuesto

Introducción

La mejora tecnológica más importante en el sector de la construcción en España es la implantación del BIM como una tendencia creciente que aporta una solución integrada para la gestión de proyectos de construcción, a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la definición de los objetivos del proyecto hasta el cumplimiento de su vida útil (Galiano-Garrigós & Andújar-Montoya, 2018). Está basado en una mejora de la recogida de datos durante el proceso de diseño y construcción con el objetivo de generar un repositorio único compartido con los diferentes agentes que gestionarán el edificio a lo largo de su vida útil. Esto se consigue porque BIM se basa en una representación digital del proceso constructivo que facilita el intercambio y la interoperabilidad de la información en formato digital.

La implantación de esta metodología se está realizando lentamente y puede considerarse que España aún se encuentra en la fase de concienciación y adopción por parte de los agentes de la construcción (BuildingSmart Spanish Chapter, 2023). La implementación apenas ha comenzado para las administraciones públicas y todavía se encuentra en una fase inicial sobre todo para las PYMES. En el año 2023 se publican las estrategias BIM de la Comunidad Valenciana y del Gobierno de España con el objetivo de introducir BIM en las administraciones públicas y definir un marco regulatorio para garantizar la interoperabilidad y el uso de la información generada que todavía se encuentran en fase de implementación. Es de reseñar que estas directrices están diseñadas para edificaciones de nueva planta no habiéndose publicado información sobre edificios existentes (Generalitat Valenciana, 2023).

Existen investigaciones que demuestran que el uso de tecnologías BIM durante las fases de diseño y construcción evita errores de diseño permitiendo la visualización y por tanto las detecciones de conflictos, interferencias y colisiones (Azhar, 2011; Khanzode et al., 2008) logrando ahorros de hasta el 10% del valor del contrato a través de estas detecciones de colisiones (Azhar, 2011). De hecho, se ha demostrado que BIM reduce los errores y omisiones de documentos hasta en un 52%, también puede reducir las repeticiones de trabajos hasta en un 48% y reducir el tiempo de ciclo de flujos de trabajo específicos en un 39% y el tiempo de ciclo de flujos de trabajo específicos hasta en un 39% (Zhang et al., 2018). Además, es destacable los beneficios relacionados con la reducción y el control de costos a lo largo del ciclo de vida del proyecto (Bryde et al., 2013) ya que BIM proporciona información predecible con respecto a cantidad, costo, cronogramas y materiales (Chen et al., 2013). Además, BIM crea y pone a disposición la información de forma temprana, este hecho junto con la ubicuidad de la tecnología móvil que facilita el acceso a la información del sitio en cualquier momento y desde cualquier lugar acorta la brecha entre la disponibilidad de la información y los tiempos de respuesta. Además, BIM facilita el flujo de información, ya que los participantes tienen una comprensión clara de su papel y responsabilidad en un proyecto, alineando las expectativas, y aumenta la transparencia, ya que muestra cómo integrar las mejores prácticas y capturar el intercambio de conocimientos de un proyecto a otro, promoviendo la mejora continua (Hardin & McCool, 2015).

Los óptimos resultados obtenidos en la aplicación de la metodología BIM en edificios de nueva construcción son evidentes y su implantación va consolidándose. Dentro de los ámbitos en los que la implantación de las tecnologías BIM está más retrasada es el de la rehabilitación de los edificios existentes, tanto históricos como modernos. La gestión eficiente de la información de la construcción en edificios existentes está siendo ensayada por el gran potencial que encierra como catalizador de la información de estos edificios que suele estar dispersa e incompleta. No obstante, se ha demostrado que no existen estrategias robustas y que la gran mayoría de experiencias publicadas son casos de estudio históricos donde se reflejan diferentes ensayos que precisan de una validación posterior (García-Valldecabres et al., 2022). Al igual que ocurre con los edificios de nueva planta, el uso de estrategias BIM permite una centralización de la información que aplicada a los edificios existentes se convierten en repositorios donde información geométrica y constructiva pueden ser recogidas facilitando el trabajo colaborativo y el intercambio de información coordinada entre equipos multidisciplinares.

La falta de directrices y experiencias sobre intervenciones en edificaciones existentes complejas utilizando tecnologías BIM hacen necesarias experiencias como las que se presenta que describen actuaciones sobre

edificios existentes complejos en las que se pone en valor la importancia y la transferencia de la información entre todos los agentes participantes.

1. Descripción general del proyecto

1.1 Antecedentes

La experiencia descrita en esta comunicación tiene su origen en la rehabilitación de la residencia para personas mayores dependientes de Carlet. Concretamente la realización de las obras necesarias para su conservación y acondicionamiento, así como la reestructuración del programa funcional para adaptarlo a las necesidades existentes del centro y a la normativa vigente. Se trata de un proyecto de gran envergadura en un complejo de 32.266,40 m² construidos divididos en 5 bloques y 2 edificios auxiliares, además de urbanización. Teniendo como factor especialmente relevante el tiempo: solo había 6 meses para realizar el proyecto.

Esta actuación formaba parte de una licitación pública donde se valoraba el empleo de la metodología BIM, pero que no suponía un requerimiento para la administración. Por ello no existía EIR (Exchange Information Requirements) inicialmente definido, sino que debía realizarse un proceso de acompañamiento con la administración para generarlo.



Fig. 1 Infografía conjunto Residencia Carlet. Fuente: propia, 2022

Como punto de partida, la Vicepresidencia i Conselleria d'Igualtat i Politiques Inclusives propietaria del edificio contaba únicamente con planos impresos sin digitalizar del proyecto original realizado en 1978. Dichos documentos, lógicamente, no contemplaban las intervenciones que se habían realizado a lo largo del tiempo. Además, se proporcionó como documento de inicio un anteproyecto en formato .dwg que tampoco contenía toda la información ni reproducía fielmente la realidad existente.

1.2 Objetivos y usos BIM necesarios

Debido a los condicionantes de partida expuestos, donde no había requerimientos claros definidos por la propiedad, se optó por los siguientes objetivos BIM con los siguientes usos necesarios:

- Proporcionar soporte en la toma de decisiones en el proyecto de rehabilitación.
 - o Usos: Visualización / Coordinación 3D / Obtención de planos 2D / Obtención de mediciones.
- Asegurar la coordinación entre disciplinas y/o modelo en el diseño, así como fases de la intervención.
 - o Usos: Visualización / Coordinación 3D / Información centralizada
- Apoyar los análisis de costes y el ciclo de vida del proyecto.
 - o Usos: Mediciones / Inventariado / Visualización de datos / Estudio energético

Tomando como punto de partida estos objetivos y usos BIM se desarrolló el BEP definitivo. Para ello se contó con la colaboración de todos los agentes, incluida la Administración propietaria del edificio. Podemos remarcar como clave del éxito del proyecto la participación de los técnicos asignados de Conselleria en este proceso.

1.3 Equipos participantes

Un punto clave en la aplicación de la metodología BIM son las personas. En este caso se contó con un equipo mínimo, donde se priorizó la especialización y el conocimiento profundo del proyecto. El proyecto podemos considerar que fue un ejemplo de cómo la digitalización del sector puede permitir a los técnicos dedicar mayor tiempo a aquellas tareas que aportan mayor valor.

La composición de los equipos estuvo estructurada de la siguiente forma:

- Coordinador de proyecto apoyado por BIM Manager.
- Equipo de arquitectura formado por 4 arquitectos.
- Equipo de ingeniería de instalaciones formado por 2 ingenieros y una arquitecta.
- Equipo de estructuras formado por 2 ingenieros civiles y 2 arquitectos (no BIM)
- Equipo de mediciones formado por 2 arquitectos técnicos.

Todos los equipos, menos estructuras, contaban con un coordinador BIM en contacto continuo con el BIM Manager.

2. Metodología a emplear

La metodología que se lleva a cabo para el desarrollo del proyecto es la siguiente:

- Metodología Scrum.
 - Sprints – BIM Collab Zoom
- Comunicación
 - Interna – Trello Tablero DO
 - Externa
 - Colaboradores BIM – Modelo CDE
 - Colaboradores no BIM – sistemas de revisión.
 - Autodesk – Cliente.
- Modelo federado
 - Estrategias de vinculación. División
 - Creación y mantenimiento de coherencia / automatización revisión.
 - Plantillas de revisión / BIM Collab
 - Repositorios externos.
- Volcado de patologías en modelo.
- Sistema de mediciones – Vinculación Arquímedes
- Automatización cumplimiento normativo
- Seguridad y salud
- CEE – Certificación energética.

3. Estrategias para la realización de los modelos

3.1 Metodología Scrum

La organización general del proyecto se ubica en un marco de trabajo Scrum. Se definieron sprints cada 2 semanas que permitieron llevar un control del avance del proyecto y garantizar que las posibles desviaciones en los plazos fueran mínimas y se detectarían rápidamente para mitigarlas. Igualmente, para la asignación de tareas y seguimiento de sus avances se empleó un tablero (Trello), que permitió en cualquier momento comprobar el estado general del proyecto.

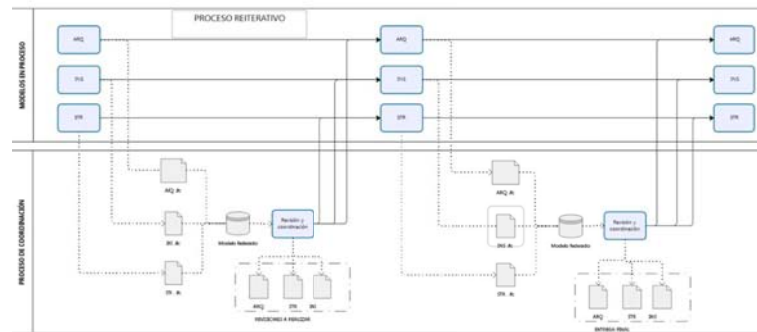


Fig. 2 Sprint organización proyecto. Fuente propia, 2022

Dentro de la organización general del proyecto debemos distinguir dos momentos de especial relevancia en la configuración de los sprints. Uno vinculado a la creación del modelo de estado actual y los primeros planteamientos y otro vinculado con la gestión de las intervenciones en los modelos.

En los primeros sprints resultó fundamental valorar la información que se incluía en el modelo. Había que evitar ineficiencias, principalmente: esperas y defectos. Al tratarse de un proyecto de rehabilitación la toma de datos y su volcado en el modelo de estado actual es clave para el desarrollo de la totalidad del proyecto.

- Lo producido debía servir para que el resto de equipos pudieran avanzar. Priorizando aquellas tareas que vinculaban a más agentes o que resultaban más críticas. El modelado del modelo de Estado Actual es clave para que todos los equipos puedan avanzar.
- No podían producirse modelos que no fuesen a servir para la entrega final. Lo generado debía ser de una calidad adecuada para ser definitivo.
- Era necesario desarrollar un bloque inicial de forma completa para poder extrapolar las casuísticas afrontadas al resto de bloques. Las intervenciones a realizar servirán como base para toda intervención que se realizará en la totalidad del complejo. Fue empleado como modelo piloto para el resto del proyecto.
- Dentro del proceso de desarrollo de los modelos iniciales los primeros sprints debían dedicarse a la representación de la realidad constructiva de los elementos del estado actual. El esfuerzo se centró en disponer de una base a la que posteriormente se le añadieron capas de información que permitieron otros usos, como el estudio de patologías, las mediciones, etc.

Una vez desarrollada la base del modelo de estado actual era necesaria una gestión rápida. Se debía poder gestionar grandes volúmenes de información y a la vez aplicar modificaciones/ajustes en gran cantidad de elementos de forma eficaz. Para ello se emplearon dos herramientas:

- Organización del modelo en bloques y grupos de modelo para que fuese posible minimizar la intervención de los modeladores a la hora de efectuar grandes cambios. Desde el inicio del proyecto se identifican los patrones de diseño en el edificio existente y en la propuesta de reforma. Gracias a ello es posible trasladar cualquier cambio desde el particular de la unidad a la totalidad del complejo.
- Automatización. Todo el modelo contó desde su inicio con sistemas de codificación a diferentes niveles que permiten fácilmente identificar/modificar cualquier elemento.

3.2 Comunicación

La comunicación entre los diferentes agentes del proyecto fue fundamental ya que la metodología de trabajo tuvo que adaptarse a los diferentes grados de implementación BIM existentes en cada equipo. Esta flexibilidad permitió comprobar y experimentar que flujos de trabajos y sistemas de comunicación eran más eficientes en cada fase de proyecto.

La comunicación dentro de los equipos debía ser rápida, directa y permitir una rápida respuesta sin necesidad de compartir el mismo espacio físico en todo momento. Para ello se emplearon tableros Trello, que permite de forma muy visual comprobar el avance de las tareas existentes y realizar comentarios y aportaciones cuando fuese necesario.

La comunicación entre los diferentes equipos debía garantizar un flujo de información eficiente. La comunicación con los equipos de ingeniería de instalaciones y arquitectura técnica se realizó tomando como base los propios modelos BIM. Para ello se creó un Common Data Environment (CDE) donde se subían periódicamente los modelos. Concretamente, las carpetas compartidas, publicadas y el archivo se encontraban en un servidor VPN administrado por el equipo de arquitectura, con acceso por parte de todos los equipos. Además, se empleó la plataforma online BIMCollab, donde a través de archivos .bcf se podía llevar el seguimiento de las incidencias que producían en los modelos. Para analizar las incidencias más complejas se realizaron reuniones periódicas. De esta forma el tiempo de reuniones se minimizó y se focalizó en las cuestiones más relevantes, siendo, por tanto, más eficientes.

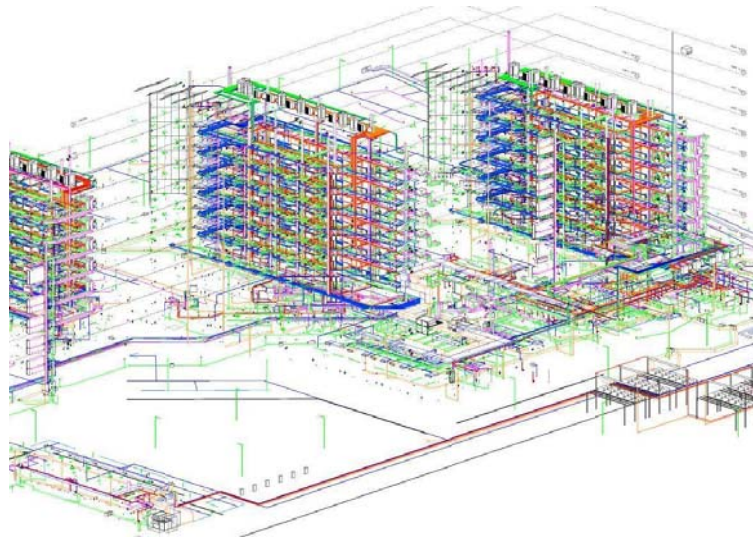


Fig. 3 Modelo BIM Instalaciones. Fuente propia, 2022

Por el contrario, el equipo de estructuras no empleó para el desarrollo del proyecto modelos BIM. El flujo de comunicaciones contaba igualmente con un sistema de reuniones e intercambios de archivos a través del CDE, pero obligaba a una labor mucho más exhaustiva de control del proceso para evitar errores. Al no contar con modelos BIM fue necesario un mayor control de la coherencia con el resto del proyecto, especialmente en la capa de información. Además, el proceso de revisión era muy poco automatizable lo que exigía el empleo de mayor cantidad de recursos humanos para su realización.

Por último, se estableció un flujo de comunicación distinto con el cliente. Además de continuar con el plan de reuniones se compartían los modelos periódicamente a través de Autodesk Docs y Autodesk Viewer.

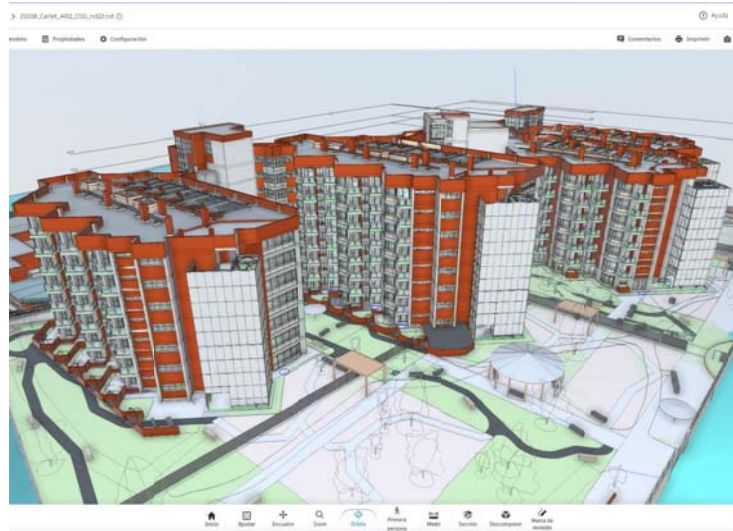


Fig. 4 Visor Autodesk Viewer. Fuente propia. 2022

3.3 Organización modelo

3.3.1 Estrategia global - Modelo federado

Una de las cuestiones de mayor trascendencia en el desarrollo de un proyecto de este tamaño es la necesidad de dividir los modelos y la creación de una estructura de modelos federados. En esta cuestión se consideraron varios factores:

- Dimensión de los archivos, según software empleado.
- Patrones de diseño repetidos en el estado actual y la reforma propuesta.
- Variaciones entre niveles de los edificios.
- Capacitación de los colaboradores en herramientas BIM.
- Flujo de trabajo necesario entre las herramientas empleadas.

Una vez analizados estos factores se optó por la siguiente estructura:

- La parte arquitectónica se dividió en 6 modelos. Bloques AB, Bloques CD, Bloque E, Edif. Calderas, Edif. auxiliar y urbanización.
- Un modelo MEP que incluía la totalidad de instalaciones.
- El modelo de estructura estaba incluido dentro de su correspondiente modelo de arquitectura. La ingeniería no trabajaba con herramientas BIM.
- Modelo energético simplificado. Debido a los flujos de trabajo establecidos no era posible compatibilizarlo con el resto de usos.

Otra clave en la organización general del modelo es la estructura de fases empleadas. La totalidad de los modelos de arquitectura y estructura contaron con fases de Estado Actual y Estado Reformado. La excepción a este sistema de fases fue el modelo MEP. Debido a la falta de información del estado actual de las instalaciones y a que se iba a realizar su renovación completa, se optó por la creación de un modelo de Estado Reformado directamente.

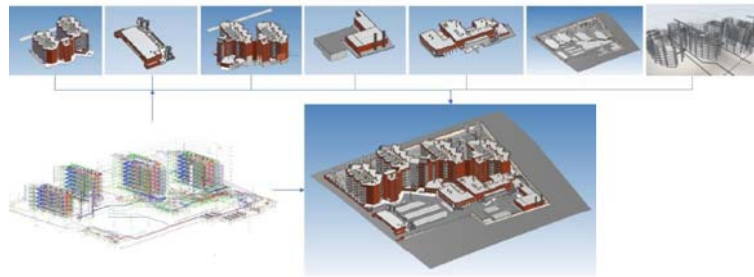


Ilustración 5 Organización modelo central. Fuente propia. 2022

3.3.2 Estrategias intramodelo - Gestión de grupos.

Para poder generar rápidamente el modelo era necesario agrupar aquellos patrones de diseño que se repetían, tanto en el estado original como en la intervención realizada. Al tratarse de una rehabilitación con una adaptación del programa funcional no todos los elementos se modificaban de igual forma. Una misma estancia podía en una determinada ubicación contar con solo un cambio de acabados y en otros puntos sufrir un cambio de función. Todo ello provocaba que los grupos deben estructurarse en dos bloques:

- Grupos EA: grupos correspondientes al levantamiento del estado actual.
- Grupos ER: grupos correspondientes a la propuesta de reforma.

3.3.3 Estrategias entre modelos - Coherencia de la información.

Una vez dividido el modelo una de las claves para el correcto desarrollo del proyecto es garantizar la coherencia entre los diferentes archivos. Para ello se emplearon dos herramientas: codificación y automatización.

Se codifican los elementos en varios niveles y se generan repositorios externos que vinculan dichos códigos con la información asociada. La codificación se centra principalmente en:

- Ubicación de los elementos. Se realizó de forma que fuese posible discretizar los elementos según su posición en el modelo.
- Tipología de elementos. En base al código inicial de cada elemento era posible conocer su tipología.
- Notas clave. La descripción de los elementos y de sus partidas asociadas se obtenía gracias a la asociación de un código con un repositorio externo.
- Códigos de demolición. Igual que con las notas claves, se genera un sistema equivalente.
- Codificación de lesiones. Igualmente, para introducir las patologías en el modelo se optó por un sistema de códigos. De esta forma es fácil replicar la misma solución en todos los elementos o modificar la solución propuesta en el modelo.
- GuBIMClass. Los elementos de construcción se clasificaron en base a sus funciones.

Para garantizar la coherencia de todo este sistema de códigos entre los diferentes archivos se emplearon una serie de rutinas realizadas mediante Dynamo.

- Rutinas de generación de códigos. Todos los códigos estaban determinados por condicionantes del modelo: su composición, su nota clave, su ubicación, etc. Dichos códigos se generan y/o comprueban a través de automatizaciones.

- Rutinas de exportación de datos. Se exportan todos los códigos existentes en el modelo para comprobar los posibles errores existentes en excels externos. De esta forma se agiliza el proceso de comprobación de todos los modelos.
- Rutinas de importación de datos. Una vez comprobados los datos se importa la información en los repositorios externos.

3.3.4 Estrategias coordinación - Revisiones de modelo.

Al final de cada sprint se realizan revisiones completas de los modelos para detectar rápidamente posibles errores. Estas revisiones se realizan a través de exportaciones a archivos IFC.

- Comprobaciones geométricas: se realizan mediante la herramienta Navisworks. Al inicio del proyecto se generan las comprobaciones a realizar en base a la matriz de colisiones. Para ello se emplea la clasificación GuBIMClass de forma que el equipo pueda resolver aquellas incidencias que tengan un mayor impacto en el proyecto.
- Comprobaciones de información: se realizan mediante la herramienta BIMCollab. Se generan una serie de vistas inteligentes que permitan comprobar de una forma eficiente la información volcada en el proyecto.

Para gestionar las revisiones de la información, tanto de las comprobaciones geométricas como de información, se vuelcan en BIMCollab Zoom a través de archivos .bcf. De esta forma se cuenta con una única plataforma para gestionar la totalidad de las incidencias. Además, a través de su dashboard, se puede controlar el estado de las incidencias en cada modelo, las tipologías más comunes, etc. Este sistema permite conocer si los avances desarrollados en el modelo son de la calidad adecuada para el proyecto.

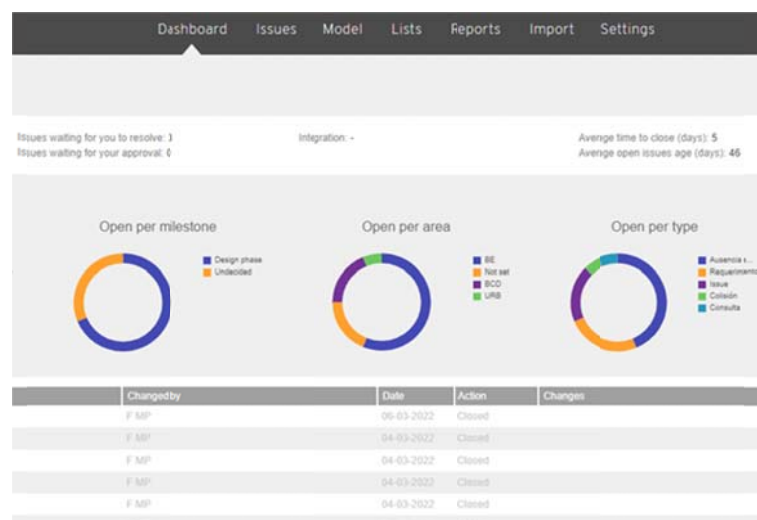


Fig. 6 BIM Collab Join. Fuente propia. 2022

3.4 Volcado de patologías

Para poder representar las patologías reales de los edificios, se establece un sistema de clasificación por tipos de lesiones asociándose a cada una el sistema de reparaciones correspondiente. Una vez se enumeran y estructuran las patologías por tipos de lesiones, se crea una codificación para las lesiones y otra para las reparaciones. A pesar de que dentro de las tipologías de lesiones no se ha distinguido ninguna graduación de daños, se ha establecido un criterio conforme al sistema de clasificación de patologías para que el propio código marque la prioridad sobre cada tipo de lesión.

En los modelos BIM se crean dos parámetros de ejemplar de texto, uno de lesión y otro de reparación, que se aplican a todos los elementos del modelo del estado actual. Una vez modelado todo el estado actual, el proceso de trabajo consiste en decidir elemento a elemento si se demuelen, se mantienen y se reparan o si no se actuaba sobre ellos.

Para la representación de las lesiones se definen dos estrategias en función de la forma de cuantificarlas. Por un lado, se encuentran las lesiones de las que necesitamos conocer la medición de la parte afectada del elemento. Estas lesiones se grafían mediante diferentes familias de modelos genéricos que se aplican mediante planos de trabajo sobre los propios elementos afectados:

- Grietas. Se grafían usando familias de modelos genéricos basados en línea con planos de trabajo para poder obtener después una medición exacta.
- Daños por carbonatación. Se indican a través de un parámetro de ejemplar diferente el área del elemento afectado.
- Desplazamiento de fábrica por falta de apoyo. Al considerarse paños enteros que han sufrido un desplazamiento se pueden grafiar de forma sencilla a través del propio elemento.
- Deterioro de sellado en juntas estructurales. Se grafían mediante un modelo genérico basado en línea.

Por otro lado, nos encontramos con las lesiones que están asociadas al elemento correspondiente y coincide su medición con el de la lesión. En este supuesto se encuentran las siguientes lesiones:

- Daños en estructura por cubiertas
- Daños en estructura por filtraciones a través de carpintería
- Humedades en arranques de muros de fábrica.
- Daños en elementos estructurales por humedades por capilaridad.
- Evacuación deficiente de agua en cubierta
- Humedades en fábrica de ladrillo
- Hundimiento suelo técnico
- Deterioro de forjado por falta de impermeabilización
- Oxidación en perfiles y corrosión en elementos horizontales

Una vez modeladas y establecidas todas las lesiones, se les aplica el sistema de codificación de las reparaciones a cada elemento al que se le asocia una lesión, de forma que siempre está relacionado el elemento con su lesión y su reparación.

Por último, para mayor facilidad en obra, se opta por crear unos planos de lesiones y otros de reparaciones, tanto plantas como alzados y secciones, donde se muestra cada tipo de lesión y cada tipo de reparación en un color mediante el uso de los filtros y las plantillas de vista.

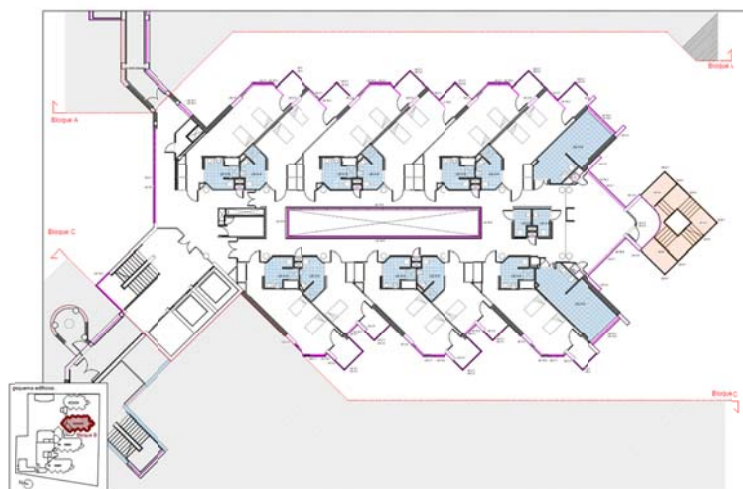


Fig. 7 Plano Lesiones. Fuente propia. 2022

3.5 Sistema de mediciones

Como ya se ha mencionado anteriormente las mediciones se realizaron a través de los modelos BIM, usando el plug-in de Arquímedes para Revit. Lógicamente, el modelo se encontraba condicionado por este uso, de forma que el modelado se realizó de forma que fuera posible obtener las mediciones. Por ejemplo,

las diferentes capas de los muros se modelan por separado o incluso elementos de corte se incluyeron en el modelo como líneas de modelo para poder obtener su medición, que de otra forma hubiese tenido que medirse manualmente. Al tratarse de una rehabilitación fue necesario prestar especial cuidado en el empleo de Arquímedes para la aplicación de los filtros de fase. Un mismo elemento de modelo debía vincularse a partidas diferentes según su fase de creación y demolición.

3.6 Cumplimiento normativo

Dentro del cumplimiento normativo se emplearon dos estrategias diferentes. Por una parte, una básica basada en la creación de subcategorías en determinadas familias para comprobaciones geométricas. Por otra parte, otros sistemas más complejos como la automatización, donde ponemos como referencia el cumplimiento del DB SI. Se generó un sistema en el modelo para calcular los ocupantes por estancia, asignar dichos ocupantes a las diferentes salidas de planta y comprobar los recorridos existentes. De forma que, a través de parámetros compartidos y datos geométricos de modelo, se podía realizar estas comprobaciones rápidamente cuando se realizaban ajustes de programa.

La evaluación del comportamiento energético del edificio se realizaba a través de modelos simplificados exportados a IFC Builder desde Revit y analizados posteriormente en CYPETHERM. Este flujo de trabajo fue uno de los aspectos a mejorar en el proyecto. Al no ser una vinculación directa entre los modelos se hacía necesario un proceso adicional de modificación y comprobación. Pese a ello, se puede considerar que supuso un ahorro de tiempo considerable al permitir estudiar rápidamente las alternativas propuestas para la mejora energética del edificio.

3.7 Seguridad y Salud - Medios Auxiliares

Un proyecto de esta envergadura necesita de la definición de los medios auxiliares necesarios para su correcta cuantificación. No es recomendable su inclusión como un porcentaje en las partidas del presupuesto. De esta forma y a través de familias genéricas se modelan elementos como andamios y grúas para posteriormente ser incluidos en las mediciones. Estos elementos, además, se incluyen en el Estudio de Seguridad y Salud.

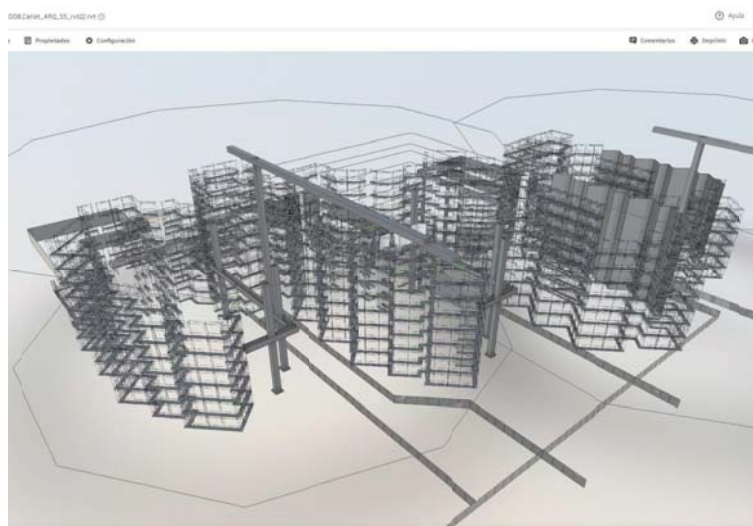


Fig. 8 Modelo Elementos Auxiliares. Fuente propia. 2022

4 Conclusiones

La experiencia descrita en esta comunicación confirma la conveniencia de emplear la metodología BIM en proyectos de rehabilitación y las ventajas que ofrece tanto desde el punto de vista de coordinación como de ahorro de tiempos.

Es conveniente remarcar como a mayor nivel de magnitud y complejidad de proyecto cobra mayor relevancia una correcta planificación inicial de los objetivos y usos, así como de las estrategias para su desarrollo. En el caso de los proyectos de rehabilitación resulta fundamental el estudio de las fases en el modelo y sus implicaciones. En este caso se pudo dar respuesta a los plazos establecidos gracias a la inversión inicial de tiempo dedicada a estas cuestiones.

La centralización de la información permite su uso eficiente y alcanzar a los diferentes agentes participantes independientemente de su nivel de madurez en BIM. Además, la estrategia utilizada garantiza una correcta coordinación entre equipos y la ausencia de conflictos importantes.

Se puede afirmar con esta experiencia que en proyectos de rehabilitación de gran envergadura el uso de la metodología BIM puede suponer una diferencia competitiva fundamental. La posibilidad de trabajar los modelos como bases de datos y, además, poder realizar procesos de automatización permite una mayor eficiencia en el desarrollo de los proyectos y un mayor control sobre el mismo.

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, issue 3, 241-252.

BRYDE, D., BROQUETAS, M., y VOLM, J. M. (2013). "The project benefits of Building Information Modelling (BIM)" en *International Journal of Project Management*, vol. 31, issue 7, 971-980.

BUILDINGSMART SPANISH CHAPTER (2023). < <https://www.buildingsmart.es/observatorio/estudios/>> [Consulta: 25 de febrero de 2024]

CHEN, S. M., GRIFFIS, F. H., CHEN, P. H., y Chang, L. M. (2013). "A framework for an automated and integrated project scheduling and management system" en *Automation in Construction*, vol. 35, 89-110.

GALIANO-GARRIGÓS, A., y ANDÚJAR-MONTOYA, M. D. (2018). "Building information modelling in operations of maintenance at the University of Alicante" en *International Journal of Sustainable Development and Planning*, vol 13, issue 1, 1-11.

GARCÍA-VALLDECABRES, J., GALIANO-GARRIGÓS, A., MESEGUER, L. C., y GONZÁLEZ, M. C. L. (2022). "HBIM Work Methodology Applied To Preventive Maintenance: A State-Of-The-Art Review" en *WIT Transactions on the Built Environment*, vol. 205, 157-169.

GENERALITAT VALENCIANA (2023). *Estrategia BIM de la Comunidad Valenciana*. <<https://habitatge.gva.es/es/web/arquitectura/bim/estrategia-bim-gva>> [Consulta: 25 de febrero de 2024].

HARDIN, B., y MCCOOL, D. (2015). *BIM and construction management: proven tools, methods, and workflows*. Wiley.

KHANZODE, A., FISCHER, M., y REED, D. (2008). "Benefits and lessons learned of implementing building Virtual Design and Construction (vdc) technologies for coordination of Mechanical, Electrical, and Plumbing (MEP) systems on a large healthcare project" en *ITcon*, vol. 13, 324-343.

ZHANG, X., AZHAR, S., NADEEM, A., y KHALFAN, M. (2018). "Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams" en *International Journal of Construction Management*, vol. 18, issue 4, 293-300.

INDUSTRIA 4.0: BIM COMO DIRECTOR DE ORQUESTA EN EL DISEÑO, FABRICACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE EDIFICACIÓN INDUSTRIALIZADA

Lacalle-Usabiaga, Raúl^a; Rebollar-Buldain, Pedro^b; Aznar-Martínez, Cristina^c y Used-Vivas, Adrián^d

^aIngeniero Industrial por la Universidad de Navarra y Director Industrial en JIT Housing, ^bIngeniero Industrial por la Universidad de Navarra y Director General en JIT Housing, ^cArquitecto Técnico por la Universidad EUPLA y BIM Manager en ATBIM y ^dDirector General en ATBIM.

Abstract

Success story where we enable the manufacturing of buildings of any height and limitless floor configuration. We have our own design and manufacturing system based on compatible components, offering a minimal timeframe for implementation.

Our design and manufacturing system rely on a seamless integration of decisions to be made during the design phase according to priorities set by our components, and meticulously trace data for quantification, procurement, storage, and assembly processes in manufacturing.

All of this is supported by the use of BIM tools and methodology, both in the design phase for proper coordination of all agents, improvement in communication and understanding of different decisions, and the certainty that component-based design is manufacturable. Additionally, in the manufacturing phase, it involves obtaining reliable data for timely procurement of items constituting each component, proper provisioning of the same, and optimization of various workstations required for each project.

Keywords: Industrialization, Collaboration, Digitalization, Manufacturing, System, Procedure, Time, BIM, ERP, MES.

Resumen

Caso de éxito donde se muestra la posibilidad de fabricación de edificios de cualquier altura y sin limitación en su configuración en planta, se dispone de un sistema de diseño y fabricación propio basado en componentes compatibles y se ofrece un tiempo mínimo en la ejecución de la implantación.

El sistema de diseño y fabricación se basa por un lado en un perfecto engranaje de las decisiones a tomar en fase de diseño según las prioridades marcadas por los componentes de diseño-fabricación, y por otro lado en una exhaustiva trazabilidad de los datos de cada componente para poder abordar los procesos de cuantificación, compra, estocaje y ensamblado durante el proceso de fabricación.

Todo ello se sustenta en la utilización de herramientas y metodología BIM, tanto en la fase de diseño para la correcta sincronización de todos los agentes, la mejora en la comunicación y comprensión de las diferentes decisiones, y la certidumbre de que el diseño por componentes es fabricable; así como en la fase de fabricación a través de la obtención de datos fiables para la compra en plazo necesario de los artículos que conforman cada componente, el correcto aprovisionamiento de los mismos y la optimización de las distintas estaciones de trabajo necesarias para cada proyecto.

Palabras clave: Industrialización, Colaboración, Digitalización, Fabricación, Sistema, Proceso, Tiempo, BIM, ERP, MES.

Introducción

La construcción industrializada ha emergido como una solución prometedora para abordar los desafíos de eficiencia, calidad y sostenibilidad en el sector de la construcción.

Este artículo presenta una visión detallada de JIT Housing, un modelo innovador que integra los principios del Just-In-Time (JIT) con técnicas avanzadas de construcción industrializada.

JIT Housing representa una evolución significativa en la forma en que se planifica, diseña y ejecuta la construcción de edificios, ofreciendo beneficios sustanciales en términos de reducción de costos, tiempos de entrega más cortos y mayor calidad de construcción.

1. Presentación de JIT Housing

JIT Housing es una compañía de construcción industrializada, creada para desarrollar proyectos de viviendas colectivas con el sistema de construcción en fábrica patentado **Ekonsteam**.

Un sistema de construcción industrializada, innovador y tecnológico que se produce en instalaciones industriales con los más altos estándares en ingeniería de producto y de procesos.

En la construcción en la obra, el montaje final de los edificios con las unidades previamente industrializadas se realiza sobre las cimentaciones preparadas en el terreno.

Es un nuevo sistema constructivo que aúna diseño y calidad. Una combinación perfecta de modernidad, confort y eficiencia energética que bajo demanda del promotor puede alcanzar los estándares de Passivhaus. Una nueva tecnología constructiva que aporta numerosas ventajas frente a los sistemas tradicionales.



Fig. 1 Fábrica de Ribabellosa de JIT Housing. Fuente: JIT Housing (2023)

2. Sistema JIT Housing

- Minimización de desperdicios: JIT Housing se centra en eliminar desperdicios en todas las etapas del proceso de construcción, optimizando el uso de materiales, mano de obra y tiempo.
- Flexibilidad y modularidad: el enfoque modular de JIT Housing permite una mayor flexibilidad en el diseño y la adaptación a diferentes necesidades y requisitos del cliente.
- Integración de tecnología: La implementación de tecnologías avanzadas, como la prefabricación digital y la automatización, mejora la precisión y eficiencia en la producción de componentes de viviendas.
- Gestión de la cadena de suministro: JIT Housing prioriza una gestión eficiente de la cadena de suministro, garantizando la disponibilidad oportuna de materiales y componentes para evitar retrasos en la construcción.

3. Metodología BIM

La metodología Building Information Modeling (BIM) ha revolucionado la industria de la construcción al proporcionar un enfoque integrado para la planificación, diseño y gestión de proyectos. En este artículo, exploraremos cómo la implementación de BIM puede potenciar aún más los beneficios de JIT Housing, optimizando el proceso de construcción y mejorando la eficiencia en todas las etapas del proyecto.

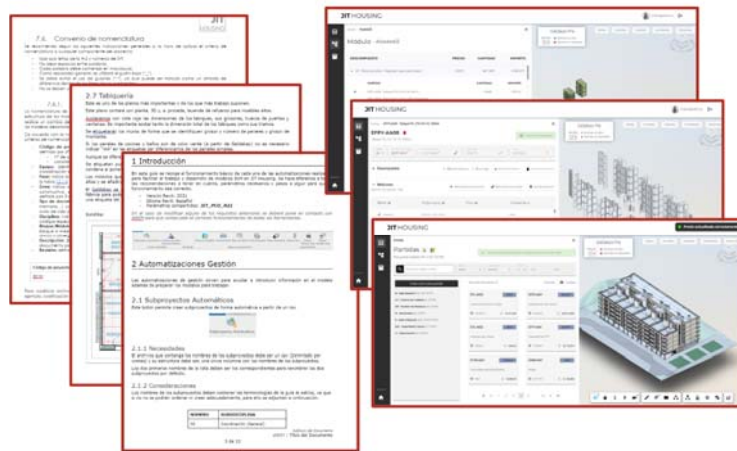


Fig. 2 Implantación BIM. Fuente: JIT Housing (2022)

Integración de BIM en JIT Housing

- Modelado 3D Detallado: la creación de modelos BIM detallados permite una visualización precisa de todos los componentes de la vivienda, lo que facilita la identificación y resolución de conflictos de diseño antes de la construcción física.
- Colaboración mejorada: BIM facilita la colaboración entre todos los actores del proyecto, incluidos arquitectos, ingenieros, contratistas y clientes, al proporcionar una plataforma centralizada para compartir información actualizada en tiempo real.
- Análisis y simulación: mediante el uso de herramientas de análisis integradas en plataformas BIM, es posible realizar simulaciones y evaluaciones de costos, lo que ayuda a optimizar el diseño y la planificación del proyecto.
- Gestión de datos y documentación: BIM centraliza todos los datos relacionados con el proyecto, incluidos planos, especificaciones y detalles de los materiales, lo que facilita la gestión de la información y la generación de documentación precisa y actualizada en todas las etapas del proyecto.

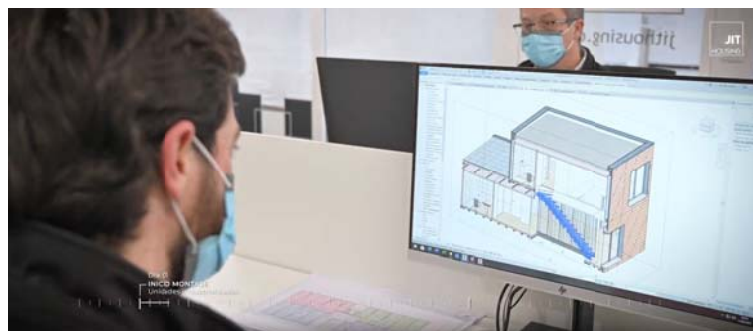


Fig. 3 Unidades industrializadas. Fuente: JIT Housing (2023)

Beneficios de la metodología BIM en JIT Housing

- Mayor eficiencia: la integración de BIM en JIT Housing permite una planificación y ejecución más eficientes del proyecto, reduciendo los tiempos de construcción y los costos asociados.

- Mejora de la calidad: al proporcionar una representación digital detallada de la vivienda, BIM ayuda a garantizar una mayor calidad en la construcción y reduce la probabilidad de errores o defectos.
- Optimización de recursos: la capacidad de simular y analizar diferentes escenarios permite una mejor optimización de los recursos, desde materiales hasta mano de obra, contribuyendo a una construcción más sostenible y rentable.

4. BIM en fase de prediseño

Cuando un promotor decide contactar con JIT Housing para la ejecución de un proyecto bajo su sistema industrializado, el primer paso consiste en el estudio y división del mismo en módulos lo más repetitivos y optimizados en dimensiones posible, de esta manera se consigue una optimización de los costes de elaboración, transporte y montaje, dotando al cliente de una información de partida en tiempo y coste de la ejecución del proyecto, reduciendo notablemente su incertidumbre a la hora de tomar decisiones acerca de la viabilidad del proyecto.

Dicha optimización se realiza con una parametrización de módulos esquemáticos BIM sobre el anteproyecto o proyecto básico del cliente, dichos módulos esquemáticos leen datos del histórico de proyectos de JIT Housing, por lo que conseguimos que la optimización siempre sea un aprendizaje continuo de todos y cada uno de los Proyectos llevados a cabo por la compañía.



Fig. 4 BIM en fase de prediseño. Fuente: JIT Housing (2023)

5. BIM en fase de diseño

En un proyecto para edificación tradicional tenemos la fase de proyecto de ejecución y la fase de dirección de obra, en el sistema JIT Housing tenemos algo parecido pero muy diferente en su concepción temporal, en nuestro caso lo llamamos proyecto de ejecución y proyecto de fabricación, éste último tiene la peculiaridad de que cuando se está colocando la primera zapata en la cimentación, ya se están fabricando los módulos en fábrica, por lo tanto un proyecto de fabricación a diferencia del un proyecto de obra, no se van tomando decisiones según el transcurso de la obra, sino que todas las decisiones ya han tenido que haber sido analizadas y resueltas en diseño.

En el sistema JIT Housing la toma de decisiones es conjunta y basada en la comunicación sobre el modelo de coordinación, todos los agentes trabajan la resolución de las diferentes soluciones de proyecto en sus modelos bajo un mismo CDE.

Un hito muy importante ha sido la elaboración de un proceso de diseño para gestionar el transcurso y la toma de decisiones semanales a cerrar para poder cumplir con los plazos posteriores en compras y fabricación.

Este proceso que detalla la fase de diseño expone los puntos críticos bajo 19 niveles quedando por tanto en el periodo de tiempo en el que se extienda el diseño resueltas las 19 validaciones críticas para la entrada en tiempo de la fabricación.

Las incidencias se registran en una plataforma BIM común y son punto decisivo de comunicaciones entre todos los colaboradores del proyecto aunando la información de forma transparente y colaborativa generando cronologías y análisis posteriores sobre el transcurso de la fase de diseño.

A su vez se está desarrollando una web cliente en donde se realiza toda la gestión de costes del proyecto, una vez validada la información en fase de diseño, se exporta al ERP toda la información necesaria para poder proceder a la gestión de compras.

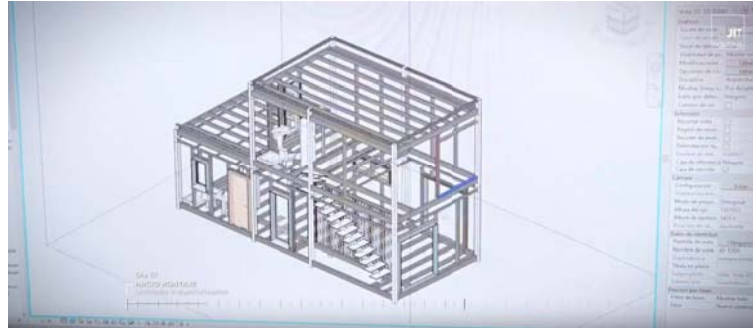


Fig. 5 Esqueleto de módulo detallado. Fuente: JIT Housing (2023)

A screenshot of a web client interface showing a cost breakdown table and a 3D model of a building structure. The table lists various structural elements with their quantities, unit costs, and total import values. The 3D model on the right shows a perspective view of the building's frame with different components highlighted in various colors.

Cantidad	€/Unit	Importe
- Célula 1 OK		
PE - Premontaje Estructura		
80000031-2842 - UPN 160 S-275-38 Longitud 2842	12,00€u	50,00€u
80000031-2885 - UPN 160 S-275-38 Longitud 2885	3,00€u	50,00€u
80000031-2963 - UPN 160 S-275-38 Longitud 2963	3,00€u	50,00€u
80000031-2973 - UPN 160 S-275-38 Longitud 2973	6,00€u	50,00€u
80000031-3440 - UPN 160 S-275-38 Longitud 3440	16,00€u	50,00€u
80000031-3505 - UPN 160 S-275-38 Longitud 3505	4,00€u	50,00€u
80000031-3550 - UPN 160 S-275-38 Longitud 3550	32,00€u	50,00€u
80000031-3560 - UPN 160 S-275-38 Longitud 3560	27,00€u	50,00€u

Fig. 6 Web cliente. Fuente: JIT Housing (2024)

6. BIM en fase de fabricación

En el sistema JIT Housing, todas las actividades son comunes entre los diferentes proyectos, ya que la entrada de cualquier tipo de sistema de construcción nuevo ha tenido que ser validado con anterioridad. Dichas actividades se agrupan ahora sí para cada proyecto, en células o estaciones de trabajo en función de las cargas de trabajo requeridas para cada uno de los módulos, de esta manera se consigue mejorar el ritmo de trabajo de todas las células o estaciones de trabajo y conseguir un trabajo fabril que simplifique las operaciones de los trabajos y por lo tanto el coste de las mismas.

Dicha generación de células se basa en un rediseño e implantación de la cadena de suministro completa para mejorar los plazos y los costes, eliminando ineficiencias, consecución de la máxima flexibilidad y la redefinición de las operaciones orientándolas por procesos.



Fig. 7 Cadena de módulos en fábrica. Fuente: JIT Housing (2023)



Fig. 8 Transporte de módulos. Fuente: JIT Housing (2023)

7. Conclusiones

La adopción del sistema JIT Housing ha demostrado ofrecer una serie de beneficios significativos, incluida una reducción notable en los costos de construcción, tiempos de entrega más rápidos, mayor calidad y durabilidad de los edificios, así como una mejora en la seguridad en el lugar de trabajo debido a la estandarización y optimización de procesos.

JIT Housing representa un enfoque innovador y efectivo para la construcción industrializada, ofreciendo una respuesta viable a los desafíos actuales del sector de la construcción.

Su capacidad para integrar los principios del JIT con técnicas avanzadas de construcción lo posiciona como un modelo destacado para la entrega eficiente y sostenible de viviendas, así como el uso avanzado del dato a través de la metodología BIM para poder integrar y resolver todos sus procesos digitales.

DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE GESTIÓN DE CASTILLO DE ACTIVOS A PARTIR DE MODELOS BIM

Moya Sala, Joaquim^a; Jardí Margalef, Agustí^b; Iglesias Gamella, Fernando^c

^aDoctor Arquitecto por la UPC, de Barcelona (Expresión Gráfica Arquitectónica, Universitat Politècnica de Catalunya, España). Director del Departamento de I+D+i de Apogea Consulting. gmoya@apogeaconsulting.com, ^bIngeniero Agrónomo por la Udl. Director del Área de Consultoría y Formación de Apogea Consulting ajardi@apogeaconsulting.com; Arquitecto por la Universidad de Alcalá de Henares. Responsable de Innovación y BIM de Kronos Real Estate, figlesias@kronosre.com.

Abstract

This workflow demonstrates a developed system enhancing the commercial study, demand analysis, and sales or rental monitoring of residential developments within a Real Estate company through the integration of BIM and Non-BIM data. The process initiates with the generation of a BIM object model, represented as spaces, each depicting an apartment for sale or rent. Additionally, a web application facilitates data storage and display from the IFC spaces model on the cloud, while allowing the integration of CRM and ERP Sales system data through a common identifier, thereby mapping and connecting disparate data sources. The system also enables the generation of interactive graphics, enriching data analysis and decision-making capabilities by visualizing the BIM model and associated dashboards. This development enhances the experience for promotion managers, sales teams, and agents, providing a direct visual representation of apartment availability, categories, and locations across developments.

Keywords: RealEstate, BIM, IFC, DataDriven.

Resumen

Se presenta un flujo de trabajo en el cual se implementa un sistema para optimizar el estudio comercial de promociones residenciales, el análisis de demanda y el seguimiento de ventas y/o alquiler en una empresa de Real Estate, combinando datos BIM y "no BIM". El proceso se inicia con la creación de un modelo de objetos BIM representados como espacios, donde cada uno simboliza una vivienda gestionada para su venta o alquiler. Además, se ha desarrollado una aplicación web que permite almacenar y mostrar los datos del modelo de espacios según el esquema IFC en la nube y añadir datos de otros sistemas, específicamente del CRM y ERP de ventas, mediante un identificador común que facilita el mapeo y la conexión entre datos de diferentes orígenes. Este sistema también incluye la capacidad de generar gráficos interactivos que contextualizan los datos BIM y los que, como se ha dicho, provienen de otras fuentes que no son el modelo BIM, mejorando el análisis y la toma de decisiones a través de la visualización del modelo y sus dashboards asociados. Este desarrollo mejora significativamente la experiencia de los responsables de promoción y comerciales, así como de los agentes involucrados en la gestión de ventas y alquiler, permitiendo identificar con mayor claridad la disponibilidad, la categoría del inmueble y la ubicación de las viviendas en el entorno de cada promoción.

Palabras clave: BIM, RealEstate, IFC, DataDriven.

Introducción

En el ámbito de la gestión inmobiliaria, la era digital ha propiciado la adopción de herramientas avanzadas que facilitan la supervisión y el análisis de promociones residenciales. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos, la industria se enfrenta a retos significativos en el estudio comercial y la gestión de ventas de estos activos (Smith, Tardif, 2009). Tradicionalmente en el mercado nacional, los agentes responsables de la gestión de ventas han confiado en soluciones de software de gestión empresarial como PRINEX, un sistema ampliamente reconocido en el sector del Real Estate por su capacidad para manejar con eficiencia la información detallada de diferentes viviendas dentro de cada una de las promociones y una interfaz adaptada específicamente para este mercado.

A través de PRINEX, se generan informes en formato .csv que sirven como base de información para el seguimiento de la actividad comercial. En una de las hojas de estos informes se especifica meticulosamente el estado actual de cada una de las viviendas, detallando aspectos como si se han vendido o no, el importe de la venta, la superficie del inmueble, y el número de dormitorios disponibles. Este nivel de detalle es indispensable para los responsables de la gestión, ya que les permite realizar un seguimiento exhaustivo de todas las actividades relacionadas con las ventas y, en consecuencia, tomar decisiones estratégicas para optimizar los procesos de venta.

Paralelamente, la implementación de la metodología BIM ha supuesto un avance significativo en la calidad y control de riesgos de los proyectos, estableciendo requisitos y entregables que impactan directamente en la cadena de valor técnica. Guías y un conjunto de requisitos BIM han sido diseñados por parte de KREG (Kronos Real Estate Group), no solo para cumplir con estas demandas, sino también para mejorar la eficiencia y precisión en todas las fases del proyecto. Sin embargo, a pesar de su potencial transformador, la utilización de la información BIM ha permanecido predominantemente en el ámbito técnico, limitando su aplicación a los responsables técnicos de las promociones y dejando de lado el vasto potencial que podría ofrecer para la correcta gestión de la información en otros departamentos, en especial al área comercial. En una primera fase de desarrollo se ha reducido el alcance de usuarios únicamente a personal de gestión comercial. Únicamente motivado esta decisión por cuestiones que afectan a la UX/UI (experiencia de usuario final/posible cliente para la compra de vivienda).

Este escenario presenta una problemática relevante: la infrautilización de la información y las herramientas digitales en la gestión comercial de promociones residenciales. (Miles, 2015). Aunque los avances tecnológicos y la implementación de la metodología BIM han mejorado significativamente la gestión técnica de los proyectos existe una oportunidad considerablemente desaprovechada en cuanto a la aplicación de estos avances en el ámbito comercial. La información detallada y precisa generada a través de BIM es capaz de ofrecer una visión integral de cada inmueble. Sin embargo, no está siendo explotada por los responsables de ventas, quienes continúan dependiendo de métodos convencionales para el seguimiento y análisis de las promociones. La mayor causa es la brecha tecnológica existente hoy en día en el sector de la comercialización inmobiliaria.

Ante este panorama, se hace evidente la necesidad de tender puentes entre la digitalización técnica y la gestión comercial de las promociones residenciales. Aprovechar el esfuerzo y la inversión realizados en la digitalización de los proyectos, extendiendo el uso de la información originada en los modelos BIM de los proyectos a los agentes comerciales, se presenta como una estrategia clave para maximizar el rendimiento del proceso de ventas en las promociones. Esta integración no solo promete mejorar la eficiencia y efectividad de la gestión de ventas sino también enriquecer y agilizar la toma de decisiones internas en los comités de empresa con una profundidad y precisión geométrica hasta ahora no explotadas.

1. Objetivos

El desarrollo e implementación del sistema propuesto en este proyecto se centra en objetivos estratégicamente definidos para mejorar la gestión comercial de KREG (Kronos Real Estate Group) grupo inversor perteneciente al sector del Real Estate, mediante el uso óptimo de la combinación de datos con origen en los modelos BIM de los diferentes proyectos de arquitectura y los datos “No BIM”, con su origen en las diferentes herramientas digitales de relación con el cliente (CRM) y gestión corporativa interna (ERP). Estos objetivos se han establecido para abordar de manera directa las limitaciones actuales en la gestión de información y potenciar las capacidades analíticas y operativas del departamento comercial (Provos, Fawcett, 2013). A continuación, se detallan los objetivos principales del sistema implementado:

1. **Mejorar la capacidad de gestión de información del departamento comercial:** Se busca optimizar la forma en que el departamento comercial accede y maneja la información sobre las promociones residenciales. Esto incluye, facilitar la identificación rápida y precisa de las viviendas dentro de cada promoción, reducir significativamente el tiempo de acceso a la información clave, y mejorar la capacidad para analizar el estado actual de las ventas. Además, se pretende dotar al equipo comercial de las herramientas necesarias para identificar patrones de comportamiento específicos de las promociones dentro del mercado inmobiliario, lo cual es fundamental para ajustar las estrategias de venta y marketing de manera proactiva.
2. **Utilizar parte de la información proporcionada y disponible en los entregables BIM:** Los datos generados a través de los modelos BIM ofrecen una riqueza de detalles técnicos y visuales sobre las promociones que, hasta ahora, han sido infrautilizados en el ámbito comercial. La integración de esta información en el sistema permitirá a los responsables de ventas contar con una visión más detallada y técnica de las viviendas, facilitando así, la comunicación de sus características y ventajas a los potenciales compradores y/o arrendatarios. y (Succar, Poirer, 2020).
3. **Utilizar parte de la información proporcionada por el sistema de gestión comercial PRINEX a modo de ERP y el sistema interno de gestión de relación con el cliente (CRM):** Reconociendo el valor de los datos gestionados a través de PRINEX/CRM, el sistema buscará aprovechar esta información comercial y administrativa, integrándola de manera efectiva con los datos BIM para obtener un panorama completo de cada promoción. En la Fig. 1 se observa la forma actual de acceder a esa información mediante la utilización de los archivos .csv desde Microsoft Excel.
4. **Conectar datos BIM con las bases de datos originadas en CRM y ERP en un mismo contexto, de forma sintetizada y con apoyo de información gráfica de los modelos BIM, y con cuadros de mando:** Este objetivo es clave para el proyecto, ya que busca sintetizar y visualizar conjuntamente la información técnica y comercial. La implementación de un soporte de monitorización con gráficos interactivos, apoyados en la representación gráfica de los modelos BIM, permite una interpretación rápida y una toma de decisiones basada en datos concretos y visuales, facilitando así una gestión más dinámica y eficaz de las ventas y/o alquileres.

Alcanzar estos objetivos evolucionará la forma actual en que se maneja la información, mejorando significativamente la eficiencia, la precisión, y la efectividad del departamento comercial. La integración de datos de BIM y “No BIM” en un contexto unificado y accesible representa un avance significativo en la digitalización del sector inmobiliario, permitiendo una gestión más informada y estratégica de las promociones.

Block	A					
	1	2	3	4	5	6
Gate						
State	CONTRACT	CONTRACT	CONTRACT	CONTRACT	CONTRACT	CONTRACT
Category	A	A	A	A	C	C
10 - Superior	CH-00-00-10-01	CH-00-00-10-02	CH-00-00-10-03	CH-00-00-10-04	CH-00-00-10-05	CH-00-00-10-06
Price						
Bedrooms	5	4	4	4	1	4
Built +Common Areas	265	235	259	235	219	236
Covered	19	19	19	19	9	19
Garden	25	24	24	24	23	24
Solarium	28	0	28	0	25	0
USQM						
State	CONTRACT	CONTRACT	CONTRACT	CONTRACT	CONTRACT	CONTRACT
Category	C	C	C	C	C	C
10 - Interior	CH-00-00-10-22	CH-00-00-10-23	CH-00-00-10-24	CH-00-00-10-25	CH-00-00-10-26	CH-00-00-10-27
Price						
Bedrooms	5	4	4	4	1	4
Built +Common Areas	267	259	259	240	210	240
Covered	12	12	12	12	7	12
Garden	25	24	24	24	25	24
Solarium	0	0	0	0	1	0
USQM						

Fig. 1: Forma del Castillo de Activos en Excel proporcionado por PRINEX. Fuente: Elaboración Propia

2. Metodología

La metodología adoptada para el desarrollo e implementación del sistema que integra los datos con origen en los modelos BIM de los proyectos de arquitectura y los datos "No BIM" que provienen de las herramientas digitales utilizadas en la gestión de ventas y alquileres de promociones residenciales se estructuró en cuatro fases principales. Estas fases fueron diseñadas para asegurar un enfoque sistemático y eficaz desde la conceptualización hasta la puesta en marcha:

2.1. Proceso Inicial de Consultoría

Análisis de Datos: La fase inicial ha comprendido un análisis exhaustivo de los datos BIM actualmente requeridos por parte de KREG (Kronos Real Estate Group) y los procesos actuales de gestión, así como los datos gestionados a través del sistema PRINEX y el propio CRM. Este análisis permitió identificar las oportunidades de integración, la falta de estandarización del dato, y las posibles brechas de información para asegurar el correcto alineamiento de la información.

Establecimiento de Objetivos de Gestión: Basándose en el análisis previo, se establecen objetivos claros para la gestión de información, incluyendo la propuesta de un cuadro de mandos con gráficos que sinteticen los datos críticos derivados de la integración de información BIM y No BIM, determinando finalmente la información que se deberá de alinear para cada origen.

Desarrollo de Protocolos de Trabajo y Plan de Implementación: Esta etapa finaliza con la definición de un protocolo de trabajo detallado y un plan de implementación tecnológica. Esto incluye la especificación de requisitos para la información BIM y No BIM a integrar, los alcances de los modelos, la definición de perfiles de usuarios y los requisitos tecnológicos de la plataforma.

2.2. Proceso de Desarrollo de la Plataforma

La aplicación se ha desarrollado en base a diferentes módulos y funcionalidades para gestionar diferentes bases de datos e interpretar datos BIM, integrando un visor basado en la tecnología de Autodesk Platform Services (antiguo Autodesk Forge) y una funcionalidad de gestión gráfica de analíticas proporcionado por Cumul.io, facilitando así la visualización y análisis de los datos integrados.

2.3. Proceso de Modelado de Información

El modelado de todas las unidades de vivienda y la incorporación de la información relevante se lleva a cabo según las directrices previamente establecidas, seguido de la exportación de los objetos BIM a formato IFC con los datos requeridos. Este proceso también incluye el emparejamiento de datos BIM

con datos “No BIM” mediante Microsoft Excel, asegurando una integración fluida, y la posterior subida de esta información a la plataforma.

2.4. Fase de Pruebas, Depuración y Consolidación

Durante esta fase, se han realizado una serie de pruebas para asegurar la estabilidad de la plataforma y la eficacia de la visualización e interacción entre el panel de visualización de los gráficos y los objetos geométricos en el visor. Uno de los aspectos clave a la hora de garantizar el éxito de la plataforma es depurar al máximo la experiencia de usuario.

La fase se ha enfocado en la mejora del rendimiento de la aplicación, la accesibilidad y la experiencia del usuario. También se han realizado un reajuste de los datos objeto de gestión, en base a las necesidades del usuario, para finalmente, culminar con el lanzamiento de la plataforma y su puesta a disposición de los usuarios.

3. Desarrollo del Sistema

El desarrollo del sistema para la integración de datos BIM y No BIM en la gestión de ventas y



Figura 1. Ejemplo de Modelado de Espacios – Viviendas en Revit. Fuente: Elaboración propia

alquileres de promociones residenciales abarca varias etapas desde la creación y modelado de espacios BIM hasta la operatividad de la aplicación web diseñada para el almacenamiento, visualización e integración de estos datos. A continuación, se detallan los pasos seguidos en el desarrollo del sistema:

3.1. Modelado, Creación y Caracterización de “Espacios-Apartamentos” BIM

En primer lugar, se realizaron las tareas de modelado BIM de las viviendas de las diferentes promociones. Se utilizó la herramienta Revit 2023, de forma que, en base a las especificaciones, se pudieron crear las viviendas como “cajas-objeto 3D” que representasen físicamente cada unidad de vivienda dentro de las promociones cuyo objetivo es su venta. Este proceso incluyó la definición precisa de las divisiones entre los diferentes apartamentos, asegurando una caracterización detallada de cada espacio generado.

En segundo lugar, se realizó la correspondiente adición de Información. A cada vivienda/objeto 3D se le añadió información que permitirá su posterior gestión. Esta información estandarizada se observa en la siguiente tabla:

Tabla 1. Información necesaria en los elementos del modelo

Nombre Propiedad	Objetivo	Posibles Valores
KRO_A_Portal	Proporcionar futuro ID	01, 02, 03,

KRO_A_Escalera	Proporcionar futuro ID	01, 02, 03,
KRO_A_Planta	Proporcionar futuro ID	SI, 00, 01
KRO_A_Puerta	Proporcionar futuro ID	01, 02, 03
KRO_A_TipoArea	Diferenciar tipos de espacios (Viviendas Vs Otros)	Vivienda, Zonas Comunes, Amenitie
KRO_A_NombreEspacio	Categorización del espacio.	Vivienda, Terraza, Balcon, Aparcamiento, ...
KRO_A_TipoVivenda	Categorizar la calidad de la vivienda	1A, 2B, 3A
KRO_A_NumeroDormitorios	Proporcionar información para agente comercial	1, 2, 3
KRO_A_Area	Proporcionar información de la superficie	90 m2

Finalmente, se realizó la exportación a IFC siguiendo una configuración y mapeo de propiedades específicas, acorde con los estándares BIM establecidos, garantizando la compatibilidad y el correcto uso de la información.

3.2. Desarrollo de la Aplicación Web

Para el desarrollo de esta tecnología se ha trabajado en diferentes módulos y componentes, los cuales se describen a continuación:

1. **Módulo de Interpretación y Captura de Datos:** Se desarrolló un módulo que interpreta y captura los datos BIM directamente de los archivos IFC. El módulo, también permite integrar posteriormente esta información con los datos “No BIM” provenientes de otras fuentes de información.
2. **Visor Integrado con Autodesk Platform Service:** Se implementó un visor en la plataforma para la visualización de los modelos BIM, utilizando la tecnología de Autodesk Platform Service.
3. **Módulo de Análisis de Datos con Cumulio:** Para el análisis y visualización avanzada de datos, se integró un módulo desarrollado con Cumulio, facilitando la creación de cuadros de mando que contienen diferentes gráficos interactivos con capacidad de poder ser personalizados.
4. **Interfaz de Usuario y Gestión de Visualización:** Se diseñó una interfaz intuitiva para la gestión y visualización de datos combinados, mejorando la experiencia del usuario y facilitando el acceso a la información integrada.
5. **Funcionalidades para enlazar, emparejar y almacenar Datos Externos “No BIM”:** Se implementaron herramientas específicas para la importación de datos externos y su emparejamiento con los datos BIM, utilizando el identificador único e inequívoco ID-PRINEX como clave de correlación.

A continuación, se muestran dos imágenes de la herramienta desarrollada:

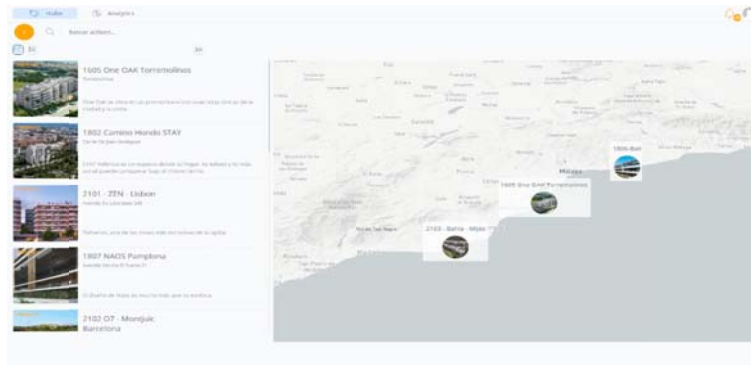


Figura. 3. Portal de Acceso a las diferentes Promociones. Fuente: Elaboración Propia



Figura. 4: Datos Gráficos y No Gráficos (BIM y no BIM) mostrados en una de las Promociones dentro de la Herramienta. Fuente Elaboración Propia

3.3. Preparación de Datos para Emparejamiento

Una de las claves para enlazar los objetos y datos BIM del sistema, con los datos procedentes de la herramienta de gestión PRINEX es mediante el establecimiento de los campos de unión.

Para ello, se identifica, por una parte, el campo *IfcGuid* a en los modelos BIM en formato IFC, y por otro lado, el campo ID-PRINEX de los datos con origen en la herramienta PRINEX.

El proceso de asignación se realiza en 2 pasos utilizando Excel:

1. En un primer momento se elabora, a partir de la extracción de datos del modelo, el campo ID PRINEX-BIM, el cual se define por la concatenación de valores estandarizados de cada una de las viviendas (VI-Bloque-Escalera-Planta-Puerta).

Un ejemplo de esta concatenación y generación del ID PRINEX-BIM a partir de los datos contenidos en el modelo BIM se observa a continuación:

Tabla 2: Generación del Campo ID PRINEX a partir de datos originados en el Modelo BIM por concatenación

ID PRINEX-BIM	KRO_A_Portal	KRO_A_Escalera	KRO_A_Planta	KRO_A_Puerta
VI-01-01-02-01	01	01	02	01

Teniendo en cuenta la generación anterior del campo ID PRINEX-BIM, éste se dispone para cada uno de los elementos vivienda (cajas 3D) del modelo BIM que, a su vez, disponen del campo *IfcGuid*.

2. El siguiente paso que se realiza es el de preparar los datos para la primera adición de información “no BIM” en la plataforma. Estos datos son originados en PRINEX, herramienta de gestión, y se muestran a continuación:

Tabla 3. Datos No BIM que se utilizan procedentes de PRINEX

Nombre Propiedad	Objetivo	Posibles Valores
ID PRINEX	ID de datos del sistema para emparejamiento	VI- 01- 01- 02- 01
Broker State	Indica el estado de venta o alquiler de un apartamento	Reserved, Contract, Available
Total VAT	Indica el importe de venta o alquiler de la vivienda.	200.000,00 €
Category	Indica la categoría cualitativa de la vivienda objeto de venta o alquiler	1A, 2A

A partir de estos datos, y mediante la utilización en Excel como herramienta consulta combinada, se prepara una tabla que, gracias a la equivalencia de valores entre ID PRINEX–BIM e ID PRINEX, va a buscar la coincidencia exacta entre estos dos valores. Seguidamente, se emparejan ambos con el campo *IfcGuid*, de forma que se obtienen los datos combinados, aptos para ser introducidos en la plataforma y ser cargados en primera instancia o para actualizarse periódicamente.

3.4. Subida de Información a la Plataforma

Una vez se tienen los modelos IFC, tanto de arquitectura (sólo contexto gráfico para el usuario), como los IFC de las viviendas con sus objetos 3D identificados a partir del *IfcGuid*, se suben a la plataforma y se organizan por cada una de las diferentes promociones objeto de gestión.

Dependiendo de la promoción y de sus características podrá haber un número diferente de modelos. Posteriormente, y creadas cada una de las promociones, se suben los modelos, indicándole al sistema que en los modelos de arquitectura no se almacenará la información que contienen y en los modelos de las viviendas, que todos ellas están asignadas geoméricamente a la clase *IfcBuildingElementProxy*.

Cabe mencionar que, por cuestiones técnicas y capacidades actuales de Autodesk Platform Service, no se permite gestionar de forma visual elementos de la clase *IfcSpace*. Por ello, se optó por utilizar la clase genérica *IfcBuildingElementProxy*.

En este proceso, el usuario indica las propiedades que desea almacenar en el sistema, siendo todas ellas las que se han indicado en la *Tabla 1. Información necesaria en los elementos del modelo* del presente documento, y ubicadas en una *User PropertySet* (Conjunto de propiedades de usuario) denominada *KRO_Espacios*. Finalmente, el usuario indicará que también requiere el *IfcGuid* como elemento identificador de cada una de las viviendas contenidos en el modelo.

Posteriormente, y una vez introducida la información BIM se procede a la inserción de los datos “No BIM” procedentes de PRINEX. Para ello, la plataforma dispone de la capacidad de insertar datos

procedentes de un Excel, en donde el usuario indica en este proceso el campo de emparejamiento: siendo el *lfcGuid* (presente en las dos fuentes de información) el que lo permite.

3.5. Configuración de Dashboards.

Se personalizaron los tableros de gestión con gráficos, colores, fuentes y tamaños específicos, optimizando la visualización de la información integrada.

3.6. Configuración de los Paneles de Monitorización

Habiendo realizado ya la carga de todos los datos en la herramienta, el usuario puede configurar los diferentes paneles de monitorización de información, indicando la combinación de gráficos y los datos asociados a cada uno de ellos: número de viviendas, estado de venta, rango de precios, y número de dormitorios. Estos datos, y los gráficos asociados a ellos, responden a los objetivos de gestión previamente planteados con los responsables comerciales de cada promoción de viviendas. UN ejemplo de cuadro de mando se puede observar en la siguiente figura:

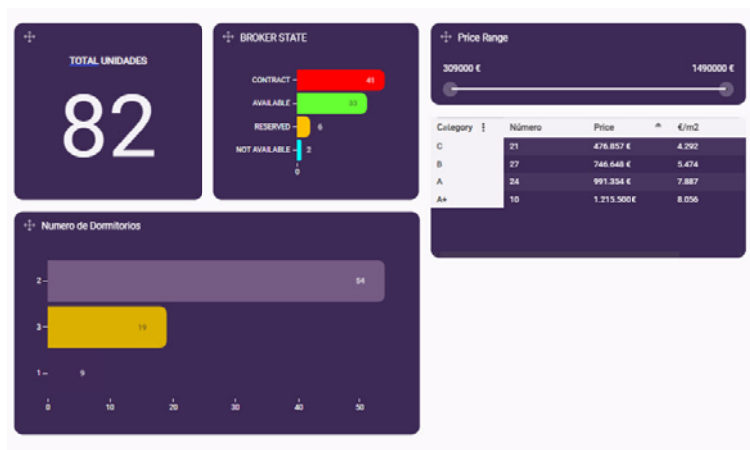


Fig. 5. Configuración de disposición de Gráficos en Panel de Monitorización

3.7. Utilización del Sistema y Actualización de Datos

Realizadas todas las incorporaciones de información y la configuración para la disposición de los paneles de monitorización personalizados (*dashboards*), es cuando el usuario puede empezar a trabajar en la herramienta. En la siguiente imagen se muestra el proceso de trabajo, en donde el usuario selecciona cualquier componente de los gráficos, por ejemplo, las viviendas etiquetadas como *Available* (disponible y marcados en verde) en el campo *Broker State*. El sistema localiza de forma gráfica y con el mismo color del gráfico, en el visor BIM, aquellos que cumplen con la condición de lo seleccionado. A partir de ahí, si el usuario lo desea, se puede seleccionar cualquier vivienda y visualizar más información asociada a ella.

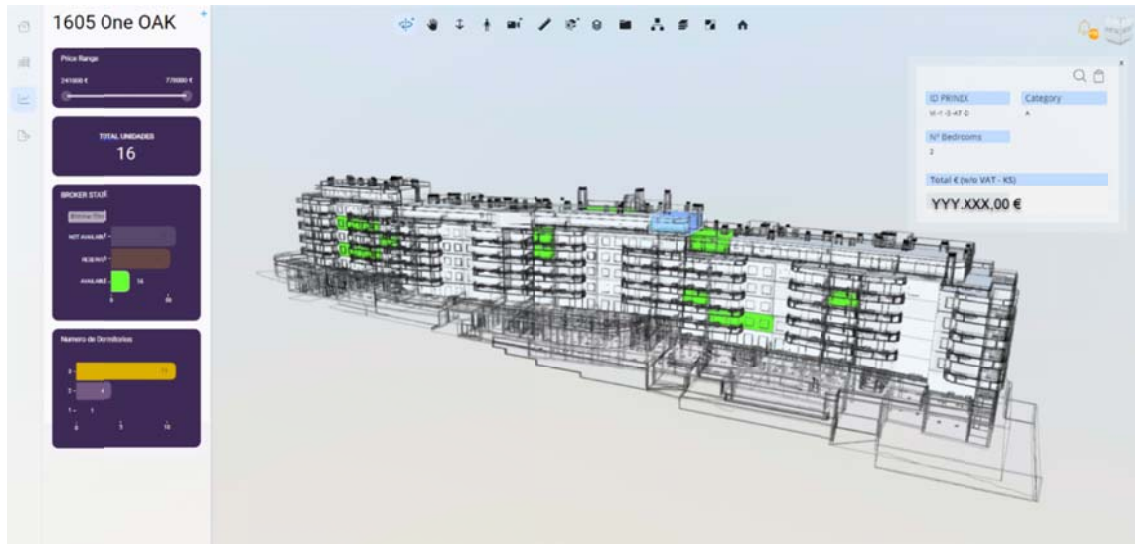


Fig. 6. Interacción del Sistema entre Panel de Monitorización y el Visor BIM

Semanalmente se ha de realizar una actualización de los datos para cada una de las promociones para tener la información disponible en la plataforma, siempre vigente según los sistemas de gestión interna.

Para ello, el sistema permite la entrada de información y sobrescribir los valores que el usuario estime oportunos, ya que las viviendas están identificadas mediante su *IfcGuid* y el *ID-PRINEX* analíticamente.

En este proceso de actualización, no es necesario tener que realizar ya ninguna preparación previa, tan solo insertar el archivo de Excel correspondiente a una exportación de datos desde PRINEX y luego indicar que el campo que ahora permite el emparejamiento y la actualización de los datos es el ID PRINEX, siendo ya un proceso mucho más fácil, si se compara con el que se ha realizado inicialmente en la configuración del *IfcGuid*.

4. Conclusiones y mejoras

A continuación, se presentan las conclusiones clave del proyecto y las perspectivas para su evolución futura:

En cuanto a las conclusiones se expone lo siguiente:

El sistema implementado está cumpliendo con las expectativas y objetivos establecidos inicialmente, demostrando su eficacia en la mejora de la gestión de información para el departamento comercial. La facilidad de interacción con la información, en comparación con el proceso anterior basado en la lectura directa de documentación estática en Excel, ha representado un avance considerable en la eficiencia operativa.

Por otro lado, está siendo relevante la valoración positiva por parte de los responsables de ventas respecto a la incorporación de la información BIM en su rutina diaria, hecho que subraya el impacto transformador del sistema y la metodología. La capacidad de acceder a información de forma más directa, visual y rápida está facilitando la toma de decisiones informadas sobre ajustes de precios y estrategias comerciales, potenciando la dinámica de ventas.

Por otro lado, a pesar de los beneficios significativos obtenidos, se han identificado limitaciones en el uso de Autodesk Platform Service, especialmente en la interpretación de archivos IFC y la visualización de elementos tipificados como *IfcSpace*, así como desafíos en la consistencia y estabilidad al seleccionar algunos elementos en modelos georreferenciados.

En cuanto a mejoras en el sistema, y hoja de ruta para Trabajos Futuros, se comenta lo siguiente:

Mejora del visor: Para superar las limitaciones identificadas con Autodesk Platform Service, se ha planificado un cambio de visor hacia That Open Company (anteriormente conocido como IFCjs). Esta actualización busca mejorar la interpretación y visualización de los modelos, asegurando una integración más eficiente y efectiva de los datos BIM.

Integración de más información: Se contempla la ampliación del sistema para incluir más información relevante, en respuesta a las solicitudes de los usuarios. Esta expansión de datos busca enriquecer aún más los análisis y la toma de decisiones, adaptándose a las necesidades cambiantes del mercado y los propios usuarios. De la misma manera, se pretende que la actualización de la información se pueda realizar de forma directa y más eficiente, sin la necesidad de realizar el proceso manual de subida de archivos en formato Excel por parte del usuario. Este desarrollo pasa por realizar llamadas directamente al Data Warehouse de la compañía, actualmente en desarrollo.

Gestión de roles y permisos: Un aspecto crítico para el desarrollo futuro del sistema es la implementación de una gestión de roles y permisos de acceso granular. Esto permitirá un control más específico de la información, garantizando que los datos sean accesibles únicamente por los usuarios autorizados para cada promoción, mejorando así, la seguridad y la personalización del sistema.

En conclusión, el sistema implementado ha demostrado ser una herramienta valiosa para la gestión comercial de promociones residenciales, mejorando significativamente la eficiencia y efectividad en la gestión de la información relativa a los procesos de venta y alquiler, facilitando el proceso de toma de decisiones y demostrando así, la capacidad transformadora de BIM en el seno del negocio para empresas del sector de Real Estate.

Referencias

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."

MILES, M.E., 2015. *Real Estate development: principles and process*. Urban Land Institute.

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

AUTODESK PLATFORM SERVICE. *Apis to Design and make anything*. <<https://aps.autodesk.com/>> [Consulta 19 de abril de 2024]

LUZMO (CUMUL.IO FORMERLY). *Turn Data to Impact*. <<https://www.luzmo.com/>> [Consulta 20 de abril de 2024]

THAT OPEN COMPANY. *Welcome to the AECOsystem*. <<https://thatopen.com/>> [Consulta 19 de abril de 2024]

PRINEX. *Real Estate Software*. < <https://prinex.com/> > [Consulta 18 de abril de 2024]

BIM AND IPD: THE DEVELOPMENT OF COLLABORATIVE-CONTRACT MODELS - CASE STUDIES

Orsi, Alessandro, Ph.D.

Research Partner - Polytechnic University of Valencia, Dept. of Applied Physics; Director - Green Building Factory SLU; a.orsi@greenbuildingfactory.com

Abstract

The strong relationship between Building Information Modeling and Integrated Project Delivery has been established in the past by several studies (MacLeamy, 2008). On the other side, the advantages of implementing an IPD collaborative-contract model that could gather all subjects involved during the early project phases through shared decision-making processes was also demonstrated (Hanna, 2016). During the last years, the IPD model has been gaining momentum within the international construction industry (Saarinen, 2017) but not in Spain and in other European countries. One of the possible reasons why the current legal environment of construction contracts does not consider the IPD model, may be that the legal bindings of the construction industry were developed long ago when there was no evidence of the existence nor advantages of this approach (Merikallio, 2016). As a result, even if technicians may have proven the effectiveness of this new approach, the construction sector still lacks the legal and administrative ways to make it real. This article explains how different countries developed different types of collaborative-contract models from scratch and shows the readers how the implementation of IPD contracts may be possible on the basis of real-project examples.

Keywords: BIM, IPD, Lean Construction, Project Management, Collaborative Contracts.

Resumen

La fuerte relación entre el modelado de información de construcción y la METODOLOGÍA ipd (Integrated Project Delivery) ha sido establecida en el pasado por varios estudios (MacLeamy, 2008). Por otro lado, también se demostraron las ventajas de implementar un modelo de contrato colaborativo de IPD que pudiera reunir a todos los sujetos involucrados durante las primeras fases del proyecto a través de procesos de toma de decisiones compartidas (Hanna, 2016). Durante los últimos años, el modelo IPD ha ido ganando impulso dentro de la industria de la construcción internacional (Saarinen, 2017) pero no en España y otros países europeos. Una de las posibles razones por las que el entorno legal actual de los contratos de construcción no considera el modelo IPD, puede ser que las vinculaciones legales de la industria de la construcción se desarrollaron hace mucho tiempo cuando no había evidencia de la existencia ni de las ventajas de este enfoque (Merikallio, 2016). Como resultado, incluso si los técnicos han demostrado la eficacia de este nuevo enfoque, en muchos países el sector de la construcción todavía carece de los medios para hacerlo realidad. Este artículo explica cómo algunos países hayan desarrollado diferentes tipos de modelos de contratos colaborativos desde cero y muestra cómo la implementación de los contratos IPD puede ser posible sobre la base de ejemplos de proyectos reales.

Palabras clave: BIM, IPD, Lean Construction, Gestión de Proyectos, Contratos Colaborativos.

Introduction

The Integrated Project Delivery method (IPD) was conceived as a management and optimization approach for construction processes with minimum cost and maximum value intended as the best option in response to customer needs (Koskela et al., 2003). On the other side, Building Information Modeling (BIM) establishes a new approach to project management and all its activities (Namli et al, 2019). As a result, the use of IPD and, more generally, the Lean construction method was proven to be a key factor for the optimum implementation of BIM and its tools during the design, construction and maintenance processes (D. B. Ilozor D. J. Kelly, 2012). One of the main contributions for this statement was given by Arch. Patrick MacLeamy who introduced the concept of BIM, BAM, BOOM and the the MacLeamy curve (P. MacLeamy, 2008).

The MacLeamy curve highlights the importance of moving the bulk of the decision-making processes, the definition of the information and its structures toward the early stages of the project. This idea aims to have the final decisions in place as early as possible, when the costs of change orders are still low and the capability of impacting the project design is still high.

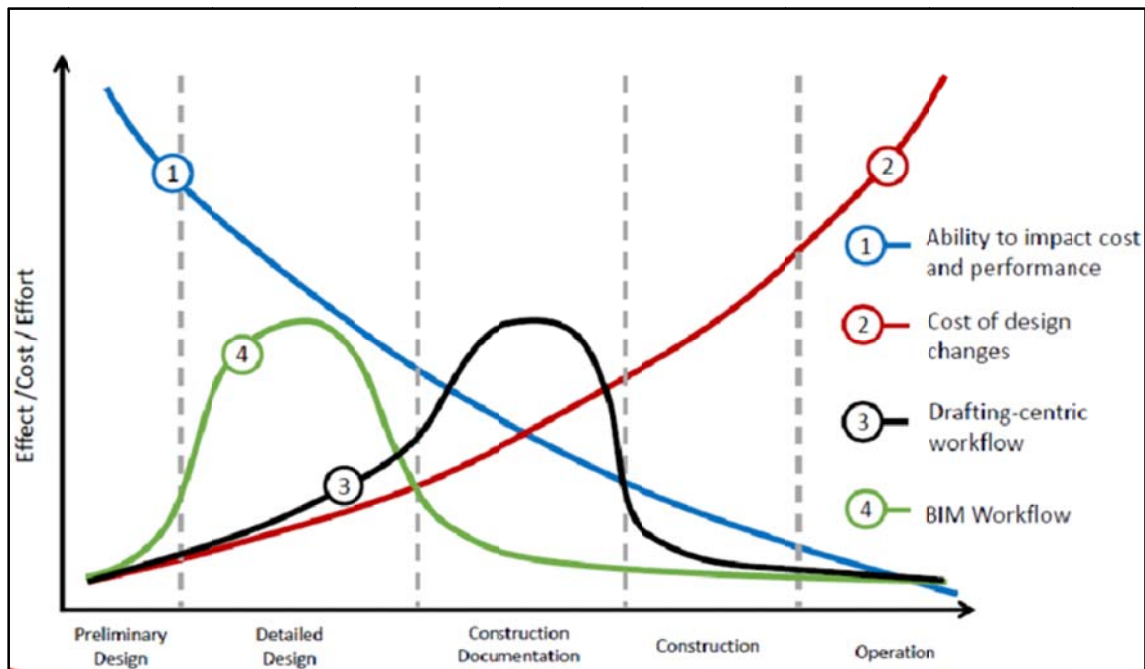


Figure 1: MacLeamy Curve. Source: Halim et al. (2022)

The BIM, BAM, BOOM concept highlights the importance of developing an information model considering right from the beginning the needs of the final users and not only the ones related to the construction phase. According to MacLeamy, every dollar invested on the definition of a high-quality and realistic Information Model (BIM) reflects a potential 20-times saving during the Building Assembly (BAM) and 60 times during the building-operation phases (BOOM). Thus, the goal is to define an information model as detailed as possible with the collaboration of all subjects involved in the project life-cycle.

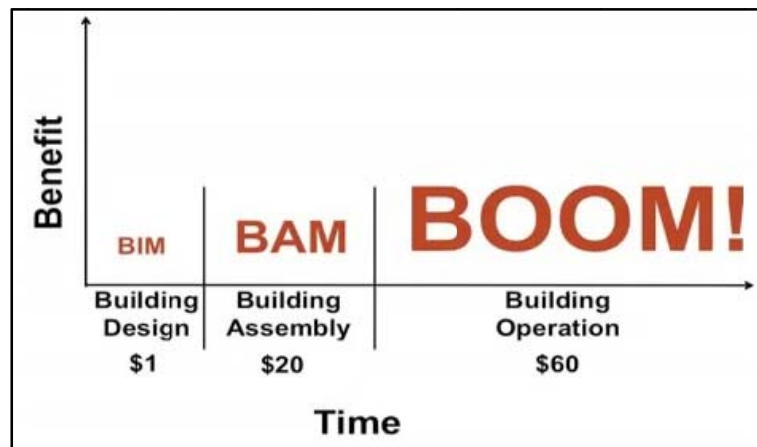


Figure 2: MacLeamy BIM-BAM-BOOM scheme. Source: Rosenfield K. (2012)

These two concepts seamlessly apply to the implementation of BIM mainly because, according to BIM professionals, once the information model is defined throughout its dimensions, features, software and plug-in tools, is very difficult to modify (Miller & Co. – 2015). Thus, one of the basic concepts of developing a BIM model is the idea of “First Time Right”, which proceeds from the Lean approach (Liker, 2003). This concept highlights once again the importance of investing time and resources during the early stages of the project to deliver a tool, in this case an information model, that could serve all the purposes down the line of construction and operation processes because eventual later failures and/or modification would cost more than the resources spent to prevent them. Migilinskasa et al. (2013) highlight that the major technical issues for the practical BIM implementation are related to lack of standardization and integration between subjects involved. Moreover, Migilinskasa also says that “BIM technical tools are developing fast in the practice they are constrained by existing contractual arrangements and traditional organization in the projects directed by stronger party with atmosphere of fights for individual benefits instead for search better project delivery solutions” (Migilinskasa et al., 2013, pg. 774).

The IPD approach may be a tool capable of addressing these issues. This paper focuses on describing how the IPD method has been implemented in different countries and how the contractual procedures may be adjusted to fit different subject’s needs.

1. United States: AIA Document C191

In the United States one of the first attempts to formalize an IPD contract was in 2009 when the American Institute of Architects (AIA) released the first version of the document C191 entitled “Multi-Party Agreement for Integrated Project Delivery”. According to the document itself, the agreement: “provides the framework for integrated Project Delivery by providing a collaborative environment in which the parties will operate in furtherance of project goals” (AIA, 2009). The document sets the basis of the agreement through four exhibits: General Conditions of the Multi-Party Agreement; Legal Description of the Project; Owner's Criteria; Target Criteria. The agreement had to be signed by the design firm, the general contractor, the owner of the project and other parties that may be involved in the project.

The agreement sets the framework for all project-related information that may be considered during its phases of design, construction and use. The information structure should consider all inputs related with: Target Cost Breakdown, Project Definition, Project Goals, Integrated Scope of Services; Project Schedule; Digital Data Protocol. The symbiosis between IPD and BIM becomes clear with the Exhibit GG of the document entitled “Building information Modeling Protocol” (AIA, 2009). One of the purposes of the agreement is to generate a structure of information shared and agreed by all project participants in which they could define all project goals and metrics. This information framework shall then be the basis of the information contained in the BIM model. In other words, the document sets the basis for the creation of the BIM Protocol which is one of the key elements of the BIM Implementation (Miller & Co., 2015).

This IPD-contract model was initially implemented in the US in different ways and with different arrangements. A document released by the AIA in 2010 analyzed different case-studies within the US and, in spite of having different arrangements, each project had some kind of advantages in terms of savings, time reduction or better quality of the final product (AIA, 2010). Table 1 below shows the different case-study projects analyzed in 2010 their main IPD-contractual features. On the top part, the table lists the names of the different projects, on the left side the different IPD-related features that a contract could have. Different projects had different IPD-related features within their contractual arrangements.

Table 1: features of the IPD case-study projects. Source: AIA (2010)

	CASE STUDY PROJECTS					
IPD Characteristics	Autodesk AEC Solutions Division Headquarters	Sutter Fairfield MOB	Cardinal Glennon Children's	St. Clare Health Center	Encircle Health	Walter Cronkite School
Early Involvement of Participants	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Shared Risk and Reward	Yes	No ¹	Yes	No	Yes	No
Multi-Party Contract	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No
Collaborative Decision Making	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Liability Waivers	Yes	No	No	No	No	No
Jointly Developed Goals	Yes	Yes	No ²	Yes ³	Yes	Yes

Hanna (2016) conducted statistical analysis to evaluate the performance of IPD on building construction projects and concluded that IPD projects outperformed non-IPD projects with respect to performance in communication, business performance, and change management.

2. Finland: the alliances

The implementation of IPD-contract models has been investigated in Finland since the end of the 20th century. Koskela and others gave the first steps toward the implementation of this approach from the theoretical point of view (Koskela et al., 2003) which resulted in practical implementations a few years later. One of the most iconic projects pursuing a IPD-contract model in Finland was the Tampere Tunnel which was awarded as the best mega-sized project 2018 in the global IPMA competition. The project stood out for the high level of stakeholder satisfaction and the tunnel's huge impact on road safety and was developed through the so-called "alliance" approach. According to Lahdenperä (2009) the "Alliance" is an IPD method between the key actors to a project where the parties assume joint responsibility for the design and construction and bear both positive and negative risks.

The alliance model was also proven to be a key-element for the development of BIM models. The Helsinki Airport Main Terminal alliance project was selected as the world's best building information modelling project in the prestigious Tekla Global BIM data modelling competition (TEKLA, 2022). Other projects developed with the alliance approach were awarded with BIM-modeling prizes, such as, the Helsinki Bridge Hospital and the Helsinki Central Library.

According to Saarinen (2017) and Merikallio (2016) the Taperre project was a game-changer for the implementation of IPD projects in Finland. Here below is the description of the decision-making and procurement processes followed for the project:

- Feasibility study: shall be in place before the start of the alliance process with a clear scope of work and the estimated cost for the project.
- Meetings with the stakeholders: before choosing the appropriate project-management model the PM-company had several meetings with the stakeholders in order to explain how the alliance model works and to choose which IPD-model features could be implemented in each phase.
- Meetings with the public procurement office: after setting the project-management goals with the stakeholders the PM confronted the public-procurement office to verify that all the chosen options were feasible from a legal and administrative point.
- Letter of intents - procedure: the stakeholders collected the letter of interests from the companies willing to participate to the bid. The letters of interest had to be presented by consortiums which may consider, depending on the owner's needs, one single consortium of designers, consultants, contractors and suppliers or two consortiums, one formed by designers and consultants and one by contractors and suppliers. The participants were shortlisted by setting entry-level requirements and then the project committee defined the first group of project participants.
- Negotiation phase: every participant turned in a proposal for every project phase and the constructability solutions proposed to fulfill the project's requirements. This phase focused on identifying all subjects that had the capabilities to develop the project leaving out the ones that did not. The negotiation phase may last a considerable amount of time (weeks, even months) and during this phase each subject has to propose their solutions to maximize the targeted project values. The process resulted in project reengineering and technical arrangements. No cost-related information was considered at this point. One of the key-aspects of the entire process was that all information provided by and to each subject involved were public and accessible to everybody. As a result, the stakeholder's jury decided but everybody could point out potential issues related to each other's proposal. This first negotiation phase ended with a shortlist of candidates for the project bidding phase.
- Business model: every shortlisted team had to present a business model explaining how they would deal with each project phase from the financial point of view. No project-cost information was disclosed by the participants and each business model was developed considering parametric costs for labor, materials, equipment and cashflow analysis of each participant. This phase ensured that the bidding companies had the capabilities to fulfill the tasks avoiding cashflow and solvency issues.
- Bidding process: the final step within this IPD-procurement model is the bidding phase where every team declares the amount of money for each project-development phase.
- Contractual agreement: the selected project team signs a contract based on their proposal in terms of technical and financial fulfilment and shares, through appropriate clauses, the project risks with the other project participants and with the owner.

3. Spain: the Leonardo IPD contract

In 2021 Spain saw the birth of the first draft of an IPD-contract designed for private projects accordingly to the national regulations and construction processes. This contract was called "Leonardo IPD" and was presented at the Lean Institute of Barcelona in may 2021. The contract is based on the Consensus Docs 300 model (ConsensusDocs, 2024) focused on the development of collaborative agreements, and divides the whole process in three phases: owner's allowance cost, estimated maximum price; real project cost.

The contract highlights the main steps of an IPD-based contract from the early procurement stage to the late project commissioning and hand-outs. It also defines the project indicators, variables and definitions in order for all subjects involved to avoid misinterpretations and sharing a common point of view. The main concepts of the Leonardo model can be described as follow:

- Structure of governance. Defines who would represent the stakeholders, the roles and composition of the different committees, the commitments of all IPD-signing parties.
- Project indicators. Defines which indicators can be calculated and used in order to measure the cost, time and level of sustainability of the project and of every activity associated with it.
- Project stages. Specifies which are the project phases, how they should be arranged, what they should contain and how they should be completed. The contract considers three phases: project validation – considering project adjustments and a standard validation procedure; pre-construction stage – with a checklist to ensure project quality and a way-out option for the firm; construction stage – focused on the standardization of the construction processes and their continuous optimization; commissioning and handouts stage – specifying the meaning of “substantial completion” and the handout requirements.
- Commercial structure. Determines the commercial feedbacks for each subject involved defining the meaning of “gains”, “cost”, “reimbursement” and sets the schedule and arrangements for each payment. It also lays the basis for the institution of a “project risk fund” in order to offset the liability of each subject associated with potential risk arisen from unexpected events. This aspect reflects the idea of the IPD risk-sharing mechanism (Koskela, 2003).
- Change orders. The model sets specific definitions of each task related with the change-order proposal and two types of modifications: one set by the owner and the other required by unexpected events.
- Contract resolution. Considers the resolution of the contract as: the unilateral decision of the owner to stop the contract; the independent exit of one subject involved; the unfulfillment of the contractual clauses by one or more participants.
- Conflicts and mediations. Sets the basis for eventual conflicts arisen during each project phase and the terms under which they may be solved through mediation or other legal procedures.

The focus of Leonardo IPD is to create a first methodology to implement the collaborative-contract dynamics within Spain and Latin America where collaborative contracts are not commonly used (Judez, 2021). According to the Institute of Construction Technology of Cataluña (Spain) the main problems associated with the traditional project-delivery method are the following (ITEC, 2018):

- Creates an antagonistic environment in which everybody thinks only about their interests;
- Divides liabilities between parties in separated tranches;
- Allows communication between subjects involved only through non-efficient methods and channels;
- Rewards individual achievements of each subject involved but not the team as a whole;
- Generate bad experiences;
- The confidentiality of information does not allow new project team to learn from the past and improve their processes.

The Leonardo IPD has the goal of avoiding all of these issues and create an environment characterized by the continuous improvement and collaborative work environments.

Diaz (2023) analyzed one of the few projects developed through the Leonardo contract: the design and construction of a small warehouse project in Cataluña, Spain. The project goal was to implement this contract with subjects used to traditional dynamics, such as, design-bid-built or design-build. Thus, the project focused on teaching all subjects involved a new methodology and implement it within a real prototype project. In spite of facing some resistance by each player to adapt their job to the new approach, the team managed to create a collaborative environment where everybody would work for the benefit of the whole and not only for themselves. According to Diaz (2013) this resulted to be an effective solution to the traditional issues cited above.

4. Case-study results and comparison

This research was carried out using a qualitative research approach, considering a cross-case analysis of three case-study projects as the main research method. This approach is appropriate for investigating a phenomenon in its current scenario (Yin, 2009).

The three case studies analyze different BIM projects developed through different IPD approaches. It is important yet difficult to identify a common basis for evaluate all case studies through common units of measure. In 2012 Barlish and Sullivan (2012), proposed a methodology to evaluate the quality of a BIM approach and, according to their analysis, the data showed a positive gain from BIM projects in comparison with non-BIM ones. However, according to Barlish, the success of BIM depends on many external factors that cannot be quantified due to their subjectivity and therefore the units of measure for the project results are the same considered for evaluating the IPD-implementation: project costs, schedule and number of problems occurred during the development phases. For the purpose of this paper, the number of problems and unforeseen events are estimated using the number of change orders occurred during the construction phase.

AIA C-191 Projects.

All C191-projects experienced a reduction in terms of costs from the initial budget to the final project cost. These positive gains would vary depending on the project scope but none of them implied an extension of the initial project schedules. None of the projects registered change-orders caused by unforeseen events or problems, all change orders occurred were caused by project modifications ordered by the stakeholders. The BIM models were developed in different ways but, according to the stakeholders, all of them met the required goals, minimizing the change-orders during the construction phases (AIA, 2010). Table 1 of chapter 2 shows that all projects had an early involvement of participants and collaborative decision-making processes but not all of them had the other IPD features. Since 2009 the C191 model has been implemented and modified continuously in a variety of arrangements (Muaz et al., 2021). Thus, the IPD contractual model is not static and may be adapted to every project's needs. In spite of being flexible, the outcomes of its implementation had positive feedbacks in every project which experienced a reduction of either schedule, or budget, or both. Moreover, according to the technicians involved, the IPD dynamics resulted in a better development and implementation of the BIM models and tools. According to Chris Leary, one of the principals in charge, "Although all the major players used BIM, interoperability of systems was a challenge because the mechanical, plumbing, and millwork subcontractors used specialized design-to-fabrication software rather than Revit" (AIA, 2010 – pg. 15). This issue was solved by enhancing the interoperability of men through collaborative environments. On the other side, close collaboration with builders made redundant detailing unnecessary and the process also freed architects to spend more time on site and much less time reviewing RFIs and submittals (AIA, 2010).

The Tamperre project.

This project experienced a total cost reduction of 4,1 Million Euros which did not affect the planned schedule according to the final financial statement of the project that won the IPMA award in 2018. The change orders arisen during the construction phase were caused by owner's modifications which led to a re-engineering process of the project. At the same time, the project received excellent feedback from stakeholders, with satisfaction rates of 88% among customers, 98% among the project team and 88% among users. At the end of the bidding process the stakeholders started to work with the selected team for which the most important information had already been defined during the procurement process. As a result, all major potential issues had already been identified and prevented. The risk-sharing clauses of the IPD-contract enabled the mutual collaboration between different parties for which problems could be tackled together between the public entities and the private companies involved. As a result, the financial improvement of the project budget implied an economic gain for each company involved. This resulted in a progressive, iterative and constant optimization of the project features during each phase performed by all subjects involved.

The Leonardo project.

The warehouse project in Spain experienced a cost reduction for all parties involved, contractor, designer and therefore total project cost of approximately 4%. The project finished on-time and the change orders occurred during the construction phase were solved by the introduction of new solutions by the contractor. On the other side, the contractor blamed the new contractual approach for not being able to get additional benefits for solving the project's issues as the economic benefits were shared between all subjects involved.

This features highlights the importance of the constructability information which should be bared within all project phases, as suggested by MacLeamy (2008).

Despite the differences of each implementation, there are several common key-concepts, that enabled the development of a common work environment and a successful BIM approach for all case studies.

- The transparency between all subjects involved. Which allows a shared and common comprehension of the project goals, dynamics and potential problems which can be approached from different perspectives and therefore solved more easily.
- Setting the project values. Their comprehension from the very beginning ensures a final result that really represents the client's will.
- Create a collaborative environment for all subjects involved. All decisions are taken by and for all subjects involved, which shares the risks and benefits as a whole.
- Have the contractor involved from the beginning. In all case studies the contractor played a key-role by modifying the original design and ensuring the constructability of the project with cheaper yet better solutions.
- Procurement process as a common growth. The extended procurement process was used to analyze the competitor's capabilities but also to make the stakeholders think about their real needs and exactly define them. By the end of the procurement process the stakeholders and the suppliers would know exactly each other's needs.
- Flexible process structure. Each IPD-model cited above considered a contractual frame that had to be adapted to the client's and project's needs. Different projects implemented different IPD methodologies that were implemented differently. However, all of them focused on creating a collaborative work environment that could benefit the team as a whole.
- Maintain the selected process and goals. None of the case-studies presented a structure that could be created down the road after the procurement process. Every important piece of the puzzle had to be in place by the end of the procurement process.

5. Conclusions

The implementation of IPD-contract models showed positive gains in all the instances and geographical areas analyzed for the scope of this paper. On the other side, even if implemented differently with specifications, the IPD-models seemed to answer the needs of the BIM approach by enhancing the collaboration between subjects involved and creating a collaborative work environment. Thus, the implementation of the IPD approach does not have to be sudden and drastic but progressive along with BIM in different ways finding the balance between the contractual environment and the players' needs. This concept may be used to ease the use of both methodologies solving the cultural resistance of skilled yet old subjects willing to implement the traditional methods which represent, according to the experts, one of the major issues for this sector (Merrikallio, 2016).

As shown above, BIM and IPD share several concepts that aim to create a collaborative environment and, more in general, to enhance the project efficiency. These concepts are implemented through specific management tools ascribable to the Lean construction field (MacLeamy, 2008), such as:

- Right at first time: which, from the IPD perspective, forces all parties to act in advance preventing eventual mistakes to happen and, from the BIM perspective, avoids the late modification of the model settings which may be difficult if not impossible (Miller & Co., 2015).
- Bottom-to-top: from the IPD perspective, enables all subjects involved to evaluate the proposed tasks and guarantee the project constructability. which is critical for a long-term BIM approach.
- Open book: which enables the transparency of the process and the early involvement of all subjects creating a collaborative environment that benefits both management and BIM.

Thus, there are a lot of synergies between the implementation of BIM and Lean construction. Recent studies described BIM as a new approach to project management (Namli et al., 2019) and that a collaborative

environment is the key-factor for both BIM considering the project life-cycle (MacLeamy, 2008) and IPD (Miller & Co., 2015). As a result, IPD, and more in general Lean construction, may be considered the approaches to arrange this new form of project management. BIM on the other hand, may be considered the technical tool to pursue the maximum efficiency using the latest software technologies with an IPD-based management approach.

The case study projects analyzed for this paper showed the advantages of implementing BIM within an IPD environment. Likewise, Hanna (2016) demonstrated the advantages of implementing IPD in comparison with traditional projects.

In conclusion, technicians may have already found a way for better developments within the construction sector, both from the scope to pursue (what) and the methodology to implement (how). Now the major issue, according to the experts, may be changing the mentality of the players of the construction sector (Merikallio, 2016). Moreover, even if technicians may have proven the technical effectiveness of this new approach, the construction sector still lacks the legal and administrative ways to make it real (EU, 2013). This paper aims to provide some examples of successful approaches implemented in other countries and may it serve as a spark for future developments in Spain and Europe.

References

- AIA (2009). "Document C191 2009: Standard form multi-party agreement for integrated project delivery". The American Institute of Architects (AIA). Available at: <https://content.aia.org/sites/default/files/2016-09/AIA-C191-2009-Free-Sample-Preview.pdf>
- AIA (2010). "Integrated Project Delivery: Case Studies". The American Institute of Architects (AIA). 2010 AIA California Council, 1303 J Street, Suite 200, Sacramento, CA 95814. Available at: www.ipda.ca/site/assets/files/1111/aia-2010-ipd-case-studies.pdf
- AINS (2018). "The world's best project 2018: the Tampere Tunnel". <https://www.ains.fi/en/news/the-worlds-best-project-2018-the-tampere-tunnel> (Visited on the 05th of March 2024)
- BARLISH, KRISTEN; SULLIVAN, KENNETH (2012). "How to measure the benefits of BIM — A case study approach". Automation in Construction - Volume 24, July 2012, Pages 149-159
- CONSENSUSDOCS (2024). "300 Series: Collaborative". ConsensusDocs - 2300 Wilson Blvd - Suite 300 - Arlington, VA 22201. Available at www.consensusdocs.org/contract-series/300-collaborative-agreements/
- DIAZ PEÑA GONZÁLEZ, IGNACIO (2023). "Caso de contratación colaborativa LEAN IPD en Barcelona en un proyecto pequeño.". Máster en Ingeniería Estructural y de la Construcción. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental – Escuela de Caminos.
- EU (2013): "Public Procurement – Finland – Award of Public Contracts for Infrastructure by the Finnish Transport Agency – EU Pilot 4914/13/MARK". EUROPEAN COMMISSION - Directorate General Internal Market and Services. PUBLIC PROCUREMENT DEPT. - International dimension of public procurement.
- HALIM E., MOHAMMED A., MOHAMAD S. F. (2022). "Building Information Modelling (BIM) Implementation for Highway Project from Consultant's Perspectives in Malaysia". Researchgate Publications. DOI:10.1088/1755-1315/971/1/012003
- HANNA, A. S. (2016). "Benchmark performance metrics for integrated project delivery." J. Constr. Eng. Manage. 142 (9): 04016040. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001151](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001151).
- KORB S., HARONIAN E., SACKS R., JUDEZ P., SHAKED O. (2016). "Overcoming <But we're different>: an IPD implementation in the Middle East". Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.7 pp. 3–12. Available at: <www.iglc.net>.
- KOSKELA, L.; HOWELL, G.; BALLARD, G.; TOMMELEIN, I. (2003). "Foundations of Lean Construction. Design and Construction: Building in Value". Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, Elsevier Ltd., 2003.
- ILOZAR D.B., KELLY D.J., (2012). "Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the Commercial Construction Industry: A Conceptual Study". January 2012 - Journal of Engineering Project and Production Management 2(1). DOI: 10.32738/JEPPM.201201.0004

- ITEC (2018). “Nuevas relaciones contractuales del sector: contratos IPD”. Fundación Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. <https://itec.es/infoitec/lean-es/nuevas-relaciones-contractuales-sector-contratos-ipd/>. (Visited on the 10th of March 2024)
- YIN, R. K. (2009). “Case study research: Design and methods”. 4TH Ed. Los Angeles, CA: Sage.
- LAHDENPERÄ, P., (2009). “Project alliance. The competitive single target-cost approach.”. Technical Research Centre of Finland (VTT), Espoo. VTT Tiedotteita – Research Notes 2472. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2472.pdf>
- LAHDENPERÄ P., (2017). “Towards a Coherent Theory of Project Alliancing: Discovering the System’s Complex Mechanisms Yielding Value for Money”. VTT Technical Research Centre of Finland Ltd, Finland. Construction Economics and Building, Vol. 17, No. 2, June 2017.
- LIKER J. (2003). “The Toyota Way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer”. McGraw-Hill Education. ISBN-10 : 0071392319. ISBN-13 : 978-0071392310
- MANLI E., ISIKDAG U., KOCAKAYA M. N. (2019). “Building Information Management (BIM), A New Approach to Project Management”. June 2019 - Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies 4(1): 323-332. DOI: 10.29187/jsomt.2019.36
- MACLEAMY, P. (2008). “BIM, BAM, BOOM! How to Build Greener, High-Performance Buildings”. Urban Land Green Magazine. 2008. Available online: <https://www.archdaily.com/262008/the-future-of-the-building-industrybim-bam-boom> (Accessed on 10th of February 2024)
- MERIKALLIO I. (2016): “Case-study: Experience from abroad for smarter procurement and procuring the innovation”. Company Presentation – October 2016. Available at: www.vison.fi
- MIGILINSKASA, DARIUS; POPOVB, VLADIMIR; JUOCEVICIUSC, VIRGAUDAS; USTINOVICHUSD, LEONAS (2013). “The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation”. Proceeding from: 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, MBMST 2013. Procedia Engineering 57 (2013) 767–774
- MILLER & CO. (2015): “¿Qué es #BIM?”. Youtube: https://www.youtube.com/watch?v=Qq5roscGnxc&t=932s&ab_channel=MillerCoChannel. (Visited on the 20th of February 2024)
- MUAZ O. A., NAMI M. A., EL-ADAWAY I, (2021). “Contractual Guidelines for Promoting Integrated Project Delivery”. Journal of Construction Engineering and Management 147(11). DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002173
- ORSI A. PELLICER E., GUILLAMÓN I. (2017). “The development of green-building projects: optimization of the project-management processes through the Lean approach”. Ph.D. Thesis - Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/89098>. DOI: 10.4995/Thesis/10251/89098
- ROSENFELD, K. (2012). “The Future of the Building Industry: BIM-BAM-BOOM!”. Article: Archdaily - August 09, 2012. <https://www.archdaily.com/262008/the-future-of-the-building-industry-bim-bam-boom>
- SAARINEN J. (2017). “How IPD Projects change Finnish construction industry”. Lean in Public Sector Conference LIPS 2017, Santiago, Chile
- TEKLA (2022). “T2 Alliance, Helsinki Airport - Wide usage of BIM technologies made the challenging Helsinki Airport Terminal 2 extension project possible.” <https://www.tekla.com/bim-awards/t2-alliance-helsinki-airport>. (Visited on the 5th of March 2024)

AGILIZANDO BIM

Gutiérrez_Sánchez, Ana Belén^a; Benítez_García, Armando^b

^aResponsable de procesos y operaciones en Apogea Consultores, agutierrez@apogeaconsulting.com,

^bDirector de Ingeniería y Socio Fundador de Apogea Consultores, abenitez@apogeaconsulting.

Abstract

For some years now we have been working on controlling the planning and uncertainty times in projects developed in BIM methodology. In this communication we will talk about planning to minimize risks, how much it has cost us and what we have learned along the way, how important people are, and how much of a psychologist we have had to be in this implementation process. We will talk about results, improvements and how important it is to control a project from the planning stage to increase its quality by reserving time for quality control, so necessary using BIM processes. We will talk about how we have managed to implement an industrialized/standardized process in the AEC sector.

Logically we have relied on tools, but that will not be our goal, but we will explain the whole journey to obtain valid information, as well as the pretension of applying Artificial Intelligence to the analysis of these data. Currently we are still testing, but we have achieved that AI gives us very accurate time estimations. Therefore, we can say that the industrialization of BIM engineering has been a success.

Finally, we will put on the table real results of productivity, reduction of uncertainty periods that affected it, in addition to the collateral effect it has had on our work system.

Keyword: Planning, Agile methodology, IA, processes, procedures, BIM engineering. Teams, people, implementation.

Resumen

Desde hace unos años hemos estado trabajando en controlar la planificación y los tiempos de incertidumbre en proyectos desarrollados en metodología BIM. En esta comunicación hablaremos sobre planificar para minimizar los riesgos, cuánto nos ha costado y qué hemos aprendido en el camino, cómo de importante son las personas, y cuánto de psicólogos hemos tenido que ser en este proceso de implementación. Hablaremos de resultados, mejoras y de lo importante que es controlar un proyecto desde la planificación para aumentar su calidad reservando tiempo para el control de calidad, tan necesario usando procesos BIM. Hablaremos sobre cómo hemos conseguido implementar un proceso industrializado/estandarizado en el sector AEC.

Lógicamente nos hemos apoyado en herramientas, pero ese no será nuestro objetivo, sino que explicaremos todo el periplo vivido para conseguir información válida, además de la pretensión de aplicar Inteligencia Artificial al análisis de esos datos. Actualmente aún estamos en prueba, pero hemos conseguido que la IA nos dé estimaciones de tiempos muy acertados. Por lo tanto, podemos decir que la industrialización de una ingeniería BIM, ha sido un éxito.

Como final, pondremos sobre la mesa resultados reales de productividad, reducción de periodos de incertidumbre que afectaban a ella, además del efecto colateral que ha tenido en nuestro sistema de trabajo.

Palabras Clave: *Planificación, metodología Agile, IA, procesos, procedimientos, Ingeniería BIM. Equipos, personas, implantación.*

Introducción

Si buscamos en el diccionario de la lengua española (RAE) la definición de planificación:

“Plan general, metódicamente organizado y frecuentemente de gran amplitud, para obtener un objetivo determinado, tal como el desarrollo armónico de una ciudad, el desarrollo económico, la investigación científica, el funcionamiento de una industria (...)”

Por lo tanto, para realizar una planificación debemos tener una estrategia, un plan. Y para poder tener una estrategia debemos tener control sobre Recursos, tareas y necesidades, y plantear una buena estrategia para conseguir ese objetivo.

En el sector AEC, especialmente en la parte de diseño, gran parte de los recursos son recursos humanos, por lo que los gestores de planificación se enfrentan a gestionar recursos a los que afectan problemas familiares, estados de ánimo, sentimientos...En definitiva una serie de factores personales que afectarán a la productividad, y al buen ambiente de trabajo, llegando a la conclusión de que no es sólo necesario plantear buenas estrategias y tener un buen control de tiempos y tareas, sino que además deberá ser un gestor de estados de ánimos, o lo que es lo mismo, deberá aprender a ser un gran líder de equipo.

En este punto es donde vamos a centrar la atención del proceso que describimos, y de los beneficios y dificultades que hemos recorrido hasta este momento.

1. Creando el proceso de planificación

1.1 Antecedentes

Hace dos años, la dirección de la empresa solicita generar un sistema de control para evitar los picos de trabajo de forma continuada, además de tener un mayor control sobre retrabajos, optimización de recursos... en definitiva, una serie de deficiencias que se habían detectado y se querían controlar; además, la empresa quería implantar un sistema de control de calidad en los proyectos que se entregaban.

El objetivo era conseguir no sólo entregar los trabajos en fecha sino además conseguir un producto de mayor calidad incluyendo controles objetivos que lo garantizaran.

Por lo tanto, la dirección estaba poniendo sobre la mesa implementar dos puntos claves:

- Realizar un sistema de trabajo que controle los tiempos, tareas, recursos para poder reducir esos tiempos y llegar a fechas de entrega sin crear situaciones de estrés.
- Recortar los tiempos en los proyectos de forma que se pudieran realizar controles de calidad, que validasen el trabajo.

Lo primero sin lugar a dudas es analizar lo que se estaba haciendo en ese momento y cómo se estaba haciendo, obteniendo el siguiente flujo de trabajo:

El proyecto se contrataba, se le comunicaba y entregaba la documentación al director del proyecto y éste era la persona encargada de **plantear una estrategia**, que en la mayoría de los casos no era comunicada al equipo, **repartía tareas** sin tener en cuenta el resto de los proyectos que dependían de otros directores de proyecto y **asistía a las reuniones con los clientes**, donde se comprometían entregas y documentos en fechas.

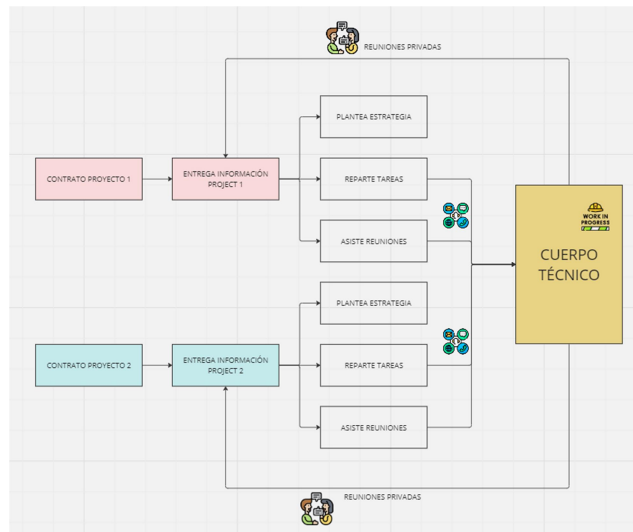


Imagen 1_Flujo de trabajo de Partida

De forma habitual el reparto de tareas al equipo se realizaba dependiendo de la disponibilidad del técnico, siendo ésta directamente proporcional a su capacidad y experiencia, por lo que la finalización de sus tareas dependería del técnico, y por supuesto de la capacidad del director de proyecto en demandar y exigir sus peticiones.

En el mejor de los casos a un técnico se le asignaba una especialidad y se responsabilizaba de realizar todas las funciones que fuesen necesarias para llegar a la fecha de entrega, con todas las tareas realizadas. Durante el proceso sería el mismo técnico el que decidía parar o avanzar en base a conversaciones privadas con el director de proyecto.

Observamos que el resultado de este sistema de trabajo era bueno si respetamos las siguientes condiciones:

- El volumen de trabajo fuese pequeño.
- El cuerpo técnico participaba en un número de proyectos controlados.
- Las fechas de entrega estuviesen alejadas entre diferentes proyectos.
- No se pueden asumir muchos cambios en el transcurso del trabajo.

La alteración de cualquiera de estos factores podía suponer una desviación del tiempo que provocaría picos de trabajo, como noches sin dormir, horario laboral descontrolado. O incluso no poder cumplir con entregas.

Esto se traduce en:

Equipo con sensación de agotamiento permanente y desgaste laboral que irremediamente desembocan en una necesidad de cambio, ya sea por iniciativa del empleado o por parte de la empresa.

Por lo tanto, esto originaba tener una rotación no orgánica en plantilla con el perjuicio que conlleva:

- Pérdida de talento.
- Ralentización de los procesos de innovación
- Dedicación constante a formación interna.
- Imposibilidad de implementar mejoras, etc.

1.2 Desarrollo del Proceso

El Desarrollo del proceso fue largo y complicado, en el que no sólo se han adquirido técnicas de control del tiempo, gestión de tareas y herramientas, sino que se ha provocado un crecimiento de equipo, gestando la figura de **líder de equipo** que asume y comprende mejor las reacciones humanas tan comunes como la resistencia al cambio, la frustración, el miedo...

Una vez analizado el estado inicial la pregunta era obvia, ¿Cómo hacen esto otras empresas? ¿Qué problemas solucionan? ¿Desde dónde partimos?

Nuestra base fue el estudio de sistemas de gestión del tiempo como:

- **La matriz de Eisenhower:** Ideada por Dwight D. Eisenhower en 1954, se basa a grandes rasgos, en categorizar y priorizar tareas según importancia, urgencia y la combinación de estas dos. Con esta clasificación se crea una matriz donde se ubicarán las tareas, cada una en el campo relacionado con sus características asignadas. Dependiendo de esta colocación, se tomarán ciertas medidas con respecto a la tarea. Un libro altamente recomendable es: Los 7 hábitos de la gente altamente efectiva, de Stephen Covey.
- **Método Kanban:** Metodología basada en tableros organizados por estados: pendientes, en proceso y ejecutadas, de forma que todas las tareas se encuentren en un estado, y se pueda visualizar de forma inmediata todo lo que queda pendiente.
- **Metodología Scrum:** Desarrollado por Taiichi Ohno, para equipos de desarrollo de software. Se basa en planificación de sprints, actualización y análisis dirigida por un jefe de proyecto llamado Scrum Master. Los sprints son pequeños bloques de tareas que componen un proyecto.

De todos los métodos que se estudiaron ninguno se adaptaba de forma precisa a nuestras necesidades, así tuvimos que plantear un sistema de trabajo que, aun basándose en sistemas de planificación, se adaptara a nuestras necesidades de proyectos y de tiempos de trabajo.

Podemos describir el desarrollo de este método en tres grandes bloques de avance:

Avance Inicial:

De la mano de unos de los directores de la empresa, que tenía conocimiento sobre Project Management, intentamos desarrollar un sistema dentro de nuestro ERP, haciendo un análisis de pesos de tiempo en tareas con toda la información que teníamos disponible hasta ese momento.

Este método lo mantuvimos vivo durante 4 meses, pudimos ver que se quedaba corto con el objetivo final, ya que el desglose de tareas era tan genérico, teniendo tareas que podían ser unas 100 horas de trabajo, y que seguía siendo difícil de controlar.

TAREAS	PESO	ACTIVIDAD	%	TAREAS	PESO	ACTIVIDAD	%	TAREAS	PESO	ACTIVIDAD	%	TAREAS	PESO	ACTIVIDAD	%
1_C-PRO-PROJECT	100	100	100	11_C-PRO-PROJECT	100	100	100	12_C-PRO-PROJECT	100	100	100	13_C-PRO-PROJECT	100	100	100

Imagen 2_Redaccion de tareas y porcentaje (en enteros) de ERP

Avance Intermedio:

Al ver que esa alternativa no era suficiente, empezamos a crear dentro de Airtable <https://airtable.com/> (plataforma online, para crear y compartir bases de datos relacionadas), una tabla sencilla donde los directores de proyecto durante la reunión de planificación, asignaban a cada técnico las tareas que ya se habían definido anteriormente en nuestro ERP, pero esta vez la asignación sería distribuida en días de la semana y desglosada en horas hasta que se completaba la semana de cada miembro del equipo. Este reparto de tareas al realizarse en reunión de planificación permitía el acuerdo entre todos los directores de proyecto, por lo tanto, ya se empezaba a gestionar tareas de varios proyectos con el mismo equipo técnico. Sin darnos cuenta, se había incrementado la variable de proyecto en la distribución de tareas.

ID	Descripción	Estado	Porcentaje
6	Detalle PCI	HECHO	100%
7	Mod B/E	INCOMPLETO	0%
8	Cálculo ILL	INCOMPLETO	0%
10	Plano	HECHO	100%
11	Plano	HECHO	100%
12	Cambios topología pendiente CUI_FON_BT	HECHO	100%
13	Sacar planos de conjunto	HECHO	100%
14	Mod FON (Tipos)	HECHO	100%

Imagen 3_Airtable. Tareas por empleado

El problema de estas reuniones es que eran largas, y tensas. Ahora, el desgaste se había minimizado a nivel de técnico, pero se incrementó a nivel de director de proyecto, por lo que tampoco era una opción válida.

Al uso de este sistema, durante unos 6 meses, hay que otorgarle algunos objetivos cumplidos, pudiendo adelantarnos a picos de trabajos y proponer soluciones con 2 o 3 semanas de anticipación. Pero estaba lejos del objetivo inicial, ya que aún nos costaba realizar controles de calidad y nos costaba que se entendiera a nivel de equipo la necesidad de hacerlo. Estos logros apoyaban y ayudan al discurso, pero a nosotros nos resultaba aún muy mejorable.

Avance definitivo

Tras un tiempo de trabajo con nuestra propia frustración y análisis de la situación por no conseguir lo que queríamos, fuimos viendo la necesidad de estandarizar tareas. Al fin y al cabo, las tareas de ingeniería en el mismo tipo de proyectos son bastante parecidas, por lo tanto, estudiamos especialidad por especialidad para observar las subtareas de las que se componen. Es decir, analizamos que por ejemplo la especialidad de fontanería se compone de:

- Estudio y diseño inicial de la instalación (Estudio de huecos, verticales y necesidades)
- Diseño de la instalación
- Cálculo de la instalación
- Mediciones
- Memorias
- Planos
- Revisiones
- Cambios

De esta forma generamos un proyecto tipo de base, con el desglose de todas las subtareas por especialidad en el que sólo teníamos que incluir tiempos para saber cuánto tiempo tardamos en desarrollar un proyecto completo.

ID	ACTIVIDADES	TIPO TAREA	FASE	ESPECIALIDAD	TAREA
125	Auditoria N1	AUDITORIAS	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	18_C-PE-AUDITORIA
126	Cálculo FON	CALCULO	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	15_J-PE-FONTANERIA
127	Cálculo FON (Redimensionado)	CALCULO	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	15_J-PE-FONTANERIA
128	Esquemas FON (Esquema de Principio)	DOCUMENTOS	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	15_J-PE-FONTANERIA
129	Mediciones FON	DOCUMENTOS	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	15_J-PE-FONTANERIA
130	Memoria FON	DOCUMENTOS	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	15_J-PE-FONTANERIA
131	Modelado FON (Tipos Elegidos)	MODELADO	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	24_M-PE-MODELADO MEP
132	Modelado FON (Tipos Replicidad)	MODELADO	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	24_M-PE-MODELADO MEP
133	Modelado FON (Tipos)	MODELADO	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	24_M-PE-MODELADO MEP
134	Modelado FON (Urbanización)	MODELADO	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	24_M-PE-MODELADO MEP
135	Modelado FON (ZZCC)	MODELADO	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	24_M-PE-MODELADO MEP
136	Modificaciones FON	CAMBIOS	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	29_C-MODIFICACIONES
137	Revisiones FON	REVISIONES	EJECUCIÓN	15_FONTANERIA	29_C-REVISION PROYECTO

Imagen 4_Tareas de fontanería en proyecto base de Ingeniería.

En base a esto, nos dimos cuenta que los directores de proyecto tenían que plantear su estrategia, y que una persona que tuviera una visión general de todos los proyectos debía de controlar cuánto se iba a cumplir de esas estrategias. Aquí nació definitivamente la figura de ese líder que sería el **Gestor de Planificación**, este perfil que para nosotros era nuevo, tiene la responsabilidad de establecer prioridades en proyectos, atendiendo los planteamientos de necesidades de los directores de proyecto. En base a esto tiene la autoridad por parte de dirección de hablar con clientes para posponer, demandar, y actualizar fechas y datos que puedan intervenir en el curso de la actividad de la empresa.

Hasta aquí tenemos resuelto cómo poner las tareas y qué tareas poner, pero ¿y los tiempos? ¿cómo se asignan? ¿Quién los asigna?

Esto fue otro punto complicado. En este punto, y debido a los procesos anteriores, se dispone de información suficiente para poder obtener unas métricas aproximadas, ya que la estandarización de las tareas no se hace efectiva hasta este momento, pero, aunque las tareas que se deben realizar en los proyectos son siempre las mismas el tiempo destinado a ello depende de otros factores, como el tamaño del proyecto, el número de repeticiones, en definitiva, el grado de complejidad del proyecto. En este punto llegamos al último escalón de complejidad, que será encontrar a la persona responsable de definir los tiempos y ajustar esos tiempos a todos los eventos y tareas generales que se desarrollan en la empresa.

Esto era una tarea muy complicada, y esta búsqueda fue una montaña rusa, que nos hizo explorar diferentes etapas:

1. Los directores de proyecto plantean los tiempos, en las reuniones de planificación.

Esto a priori puede resultar obvio, ellos son los responsables de plantear las necesidades al Gestor de Planificación por lo tanto tienen perspectiva de la tarea amplia como para poder asignar un tiempo a dicha tarea. Pero con el tiempo descubrimos que dentro de esa estrategia de entrega se jugaba con aumentar los tiempos para poder disponer de bolsas de tiempo de cada técnico por si hubiese problemas, por lo tanto, el objetivo de la planificación se desmontaba a lo largo de la semana. Esto hacía que las reuniones de planificación no tuvieran sentido ya que a lo largo de la semana se tenía que realizar un ajuste de planificación tan grande que desmontaba lo establecido.

Aquí nos dimos cuenta que los directores de proyecto estaban aprendiendo, y que estaban fuera de su zona de confort, ya que empezó a ser un proceso temible, provocando discusiones entre el gestor de planificación y el propio equipo, y estableciendo brechas de liderazgo entre los directores de proyecto y el equipo técnico.

Esto hizo establecer la siguiente y definitiva etapa:

2. Lo que se concluyó como solución es que cada técnico debía de ser responsable de asignar el tiempo

de su trabajo, en base a su experiencia y las características del proyecto. Para esto se hacía necesario una reunión de arranque de trabajos donde se presenta el proyecto. Después de esta reunión cada técnico tiene la información necesaria para rellenar una serie de horas iniciales, que se ajustarán y repartirán a lo largo de la vida del proyecto. Este reparto de horas iniciales es lo que permite al Gestor de Planificación realizar una planificación a varios meses vista, ya que dispone de la necesidad de tiempo según la variabilidad del proyecto, del equipo que tiene disponible y de los hitos de entregas tanto parciales como finales.

Por lo tanto, después del camino andado, unos 15 meses de trabajo, se ha desarrollado un proceso de planificación donde se mantienen las reuniones de los viernes para que los directores de proyecto presenten sus necesidades, con las que el Gestor de Planificación y en base a esa plantilla de proyecto y unas horas iniciales planteadas por los técnicos, establecerá una serie de tareas por horas y días de la semana para que todo el personal de la empresa pueda realizar su labor de forma organizada.

De esta forma integramos a todo el equipo en un proceso de tanta importancia como el proceso de trabajo.

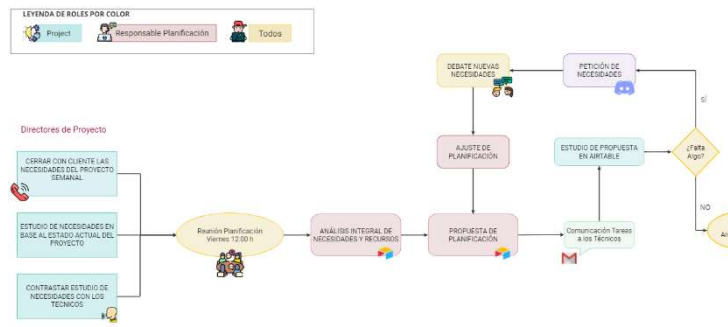


Imagen 5_PARTE 01. Proceso de planificación Actual

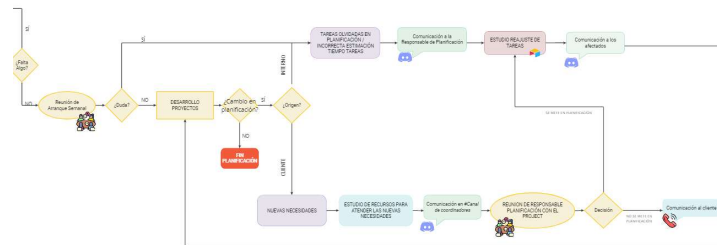


Imagen 6_PARTE 02. Proceso de planificación Actual

1.3 Dificultades

Visto con perspectiva es uno de los procesos más complejos que se han establecido en Apogea, aunque debemos reconocer que el objetivo era complicado, ya se partía de un nivel alto de desconocimiento y ejecución de algo similar nulo. Aunque partíamos de la base del compañero con conocimiento de Project Management y toda la lectura previa que hemos enumerado, una cosa es la teoría y otra cosa es ponerlo en práctica en una empresa donde la evolución es constante. Por numerar algunas más relevantes:

1. Trabajar las zonas de confort de los miembros del equipo. Aunque la visión de la empresa es la evolución constante y ya se habían establecido procesos mediante herramientas, encontrándonos con esta reacción humana tan común, nunca el cambio fue tan estructural, pero con esta implantación los directores de proyecto tenían que adaptarse a un sistema de gestión de tareas muy preciso y totalmente nuevo, además de la preocupación del proyecto y la gestión con el cliente. Esto es algo que no se estudia y que no está establecido en este sector más allá de la curiosidad personal, por lo tanto, pusimos al equipo en un abismo y los empujamos.
2. Trabajar con el miedo: Miedo del equipo y miembro de los responsables de la puesta en marcha e investigación de este proceso. Este sentimiento es algo que un líder de equipo debe conocer, tanto para controlarlo cuando aparece como para saber cómo ayudar a superarlo. El no saber controlar este sentimiento hace florecer la frustración, por lo tanto, el fracaso del proceso.
3. Tiempo de desarrollo e inexistencia de un proceso adaptado a nuestro flujo de trabajo. Hemos tardado dos años en poner en funcionamiento este proceso siendo para la organización un objetivo principal, donde estaba la implicación directa de la dirección de la empresa, pero hemos de reconocer que este hándicap puede ser un problema para empresas que se lo planteen. Ya que durante los dos años hemos mantenido al equipo en un cambio permanente de sistema.

4. Trabajar en un sector conservador: Aunque trabajar en procesos planificados parece algo obvio en otros sectores como el de la industria automovilística, en el sector de la construcción, aun hablando de prefabricación cada vez con más fuerza y teniendo directrices gubernamentales de trabajar en proyectos bajo metodología BIM, e incluso realizando grandes esfuerzos en la digitalización el sector, aún no se habla de planificación, y estamos convencidos que será necesario, ya que trabajar en estos sistemas de trabajos nos obliga a cumplir con hitos para que otros equipos continúen con el trabajo, convirtiendo el proyecto en una carrera de relevos. Por lo tanto, no podremos hablar de Construcción Industrializada hasta que no pasemos por interiorizar estos procesos como parte del desarrollo de la industria. Además, trabajar en metodología BIM requiere de establecer estructuras de trabajo, hitos de entrega que se deben cumplir y equipos especializados, que sin estos sistemas de planificación hacen que no se llegue al éxito deseado.

1.4 Beneficios

Actualmente hemos conseguido con creces el objetivo, que ha traído consigo un aumento de la productividad de la empresa. A continuación, se enumeran algunos de los beneficios más destacados:

1. Reducción de tiempos en reuniones individuales que se realizaban de forma reiterada, sustituyéndolas por reuniones de trabajo que son controladas en tiempo y en orden del día.
2. Minimización de periodos de incertidumbre tales como '¿Qué tengo que hacer?' Cualquier miembro del equipo tiene disponible su planificación para esta semana y para dos meses vista, donde cualquier persona sabe lo que tiene hacer, permitiendo organizarse el tiempo y realizar un trabajo más basado en la productividad que en el tiempo de permanencia.
3. Estudio de todos los procesos que se realizan en la empresa, repartiendo de forma más equilibrada quién hace qué, de esta forma se han equilibrado las tareas con las responsabilidades.
4. Al analizar todas las especialidades para realizar el proyecto base, se han detectado pérdidas de valor en el desarrollo de nuestro trabajo y se han reducido realizando procesos de mejora en todas las áreas.
5. Se ha implementado un sistema de calidad y control de los trabajos que realizamos. Introduciendo a la planificación los tiempos de revisión de tareas, gestión de proyecto.
6. Se ha conseguido adelantar las entregas hasta dos semanas, permitiendo aumentar la satisfacción del cliente.
7. Se cierran las entregas con seguridad, generando una sensación de bienestar en el equipo sin necesidad de realizar sobreesfuerzos.
8. Permite indicar a nuestros clientes con mucha antelación cuándo podemos realizar una tarea y cuándo nos resulta complicado, aportando ese plus de seguridad y control que el cliente necesita.
9. Permite tener un equipo equilibrado con el trabajo que tenemos en vista, y realizar previsiones tanto de equipo como de trabajo a largo plazo.
10. Tener información de tiempos y datos ya estructurados para realizar análisis...
11. Se han incluido tareas estructurales que antes se realizaban y que no se contabilizaban en tiempo, como revisiones, informes técnicos, análisis de horas, respuesta de informe, gestión de entregas, etc.

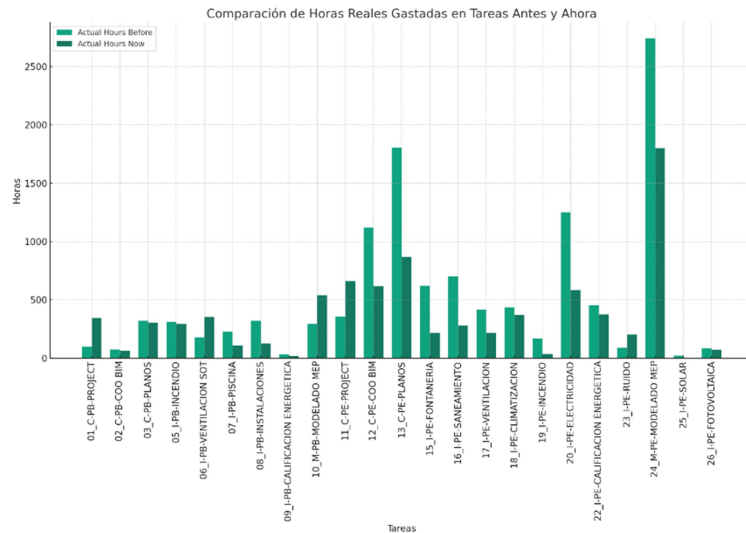


Imagen 7_ Comparación entre Horas antes del Proceso con después del Proceso

Las horas totales reales gastadas en todas las tareas anteriormente fueron 12,113.91 horas, y ahora son 8,422.69 horas. Esto resulta en una disminución porcentual total del 30.47%.

2. Evolución permanente. ¿En qué punto estamos ahora?

Cómo no podría ser de otra manera, una vez implementada la planificación en todo el equipo y con el rodaje que hemos tenido durante estos dos años, no puede quedarse ahí. Alimentados del espíritu de mejora continua que desde la organización nos alimenta, tenemos que darle una vuelta de tuerca más, ya que hasta ahora la planificación depende del Gestor de Planificación y pensamos que este proceso se puede automatizar más y evolucionar.

Aprovechando el tirón de la inteligencia artificial, pensamos que con la información disponible puede ayudarnos bastante en generar un motor de predicción que nos ayude a plantear horas iniciales de las tareas basadas en nuestra propia información, teniendo como variable, por ejemplo, los datos de tipo de edificio y número de viviendas, y en ello estamos trabajando.

Tenemos un prototipo en *Akkio*, (<https://www.akkio.com/>) que es un software de predicción, que nos aporta una predicción del 70%. Aunque a fecha de la redacción de esta comunicación no está implementado estamos en el camino para hacerlo y estamos convencidos que lo vamos a conseguir.

3. Conclusiones

Después de un intenso recorrido en la implementación de un proceso de planificación para controlar la incertidumbre y optimizar la gestión de proyectos bajo la metodología BIM, podemos afirmar que hemos alcanzado importantes logros. Desde el análisis inicial de nuestras prácticas hasta la consolidación de un sistema estructurado, hemos enfrentado diversas dificultades y desafíos que nos han llevado a un profundo proceso de aprendizaje y crecimiento.

Nuestro enfoque se ha centrado en la creación de un sistema que no solo controle los tiempos y recursos, sino que también tenga en cuenta la complejidad humana inherente al sector AEC. Reconocemos la importancia de liderar equipos y gestionar no solo tareas, sino también estados de ánimo y dinámicas de grupo.

Hemos confirmado que un proyecto basado en metodología BIM tiene la necesidad imperiosa de ser bien planificado, ya que sólo de esta forma podemos exprimir el potencial de este sistema, poniendo el proyecto como objetivo global de todos los intervinientes y como base que marca la necesidad para avanzar o parar el flujo de trabajo.

Entendemos que cuando trabajamos con varios equipos que tienen como objetivo finalizar un trabajo único, que este caso es la redacción de un proyecto, se generan tareas que debe terminar un equipo para que puedan pasar al siguiente en la cadena, el control de tiempo de estos procesos hace que repercuta en el proyecto la mejora de calidad, aportando coordinación directa e inmediata, sin retrabajos que se acumulan en la parte final del desarrollo.

A nivel interno nos ha ayudado a conocer mejor todos los pasos que damos en el desarrollo de un proyecto y cómo los damos, de forma que ahora no sólo trabajamos en proyectos de forma colaborativa, sino que además aportamos valor y tenemos tiempo de mejorar y realizar una ingeniería de valor, aportando soluciones y cumpliendo con los entregables que nos exigen los clientes.

Esto ha aportado en el equipo una solvencia y una capacidad de mejora que supera el esfuerzo realizado, además de poder poner en práctica medidas de bienestar laboral, que hacen que el equipo trabaje de forma más cómoda y menos estresada. Por supuesto nos ha vuelto más exigentes, con nosotros mismo y con los que se incorporan a formar parte de esta familia que trabaja por un único objetivo, desarrollar un producto con el que nos podamos sentir orgullosos.

Referencias

Covey, S. R. (2013). *Los 7 hábitos de las personas altamente efectivas: lecciones poderosas en el cambio personal*. Simon y Schuster.

Asana, (2024) <https://asana.com/es/resources/eisenhower-matrix>. La matriz se Eisenhower: cómo priorizar tu lista de tareas pendientes

Airtable <https://airtable.com/>

Akkio, (<https://www.akkio.com/>)

METODOLOGÍAS ÁGILES EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURAS.

Benítez Balseiro, María.

Coordinadora BIM en Isdefe. mariabenitez@gmail.com

Abstract

This article aims to approach Infrastructure Project Management from a modern perspective. BIM has brought new ways and new needs to our market.

Traditional Management styles didn't work well with project development as they were done before, and they don't work well with new ways of working and thinking.

Looking at other industries, like production Industries, or software development companies must make us reflect on how we manage our projects.

This is an approach to Lean and Agile, to help managerial colleagues in AECO industry to change the way they front problems into a new, more agile, and better adapted to BIM perspective.

Keywords: Scrum, Agile, Toyota Production System, Management, AECO, BIM, Projects.

Resumen

Este artículo tiene como objetivo abordar la Gestión de Proyectos de Infraestructura desde una perspectiva moderna. BIM ha traído nuevas formas y necesidades a nuestro mercado.

Los estilos de gestión tradicionales no funcionaron bien con el desarrollo de proyectos tal y como se hacían antes, y no funcionan bien con nuevas formas de trabajar y pensar.

Mirar a otras industrias, como la industria de producción o empresas de desarrollo de software, tiene que hacernos reflexionar sobre cómo gestionamos nuestros proyectos.

Este es un enfoque Lean and Agile, para ayudar a los colegas que gestionan proyectos de la industria AECO a cambiar la forma en que enfrentan los problemas hacia una perspectiva nueva, más ágil y mejor adaptada a BIM.

Palabras clave: Scrum, Agile, Toyota Production System, Gestión, AECO, BIM, Proyectos.

1. Introducción

En el sector AECO, la gestión normalizada siempre ha sido utilizada para el desarrollo de las obras. En cambio, por lo general, no se utilizan metodologías específicas para la gestión de los proyectos, posiblemente porque los despachos de ingeniería y arquitectura son mayoritariamente PYMES.

En estudios o ingenierías grandes, en cambio, si se utiliza habitualmente la gestión de proyectos normalizada, especialmente la gestión basada en el uso de diagramas de Gantt.

Estos diagramas, y las metodologías que los utilizan para gestionar proyectos, se vienen utilizando desde 1915, (cuando Henry Gant los popularizó en Europa), es decir **desde hace más de cien años**, para la gestión de proyectos.

Este tipo de diagramas se han utilizado para proyectos de muy distinta naturaleza (software, cine y radio, producción industrial, ...), dentro del sector AECO se han utilizado tanto para la ejecución de obras como para la gestión de proyectos.

Sin embargo, la experiencia en gestión de proyectos con esta metodología demuestra fallar de forma reiterada, las tareas se retrasan habitualmente, incluso a pesar de tener a todos los miembros del equipo dedicados. Y aunque la metodología permite establecer una línea de base, y modificarla según se va avanzando, es una práctica poco habitual.

En la industria se ven diagramas con más de 300 tareas, lo que hace prácticamente imposible lograr su objetivo inicial (mejorar la producción a través de una herramienta visual).

Esta metodología, se ha usado e intentado optimizar durante años, pero la gestión es extremadamente compleja, sobre todo en proyectos muy cambiantes, cuando los receptores del servicio cambian de necesidades con mucha frecuencia.

Añadido a lo anterior, el BIM ha venido al sector AECO para introducir cambios, y el de la gestión de personas, equipos y proyectos, es uno de ellos.

1.1. El proyecto previo y el proyecto piloto.

Antes de abordar el proyecto que dio lugar a este artículo, el equipo de trabajo había abordado otro de características similares, proyectos dentro de bases militares, con requisitos complejos y mal definidos.

En febrero de 2019, a un equipo de trabajo formado por 1 Coordinador(arquitecto), 3 Ingenieros Industriales, 1 Ingeniero de Caminos, 1 Ingeniero de Edificación, y 1 Arquitecto se le encomienda la realización de los siguientes proyectos:

1. Centro de Vigilancia en tierra de los submarinos S-80 (0,5 M€)
2. Edificio para las dotaciones de los S-80 (6 M€) -
3. Ampliación de los muelles del Arsenal de Cartagena para los s-80 (12M€)

Los proyectos fueron entregados en Julio de 2021 (un total de 29 meses para desarrollar 3 proyectos con un equipo de 7 personas). Es importante señalar que hubo muchos cambios en los requisitos, a lo largo del desarrollo de los trabajos. También coincidió con el periodo de pandemia, por lo que la interacción con el cliente era compleja y, adicionalmente, se preveía en el proyecto 3 la retirada de restos arqueológicos, por lo que fue necesario contar con la aprobación del Ministerio de Cultura. En este sentido solo se puede hacer una suposición de lo que este proyecto hubiera supuesto en el tiempo sin contar con la pandemia, ni con las consultas con el Ministerio de cultura...sin embargo, para poder hacer una comparación entre los dos casos, vamos a suponer unos 6/7 meses para ambos proyectos de edificación (en base a múltiples experiencias anteriores) y unos 10/12 meses para el proyecto de obra civil (que fue el plazo ofertado inicialmente por una consultoría a la que se le solicitó presupuesto). Estaríamos hablando de **16 meses con un equipo de 7 personas para desarrollar 3 proyectos, por valor de 18,5 M€**

A continuación, en septiembre del año 2021, se unen 3 arquitectos al mismo equipo, del que se retira al ingeniero de caminos para llevar a cabo la redacción de los siguientes proyectos:

1. Nueva nave para los servicios aéreos NH-90 (5,2 M€)
2. Talud de relleno para la ampliación de la plataforma de levante (0,8 M€)
3. Nuevo hangar de los NH-90, para la quinta escuadrilla (20 M€)
4. Nuevo edificio de simuladores de misión del NH-90 (5,4 M€)
5. Aparcamiento de poniente (1 M€)
6. Modernización de talleres de repuestos de aeronaves (0,4 M€)
7. Adecuación de taller de aviónica (0,2M€)
8. Adaptación del taller de turbinas para el banco de pruebas de los NH-90 (N/A)
9. Ampliación del taller de fuselajes (4,7 M€)
10. Wash rack (N/A)¹

Las entregas se producen entre el 22 y el 23, año en el que, en Julio, se entrega el último proyecto, es decir en un total de **22 meses con un equipo de 9 personas, para desarrollar 8 proyectos, con un valor total de 37,7 M de €**

Este proyecto también tuvo numerosas dificultades, especialmente con el proyecto 3, en el que hubo que hacer un cambio importante una vez había sido entregado el proyecto. El hangar original debía medir 115 metros, se proyectó, calculó y entregó, y a continuación se solicitó una reducción de 15 metros. Otros problemas fueron, por ejemplo, la indefinición de requisitos iniciales, y la multitud de usuarios finales con los que había que tratar los distintos temas.

Es decir, en términos comparativos, **con 2 personas más se abordaron 5 proyectos más, por valor de 19,2 m€ más en 6 meses más**. Es evidente que no fueron 3 de las personas que se incorporaron al equipo las que hicieron ese trabajo posible en ese plazo.

Además del tamaño, la principal diferencia entre ambos proyectos fue la metodología de gestión. El primero se desarrolló con Gantt, y el segundo con metodologías ágiles.

2. Las metodologías Ágiles y el Lean.

En oposición a las metodologías de programación en cascada, las metodologías Ágiles ordenan el trabajo a través de la priorización. El Lean nace fundamentalmente del *Toyota Production System*.

La filosofía ágil (*Agile*) parte de un manifiesto que firman en el año 2001 miembros de la industria del software, tras determinar la incapacidad de las metodologías tradicionales de gestión de proyectos, para la gestión de desarrollo de software.

Una de las principales diferencias es que, mientras las metodologías ágiles tienen un enfoque estructurado e iterativo para el desarrollo de productos, la metodología LEAN tiene por objetivo eliminar actividades que no aportan valor. Veamos someramente ambas metodologías.

2.1. El TPS (*Toyota Production System*, o Sistema de Producción Toyota)

En origen, el sistema **se diseñó para fábricas de automóviles y sus relaciones con proveedores y consumidores**, sin embargo, este se ha extendido a otros ámbitos. Este sistema el precursor del genérico *Lean Manufacturing*. que se ha convertido posteriormente en *Lean Construction*, *Lean Management*, etc.

El desarrollo del sistema se atribuye fundamentalmente a tres personas: **el fundador de Toyota, Sakichi Toyoda, su hijo Kiichiro y el ingeniero Taiichi Ohno**, quienes crearon este sistema entre 1946 y 1975. Este sistema se fue desarrollando a lo largo del tiempo, mejorando la producción con numerosas herramientas, unas menores y otras de mayor calado, veremos a continuación alguna de ellas, para

¹ Los proyectos 8 y 10 no se llegan a hacer por motivos que carecen de interés en el presente documento.

entender cómo, a través de la ingeniería de procesos, mejoraron la industria del automóvil, de tal modo que consiguieron calar en numerosos sectores con su metodología.

Los cinco valores del *Toyota Way*, se pueden ver en cualquiera de sus webs de producto², y son:

1. El reto
2. La Filosofía Kaizen
3. Genchi Gebutsu
4. Respeto
5. Trabajo en equipo

El reto de estar permanentemente creciendo, la filosofía Kaizen que nos invita a mejorar constantemente para tener una vida cada vez más satisfactoria, el Genchi Gebutsu (buscar los problemas en y desde el origen) el respeto por los demás, y el trabajo en equipo.

Bajo el paraguas del Kaizen, el Genchi Gebutsu, el reto, el respeto, y el trabajo en equipo el “*Toyota Production System*” desarrolla numerosas herramientas, como 5s, TPM, Jidoka, Quality Gate, Poka-yoke, WPMS, Ando, y un largo etcétera. En esta comunicación se presentan dos de ellas las 3 Mus, y el Kanban, que son las que se han utilizado en el proyecto piloto.

2.1.1. Las 3 Mu's

Uno de los principales objetivos del TPS, es la eliminación del desperdicio. El sistema identifica tres tipos de desperdicio, en lo que se conoce como las 3 mu's:



Fig. 1 Las tres Mu's. Imagen de producción propia.

Veamos las tres Mu's en el ámbito de los proyectos

MURA. - Tiene que ver con las PERSONAS, no se puede, en un equipo, distribuir la carga de trabajo de manera no uniforme, porque se estresan unos miembros, y otros pierden la vinculación.

MUDA. -Tiene que ver con las personas, pero también con la información que se incluye en un proyecto, y sobre todo con el desperdicio de TIEMPO gastado en una sola tarea

Finalmente, el **MURI**, el exceso, lo aplicaremos sobre todo a la INFORMACIÓN, un exceso de información en BIM supone desperdiciar tiempo y recursos.

Es bastante intuitivo encontrar muchos otros desperdicios en la redacción de un proyecto en general, y en la redacción de un proyecto desarrollado en BIM en particular.

² <https://toyota-forklifts.es/toyota-lean-academy/the-toyota-way/>

2.1.2. El Kanban (看板)

Es una herramienta Visual, creada por Taiichi Ohno, en el marco del TPS. Esta herramienta se utiliza tanto en entornos *lean*, como en entornos *agile*. Kanban significa letrero en japonés, literalmente es vista + tarjeta.

Esta metodología se materializa en un “tablero” donde se listan las tareas a realizar en un proyecto, o en un determinado periodo de tiempo.

El tablero tiene 4 columnas de estado de las tareas. Las tareas, al inicio del proyecto, se ponen en una columna y van recorriendo el tablero conforme avanzan.

2.2. El manifiesto Ágil

En línea con la cultura japonesa, y la posterior metodología Lean que nació directamente del TPS, han existido en los últimos tiempos, otras metodologías de trabajo que, pivotando alrededor de los mismos principios, han dado una vuelta más de tuerca a la gestión de proyectos. Una de esas filosofías es el Manifiesto Ágil.

El 12 de febrero de 2001 diecisiete profesionales del mundo del software³, se reunieron para analizar los métodos de gestión de proyectos que estaban surgiendo como alternativa a las metodologías tradicionales, que consideraban demasiado cargadas de contenido y rígidas por su carácter normativo y absoluta dependencia realizar la planificación detallada de un proyecto, antes de comenzar a desarrollarlo. De esta reunión salió el manifiesto ágil

De este manifiesto y sus postulados y principios, nacen las distintas metodologías “Agile”, pero vamos a centrarnos en la desarrollada por uno de los firmantes, Jeff Sutherland, en su libro “*Scrum: The art of doing twice the work in half the time*”⁴

2.3. Scrum

Scrum es una metodología “Agile”, creada para paliar los problemas y sobrecostos derivados de planificaciones tradicionales (tipo Gantt) incumplidas de forma reiterada, en los proyectos de software de gran complejidad.

Scrum es una metodología ágil (Agile), en la que el equipo que gestiona un proyecto se enfoca en sacar el mayor valor, en el menor tiempo posible.

La metodología, por su adaptabilidad, es perfecta para proyectos que necesitan de cierta flexibilidad (como aquellos con requisitos de cliente muy cambiantes).

Scrum realmente significa melé (Jugada de rugby en la que cada equipo dispone a ocho jugadores agrupados en tres líneas que, apoyándose contra los hombros de los adversarios, hacen presión y tratan de retrasar el balón que otro jugador ha colocado entre ellos en el suelo, hacia sus compañeros, taloneándolo). Y esta filosofía, la de que el equipo trabaje “a una” es el centro de la propuesta metodológica que supuso la mejora de rendimiento expuesta al inicio del documento.

En su libro, Jeff Sutherland nos habla de una serie de principios que deben estar detrás de la metodología.

Trascendencia, autonomía, multidisciplinariedad, lo pequeño funciona mejor, culpar es un error.

Y con estos principios, propone 3 pilares sobre los que pivota la metodología:

³ KENT BECK, MIKE BEEDLE, ARIE VAN BENNEKUM, ALISTAIR COCKBURN, WARD CUNNINGHAM, MARTIN FOWLER, JAMES GRENNING, JIM HIGHSMITH, ANDREW HUNT, RON JEFFRIES, JON KERN, BRIAN MARICK, ROBERT C. MARTIN, STEVE MELLOR, KEN SCHWABER, JEFF SUTHERLAND Y DAVE THOMAS

⁴ SUTHERLAND, J. (2015). *Scrum: The art of doing twice the work in half the time*. Random House Business Books.

Transparencia, por cuanto todo el mundo es igual en el equipo, las reuniones son públicas, todo el que considere que le son de interés debe poder acudir, el tablero es accesible a todos, y los miembros del equipo siempre saben lo que hace el resto.

Inspección, ya que el proyecto se mide y comenta de forma continuada, el equipo se reúne periódicamente de forma BREVE para revisar lo realizado, lo que falta por hacer y si se cumplirá el objetivo del sprint.

Adaptación, esta es una cualidad crítica y muy vinculada a la inspección ya que, en cuanto se detectan desviaciones grandes se actúa de inmediato. Además, este pilar es el que flexibiliza la metodología haciéndola adaptable a los cambios del cliente, no solo a las desviaciones.

La metodología se materializa a través de 3 perfiles, y 4 reuniones, utilizando los llamados “artefectos”.

LOS PERFILES

Los perfiles, al igual que los roles BIM pueden ser llevados a cabo por varias personas, o varios roles pueden ser desarrollados por la misma persona (aunque se recomienda que como mucho una persona tenga 2 roles)

El Dueño del producto

Representa a todos los agentes ante el equipo (a la propia empresa, al cliente, a los usuarios finales, entes públicos, etc.). Es el responsable del éxito o fracaso del proyecto, y debe mirar por la calidad del producto.

El Scrum máster

Es el responsable de que el proceso transcurra con fluidez, eliminando dudas y obstáculos al equipo

El Equipo de desarrollo

Debe cubrir todas las ramas de conocimiento necesarias para desarrollar el producto. Está compuesto por un equipo de entre 5 y 9 miembros.

LOS ARTEFACTOS

Unidades de trabajo

Épicas. Cuando los proyectos consisten a su vez en varios proyectos o productos diferenciados, estos se agrupan en épicas, cada una con su Pila de producto, esta estará formada por Historias de usuario, que se corresponden a productos entregables y que, a su vez, se desglosan en Tareas.

Unidad de tiempo: el SPRINT. Es la unidad de tiempo (de entre 1 semana y 1 mes) en que se desarrolla una determinada cantidad de tareas de la lista de producto.

LAS REUNIONES

Las reuniones del scrum se centran en la unidad de tiempo, el SPRINT:

Tabla 1. Las reuniones del scrum. Fuente: Creación propia

NOMBRE	Momento	Duración
SCRUM	DIARIAMENTE	15 MINUTOS
Se pregunta a TODOS, por turnos ¿Qué hiciste Ayer? ¿Qué vas a hacer Hoy? ¿Qué te bloquea?		
PLANIFICACIÓN DEL SPRINT	AL INICIO DEL SPRINT	MAX. 2 HORAS
Reunión para decidir qué trabajo se va a realizar y cuál va a ser el entregable (incremento del producto) Se decide quién va a hacer qué, y cuanto se tarda (para poder medir el progreso de forma clara)		
REVISIÓN DEL SPRINT	AL FINAL DEL SPRINT	ENTRE 1 Y 2 HORAS
Cada miembro del equipo (en grupo) describe el trabajo realizado Al final el "Dueño del producto" explica el objetivo e informa de si se ha alcanzado		
RETROSPECTIVA DEL SPRINT	AL FINAL DEL SPRINT	MÁX. 90 MINUTOS
Las mejoras se aplican al siguiente sprint Al terminar cada sprint se evalúa, respondiendo a : ¿Qué salió bien en el sprint anterior? ¿Qué salió mal? ¿Qué mejoras se podrían aplicar?		

Estas reuniones son las que hacen posible la mayoría de los principios ágiles, la flexibilidad la replanificación, la finalización de hitos intermedios, etc.

3. Materializar la metodología

Vamos a ver ahora cómo, con estas herramientas proporcionadas por las distintas metodologías, se llevó a cabo la gestión de los proyectos para el NH-90.

3.1. Los roles BIM.

Hemos visto los tres roles de la metodología scrum. Si nos fijamos en las recomendaciones de Building Smart en su manual *Roles en organizaciones y proyectos que utilizan BIM*, nos habla, de tres niveles de gestión de la información: **estratégico, táctico y operativo**, alineados absolutamente con la metodología. El dueño de producto es el que gestiona los intereses estratégicos, el scrum máster los tácticos y los desarrolladores los operativos.

De esta manera el dueño de producto será el responsable de definir contenido, alcance y fechas de los entregables. El scrum máster de convertir esos entregables en historias de usuario, productos intermedios que se pueden compartir con el cliente, y de ayudar al equipo a desarrollar las tareas de forma eficiente, eliminando los obstáculos.

Los desarrolladores, evidentemente, constituyen el nivel operativo y se ocupan de desarrollar el producto, pero también, junto con el scrum máster, de desglosar las historias de usuario en tareas y distribuirlas en los sprints.

En el caso del ejemplo, el coordinador era dueño de producto y desarrollador, uno de los arquitectos scrum máster y desarrollador, y el resto de los miembros, desarrolladores a tiempo completo.

3.2. La Lista de Producto

Preparar la lista de producto es, la primera vez, la tarea más compleja, aunque sea viable reutilizar listados desarrollados con anterioridad para la gestión de proyectos. Las **diferencias entre el Scrum, y la gestión tradicional** se deben tener en consideración, no olvidemos que cada historia de usuario debe ser un entregable que contribuya a que la percepción del cliente sobre el avance del proyecto se ajuste a la realidad. En el proyecto piloto, además de haber historias de usuario, estas se agruparon en épicas que fue lo primero que se definió:

Tabla 2. Lista Épicas. Fuente: Creación propia

EPICA	DESCRIPCIÓN
00.INFOR	Recabar información
01.SEARO	Nuevo Hangar SEARO. <i>Reubicación instalaciones SEARO para dejar libre el espacio para el nuevo hangar del NH-90</i>
02.TALUD	Ejecución de muro de contención y talud
03.HAN90	CONSTRUCCIÓN DE HANGAR Y EJECUCIÓN DE PLATAFORMA LEVANTE (en un solo expediente)
04.SIM90	CONSTRUCCIÓN EDIFICIO SIMULADOR NH-90 ** (tiene que estar 1 año antes de llegar los helicópteros)
05.PARFA	Aparcamiento de poniente
06.NAVFA	SUSTITUCIÓN DE CUBIERTA NAVE N °4 Y ACONDICIONAMIENTO NAVE N°1 (INST. GAS FLOAN)
07.TALFA	Adecuación de taller de aviónica (inst. Gas floan)
08.TURFA	Adecuación banco de pruebas de turbinas (inst. Gas floan)
09.FUSFA	Ampliación del taller de fuselaje (inst. Gas floan)
10.WASHR	Ejecución wash-rack
11.METOD	Actividades de metodología
12.GESTI	Actividades de gestión

Una vez tuvimos las épicas, estas debían tener sus historias de usuario:

Tabla 3. Lista de historias de usuario tipo de los proyectos. Fuente: Creación propia

HISTORIA DE USUARIO	
Nombre	Descripción
US04.00. CARPETAS, LISTADOS CÓDIGOS	Quiero generar carpeta de proyecto con doc previa y listado de documentación a entregar con códigos
US04.01. ANTEPROYECTO	Quiero generar un anteproyecto para que el cliente me lo valide y pueda empezar con los documentos del proyecto de ejecución
US04.02. DEMOLICIONES	Quiero que los documentos entregables generados puedan ser insertados en el entregable final completo.
US04.03. URBANIZACIÓN	Quiero tener todos los servicios y acometidas definidos y bien conectados a las redes existentes. Quiero tener documentos acabados para insertar en el documento final
US04.04. ARQUITECTURA	Quiero generar el apartado de arquitectura de construcción del nuevo simulador de los NH-90 a la vez que la memoria y generar los pliegos y medición/presupuesto con formato para poder incorporar en el entregable final
US04.04. INSTALACIONES	Quiero generar el apartado de instalaciones eléctricas y mecánicas para la construcción del nuevo simulador para los NH90 a la vez que la memoria y generar los pliegos y medición/presupuesto con formato para poder incorporar en el entregable final

US04.05. ESTRUCTURA	Quiero contratar el apartado de la estructura del proyecto de construcción del simulador de los NH-90. Necesito completar el proyecto y sacar una licitación para contratar los servicios. Quiero que los documentos que me entreguen tengan el formato adecuado para poder incorporarlos al documento final
US04.06. Unificar Mediciones. Presupuesto y pliego	Quiero coger todos los documentos de proyecto generados por cada US anteriores para generar las mediciones, presupuesto y pliegos unificados entregables en formato definitivo y revisados, validados y firmados.
US04.07. PLANOS	Quiero coger todos los documentos de proyecto generados por cada US anteriores para generar conjunto de planos unificados entregables en formato definitivo y revisados, validados y firmados.
US04.08. MEMORIA	Quiero coger todos los documentos de proyecto generados por cada US anteriores para generar memoria unificada entregable en formato definitivo y revisados, validados y firmados.
US04.09. PROGRAMA DE TRABAJOS	Quiero generar el programa de trabajos en formato entregable
US04.10. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD	Quiero generar el estudio de seguridad y salud en formato entregable

Finalmente, con las historias de usuario definidas, hubo que definir las macro tareas, que se desglosarían en tareas menores, para asignar duraciones, en las reuniones de planificación.

Tabla 4. Macro tareas tipo de las especialidades de diseño (previas a la redacción del proyecto). Fuente: Creación propia

HISTORIA DE USUARIO	Macro-Tareas
Nombre	
US04.04. ARQUITECTURA	0. Pasar el modelo de AP a PE 1. [Código] Planos (meter grupos de planos) 2. Memoria 3. Medición y presupuesto 4. Pliego
US04.04. INSTALACIONES	1. [Código] Planos (meter grupos de planos) 2. Memoria 3. Medición y presupuesto 4. Pliego
US04.05. ESTRUCTURA	1. Redactar el PPT 2. Hacer IN 3. Evaluar ofertas 4. Seguimiento hasta recibir entregable (Modelo, Planos, med., pliego y mem.)

Una vez realizado este trabajo (que es un trabajo estándar, válido para múltiples proyectos), se procedió al desarrollo de los trabajos a través de las distintas reuniones que hemos ido viendo.

3.3. La planificación del Sprint

Aunque las cuatro reuniones del Sprint son necesarias, esta es la primera de ellas, y su adecuado funcionamiento será sin duda el camino al éxito, o al fracaso.

En el caso del ejemplo se decidió que los sprints debían durar periodos de 15 días, el trabajo de organización se hizo de la siguiente manera:

1.- El Dueño de Producto PRIORIZA las tareas en la lista de tareas

2.- Se anotan los TIEMPOS DISPONIBLES en el sprint, viendo la dedicación real que cada miembro del equipo va a poder tener, esto incluye vacaciones, reuniones, tareas de gestión, etc. Es decir, se delimitan las horas reales que se va a poder trabajar en el sprint.

En este punto, dado que el equipo estaba asignado exclusivamente a este proyecto, había que asegurar que siempre hubiera tareas disponibles para todos los perfiles, o al menos, suficientes tareas para cualquier perfil, de tal modo que se sacase el máximo provecho a este.

3.- El equipo de desarrollo, bajo la batuta del scrum máster, va cogiendo las tareas de la lista según la prioridad marcada por el dueño de producto, y asignándoles una DURACIÓN. Una vez se ha cuadrado el tiempo total disponible con la duración asignada a las tareas, se pasa al siguiente paso.

En los primeros sprints, el equipo cometía errores importantes en los cálculos de tiempos para la compleción de las tareas (errores de incluso una semana), sin embargo, conforme se fue revisando, detectando debilidades; como tareas inesperadas a las que no se les asignaba tiempo, tiempos de gestión (propia, de empresa, del equipos...) etc, se fueron mejorando las estimaciones, llegándose al final con una precisión de casi el 100% en estas estimaciones.

4.- Se trasladan las tareas seleccionadas al tablero KANBAN del SPRINT. Las tareas que el equipo ha decidido que se pueden abordar en el sprint se llevan al tablero.

5.- Se asigna 1 ÚNICA tarea a cada miembro del equipo. Al inicio de la metodología cometimos dos errores de programación. El primero fue asignar las tareas de antemano (esto hacía que hubiera gente que terminara antes de lo previsto, y otros más tarde, no aprovechándose adecuadamente el tiempo.). Esto se corrigió, asignando las tareas de una en una, así, cuando alguien terminaba su trabajo podía ir a las tareas pendientes y comenzar con la primera que estuviese libre, y dentro de sus capacidades.

El otro error fue que utilizábamos una columna para cada épica (Cada uno de los proyectos), lo que generaba una cierta dificultad a la hora de tener en un solo vistazo lo que estaba hecho y lo que quedaba por hacer. Esto nos llevó, al cabo de un tiempo, a pasar a usar el tablero como un Kanban (con las columnas pendiente, en curso, bloqueado y completado) . Esto nos permitía ver claramente el avance diario del trabajo, y también al final de cada sprint, determinar lo que no se había completado, analizando si era por una causa imprevista, por un mal cálculo de tiempos, etc. A raíz de estos análisis, la estimación de tiempos fue mejorando a lo largo del proceso.

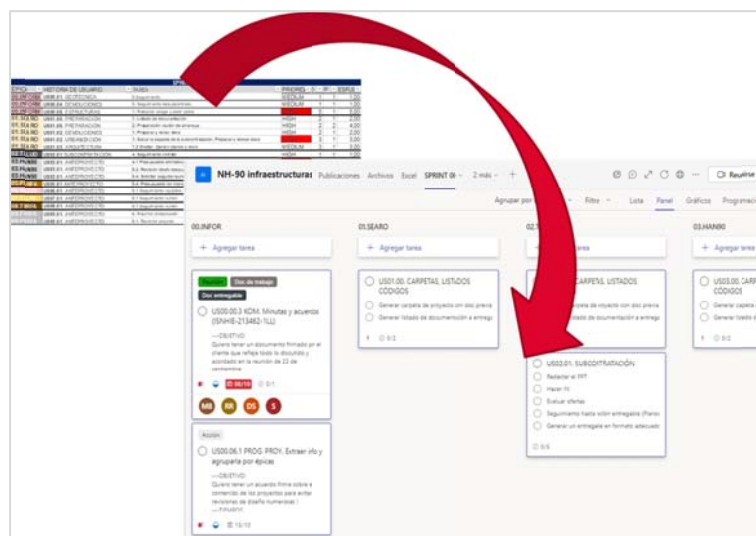


Fig. 2 De la Lista de producto al tablero. Creación propia

Esto se mejoró incorporando la columna “para el sprint en curso” en los sprints en los que nos enfocábamos en terminar un proyecto concreto, así se seleccionaban las tareas para el sprint de la lista de pendientes.

3.4. El Scrum DIARIO

En el scrum diario se llevaban a cabo dos acciones. Revisar que el tablero estaba actualizado, y hacer las tres preguntas diarias del scrum.

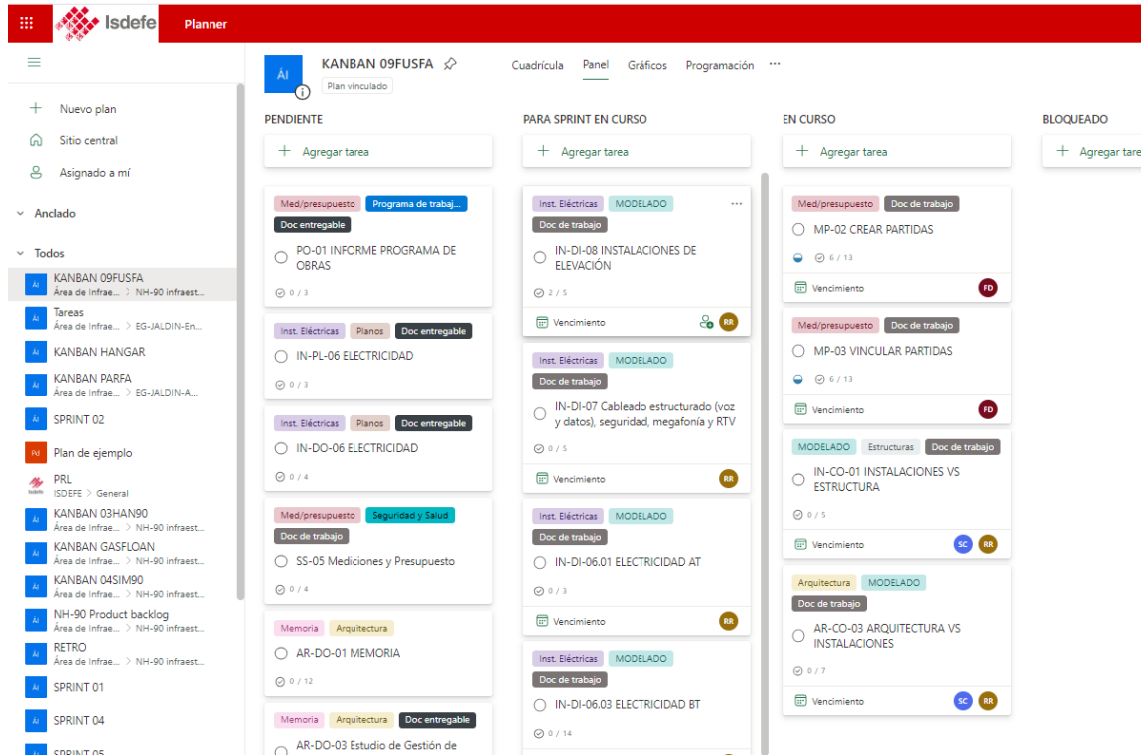


Fig. 3 Tablero "Planner" de MS Teams. Creación propia

3.5. Revisión y Retrospectiva

LA REVISIÓN consistía en que cada miembro del equipo enseñara al resto el trabajo que ha desarrollado durante el sprint. Esto facilitaba especialmente la detección de interferencias.

LA RETROSPECTIVA consistía en la revisión metodológica, se trataba de revisar que se había hecho bien y mal desde la perspectiva metodológica, aquí, por ejemplo, se decidió cambiar las columnas de épica a modo Kanban.

3.6. Actividades lúdicas en equipo

Una parte muy importante de la metodología es la socialización. Esta ha de realizarse en horario de trabajo, para fomentar la participación activa de todos los miembros del equipo. En nuestro caso se realizaban los viernes, alternando exposiciones de tema libre (para conocer los intereses de los miembros del equipo), con salidas a última hora para tener una charla distendida antes de salir de la oficina para el fin de semana.

Esto favorece el trabajo en equipo. Al conocer al resto del equipo en un plano más personal, se crean vínculos que facilitan el trabajo diario. Además, conocer las situaciones personales del resto, o sus gustos, aficiones, capacidades y circunstancias, a menudo evita la búsqueda de culpables (pilar del scrum).

4. Conclusiones

Tal y como se señalaba en el epígrafe 1.1 *El proyecto previo y el proyecto piloto*. Aunque sesgados, arrojan datos prometedores. Al tratarse de una comparativa entre un proyecto previo, en circunstancias poco habituales, y un proyecto piloto, en el que se usa la metodología por primera vez, los datos no se pueden dotar de carácter científico, sin embargo, a lo largo del proyecto se fueron consiguiendo datos tangibles. El primer dato fue la mejora en la estimación de tiempos hasta llegar a un acierto de casi el 100 % de precisión.

La asignación de tareas de una en una ha hecho posible que todos los miembros del equipo se involucren, saliendo de su zona de confort y llevando a cabo tareas que habitualmente no son suyas (por ejemplo un ingeniero mecánico haciendo un plano de emplazamiento de proyecto, o generando tablas en el modelo), tareas para las que cualquier técnico está capacitado, y que por inercia o por costumbre se asignaban a miembros concretos de un equipo. Esto ha permitido eliminar numerosos cuellos de botella, y desperdicios de tiempo y recursos.

Aunque esta cuestión (la de las pérdidas de tiempo), se ha resuelto principalmente con tareas genéricas, el dueño de producto tiene que reflexionar sobre la conveniencia de que un perfil “menos adecuado” aborde una tarea ya que tal vez al proyecto le vaya mejor tenerla antes, que tenerla rápido.

Adicionalmente, tanto en el scrum diario como en la revisión de cada sprint se producen sinergias entre los miembros del equipo, y la propia coordinación 3D se va produciendo en tiempo real, ya que permite a ingenieros y arquitectos coordinarse “en evolución”. A menudo se realizaron comprobaciones con modelos WIP, por divergencias detectadas en estas reuniones, que resolvieron problemas en etapas muy tempranas.

La propia metodología resulta especialmente adecuada para combinarla con el BIM, ya que se trata de hacer programación extrema de la gestión por procesos, la flexibilidad, y capacidad de concurrencia de tareas en BIM hace de esta metodología un aliado eficiente.

Bibliografía y referencias

SUTHERLAND, J. (2015). *Scrum: The art of doing twice the work in half the time*. Random House Business Books.

LIKER, JEFREY K.; TRADUCCIÓN: CUATROCASAS, LUIS (2011). *Toyota : cómo el fabricante más grande del mundo alcanzó el éxito* (1a ed. edición). Bogotá, Colombia: Grupo Editorial Norma.

OHNO, T. (2021). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Taylor & Francis.

NOVOA, A.; COLOMA, E.; GARCÍA, J.; GARCÉS, J.M.; LÓPEZ, J.; JIMÉNEZ, L.; BENÍTEZ, M.; LÓPEZ, M. SELFA, O.; ISLA, P. Y MUÑOZ, S. (2023) .*Roles en organizaciones y proyectos que utilizan BIM*. BuildingSMART Spanish Chapter.

[Sin autoría Reconocida] *Toyota Lean Academy* <<https://toyota-forklifts.es/toyota-lean-academy/the-toyota-way/>> [Consulta, 26 de diciembre de 2023]

KENT, B.; BEEDLE, M.; VAN BENNEKUM, A.; COCKBURN, A.; CUNNINGHAM, W.; FOWLER, M.; GRENNING, J.; HIGHSMITH, J.; HUNT, A.; JEFFRIES, R.; KERN, J.; MARICK, B.; MARTIN, R.C.; MELLOR, S.; SCHWABER, K.; SUTHERLAND, J. Y THOMAS, D. (2001) *Manifiesto for Agile Software Development*. (s/f). *Agilemanifesto.org*, <<https://agilemanifesto.org/>>[Consulta, 10 de enero de 2024]

EUBIM 2024

13° Encuentro de Usuarios BIM

**CONGRESO INTERNACIONAL BIM
BIM INTERNATIONAL CONFERENCE**



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA