

EUBIM 2021

Congreso Internacional BIM **10º** Encuentro de Usuarios BIM
BIM INTERNATIONAL CONFERENCE

THE BIM MEETING LIBRO DE ACTAS

21 de mayo de 2021
1 de octubre 2021

Organizadores:



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

Entidades Participantes:

GURV



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ



CAATIE VALÈNCIA

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



DEPARTAMENTO DE
CONSTRUCCIONES
ARQUITECTÓNICAS

CTAV COLEGIOTERRITORIAL
DE ARQUITECTOS DE VALÈNCIA



www.EUBIM.com

Congresos UPV

EUBIM2021. International BIM Conference EUBIM 2021. 10º Encuentro de usuarios BIM

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

© Edición Científica

Begoña Fuentes Giner
Inmaculada Oliver Faubel

Comité Organizador

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

© de los textos: los autores

© 2021, de la presente edición: Editorial Universitat Politècnica de València.

www.lalibreria.upv.es Ref.: 6698_01_01_01

ISBN: 978-84-9048-702-0

DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/EUBIM2021.2021.13968>



EUBIM2021. International BIM Conference EUBIM 2021. 10º 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/EUBIM2021>



PRESENTACIÓN

EUBIM 2021: THE BIM MEETING

Bienvenidos lectores un año más al EUBIM 2021. Como podéis comprobar en la portada que recapitula los colores de carteles de congresos de otros años, este tenía que ser muy especial dado que es nuestro décimo aniversario. Teníamos grandes ilusiones y llevábamos pensando en él desde hace mucho tiempo. Valga de ejemplo una propuesta (entre muchas otras que estudiamos) de realizar el congreso en un cruce de una semana todos los eubimers. Y es que este congreso se diferencia de otros sobre BIM en tres aspectos: (1) somos un congreso sin ánimo de lucro cosa que nos permite, por una inscripción asequible y gracias, por supuesto, a nuestros patrocinadores, ofrecer no sólo el acceso al conocimiento a través de ponencias, talleres, casetas etc., sino también a las comidas y cenas del congreso, y esto nos lleva al segundo aspecto diferenciador; (2) el factor social de EUBIM, de networking o, simplemente, de reunirnos toda la familia de eubimers para abrazarnos, ponernos al día y comentar el año o, incluso, iniciar proyectos conjuntos; (3) y por último, y no menos importante, nos diferenciamos porque somos un verdadero congreso científico en el que son imprescindibles vuestras comunicaciones, que son valoradas por nuestro Comité Científico y que se publican en este Libro de Actas.

Tan definitorio de EUBIM es este último aspecto que, a pesar de haber retrasado la fecha del congreso por no haberlo podido celebrar de forma presencial; de no poder tener ese encuentro social, de no poder organizar y ofrecer esas comidas y cenas que hacen “piña”; de no poder experimentar las novedades de los patrocinadores en las casetas, ni los talleres, ni las salas de la ETSIE llenas compartiendo codo con codo conocimientos y experiencias, nos queda aún el pilar central de este congreso científico que son vuestras comunicaciones.

Un congreso presencial conlleva una organización que dura meses dado que las reservas de espacios tanto para los actos científicos como lúdicos se han de realizar con tiempo, hace falta una gestión previa con los patrocinadores, con la universidad, procedimientos y documentación a tramitar, etc. Todo ello pilló al Comité Organizador en la quinta ola, con unas restricciones de aforo y necesidades de homologación de espacios, incertidumbre, poca, y lógica predisposición por parte de los patrocinadores que todavía permanece en la actualidad. Eso nos ha hecho imposible organizar este congreso presencial. Podríamos, es verdad, haber organizado un congreso con un aforo muy limitado, o sin los encuentros sociales de las comidas, sin casetas, o en otro espacio que no fuera la Universitat Politècnica de València. Todo eso lo consideramos y lo valoramos. Pero llegamos a la conclusión de que hubiera sido un congreso presencial descafeinado, sin la esencia propia del EUBIM, y decidimos desestimar la idea.

Pero queremos anunciaros que el año que viene volveremos y con más fuerza a disfrutar, en su tradicional fecha en el mes de mayo, de un congreso presencial con toda su esencia y personalidad y con alguna que otra sorpresa que esperamos sea de vuestro agrado. Tenemos muchas ganas de volver a veros en persona, de estrechar nuestras manos y daros un fuerte abrazo. Esperamos que sea posible en el EUBIM 2022 y que la espera entonces habrá merecido la espera.

Volviendo al pilar del que hablábamos antes, queremos agradecer, más si cabe este año, la labor y esfuerzo que realizáis los comunicadores. Por una parte a los que venís de la comunidad investigadora y universitaria y que decidís presentar vuestros artículos científicos en este congreso en lugar de a otros congresos, revistas o plataformas. Pero la dedicatoria especial de este prólogo del Libro de Actas EUBIM 2021 va dirigida a los compañeros que han escrito sus comunicaciones y que pertenecen al sector profesional en el que transferencia de conocimiento fuera de la propia empresa suele ser inexistente o contraproducente. Son los que generan conocimiento en un entorno en el que los despachos de arquitectura, las ingenierías, las consultoras o las constructoras compiten entre sí en cada licitación por un proyecto, obra pública o cliente



privado; en el que presentan ofertas a sobre cerrado tratando de demostrar sus conocimientos sobre BIM y cómo los van a aplicar al proyecto u obra; en un entorno en el que conocimiento es poder. Y son los que han presentado sus comunicaciones a pesar de la reducción de tiempo disponible en este año en el que ha habido un considerable aumento de trabajo por el comienzo de la segunda burbuja inmobiliaria.

Sí habéis leído bien y son algunos de los indicadores los que nos lo indican, a saber, precio del metro cuadrado de vivienda en máximos históricos; comienzo de escasez de ciertos profesionales y materiales; por no hablar del número de grúas en funcionamiento; los tipos de interés del dinero en negativo que no incentivan en nada al ahorro tradicional o plazo fijo; la tendencia tradicional y generalizada por la idiosincrasia española de ningún otro método de inversión que no sea el ladrillo; alquileres cuya mensualidad actualmente igualan la de una hipoteca. Todo ello ha propiciado la llegada de esta segunda burbuja de la que aún desconocemos el tamaño y duración hasta que explote otra vez.

Por otra parte, es gratificante realizar proyectos en lengua española, ya sean privados o públicos, que no se daban desde hacía mucho tiempo. Aunque el número de proyectos provenientes del extranjero, sobretudo de países como Arabia Saudí, Qatar, Emiratos, o países africanos en crecimiento no han disminuido, es notable el número de grandes proyectos BIM que se realizan para nuestro país, ya sean estadios de fútbol, líneas de metro, ferrocarril, incluso grandes promociones de viviendas o de tratamiento de agua. El resultado inevitable es que nuestro sector, poco a poco, está alcanzando una mayor madurez en la metodología BIM o, al menos, alcanzando su adolescencia que es el término que muchos consideramos más ajustado para esta época. Al menos hemos dejado la fase del juego o simulación a la que nos referíamos en la introducción al Libro de Actas de una edición anterior, para pasar a usarlo en casos reales cada vez en mayor número, alcance y complejidad. Somos conscientes del camino que queda por recorrer en este sentido y que el uso de la metodología BIM, aunque ha avanzado mucho en proyecto (adolescencia BIM), es en la fase de ejecución de obra en la que nos encontramos en un estado menos desarrollado (de niñez). Aunque los pliegos y ofertas de obra contemplan la aplicación de la metodología cada vez en más casos (muchos para el escaparate), lo cierto es que su uso real aún se da en muy pocos de estos casos, pero que, por otro lado, resultan cada vez de más ayuda para el conjunto de agentes intervinientes.

En resumen, somos conscientes de que la carga de trabajo diario dentro de la empresa o administración, en este contexto en continuo movimiento os hace muy difícil dedicar tiempo a la investigación y a la redacción de las comunicaciones. Además, realizáis estas aportaciones y atendéis a las indicaciones del Comité Científico sin ningún beneficio económico. En definitiva, sois nuestros héroes y salvadores. Es a vosotros comunicadores, por tanto, a quien dedicamos y agradecemos, como no podía ser de otra forma este Libro de Actas EUBIM 2021. Os estaremos eternamente agradecidos.

El Comité Organizador de EUBIM 2021



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 de la ETS de Arquitectura UPV, D. Iván Cabrera i Fausto.
- Director del Departamento de Construcciones Arquitectónicas UPV, D. José M^a Fran Bretones

COMITÉ CIENTÍFICO

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

COMITÉ ORGANIZADOR UPV-GURV

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



TEMAS DEL CONGRESO

Continuando con las líneas de investigación y divulgación que fueron tratadas durante los Congreso 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 finales de máster, proyectos finales 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 vía API en cualquier plataforma y con cualquier herramienta para BIM que facilite la manipulación de datos, el modelado de geometrías estándar o complejas, explorar opciones de diseño, automatizar procesos, y crear vínculos entre múltiples aplicaciones.

2.13 Realidad Virtual, Realidad aumentada y Realidad Mixta

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



3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

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

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

3.1 Experiencias reales

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

3.2 Casos de éxito

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

3.3 Coordinación entre diferentes agentes del proceso constructivo

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

3.4 Procesos

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

3.5 Adaptación de Flujos de Trabajo

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

3.6 Generación de documentos de Construcción

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



ÍNDICE DE COMUNICACIONES Y PONENCIAS

1. FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

- 1.1 ROBÓTICA AUTÓNOMA PARA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE EDIFICIOS EXISTENTES CON INTEGRACIÓN BIM. ROBIM
 Martínez-Gómez, David Carlos; Alarcón López, Iván José; Jordán Palomar, Isabel; Villacampa Crespo, LauraPág.14
- 1.2 UTILIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO SOSTENIBLE DE INFRAESTRUCTURAS. APLICACIÓN AL DISEÑO DEL ACUEDUCTO DE CARLET (VALENCIA)
 Pastor-Villanueva, José María; Navarro-Martínez, Ignacio Javier.....Pág.27
- 1.3 HBIM PARA EL INVENTARIO DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO
 Quintilla-Castán, Marta.....Pág. 39
- 1.4 AGILE BIM Y SU INCORPORACIÓN EN EL CURRÍCULUM UNIVERSITARIO
 Liébana Carrasco, Óscar; Delgado Vendrell, David y Liébana Carrasco, César.....Pág.50
- 1.5 SAFE SCHOOL REOPENING DURING CORONAVIRUS PANDEMIC: A TOOL FOR SCHOOL MANAGERS BASED ON BIM AND CROWD SIMULATIONS
 Seghezzi, Elena; Schievano, Marco, Pellegrini, Laura, Di Giuda, Giuseppe Martino; Tagliabue, Lavinia Chiara.....Pág. 62
- 1.6 HOW FAR ARE WE FROM CIM?
 Moreno-Bazán, Ángela; García-Alberti, Marcos; Arcos-Álvarez, Antonio.....Pág.73
- 1.7 LA UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN LA GESTIÓN TURÍSTICO TERRITORIAL DEL PATRIMONIO CULTURAL. ESTADO DE LA CUESTIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN SIG Y BIM
 García-Valdecabres, Jorge Luis; Viñals-Blasco, María José; López-González, María.....Pág.82
- 1.8 APROXIMACIÓN AL DISEÑO DE UN PROTOCOLO PARA LA PLANIFICACIÓN DE ITINERARIOS CULTURALES MEDIANTE LA INTEGRACION DE MODELOS HBIM EN SIG
 Salvador-García, Elena; Teruel-Serrano, María Dolores; Marqués-Mateu, Ángel.....Pág. 92
- 1.9 LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA DEL PATRIMONIO CULTURAL. EL ESTADO DE LA CUESTIÓN EN LA ADAPTACIÓN A LA METODOLOGÍA BIM
 García-Valdecabres, Jorge-Luis; López-González, M^a Concepción; Cortes-Meseguer, Luis. Pág. 103

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

- 2.1 BIM DIGITAL TWIN: METODOLOGÍA BIM COMO BASE PARA EL DESARROLLO DEL GEMELO DIGITAL
 Moreno-Cuellar, Pedro Ignacio; Osuna-Yévenes, Clara; Méndez-Flores, Francisco; Alcalde-Vicente, Gonzalo.....Pág.115



3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

- 3.1 PRIMER PROYECTO EN BIM DE INGENIERÍA CIVIL PORTUARIA EN ESPAÑA. AMPLIACIÓN MUELLE SUR DEL PUERTO DE VALENCIA
Gómez-Caldito-Viseas, Miguel Ángel; Ureña Bolaños, Rosa; López Arrieta, Borja; Zoccarì, Sara; Frigau, Giovannie; Sanz-López, Jesús; León-García, José Ignacio.....Pág.125
- 3.2 GESTIÓN BIM COLABORATIVA EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE OBRA LINEAL: VARIANTE SUR METROPOLITANA DE BILBAO Y FERROCARRILES DE FGV
De Paz Sierra, Jesús; Ballester Muñoz, Francisco; Rico Arenal, Jokin..... Pág. 137
- 3.3 HERRAMIENTA WEB PARA LA GESTIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS EDIFICIOS Y SU CONEXIÓN CON MODELOS BIM
Otal-Simal, Rafael; Pérez-González, Pedro-Enrique..... Pág.148
- 3.4 IMPLANTACIÓN BIM LLAVES MANO EN UNA MICROEMPRESA DE ZARAGOZA (METRO7)
Lostao-Chueca, Diego; Agustín-Hernández, Luis; Sancho-Mir, Miguel..... Pág.160
- 3.5 GENERACIÓN DE PLANOS A PARTIR DE MODELOS OPEN BIM
González-Cantó, Benjamín; Gilabert-Boronat, Pablo; Ferreiro-Sistiaga, Ane..... Pág.172

FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM



ROBÓTICA AUTÓNOMA PARA INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE EDIFICIOS EXISTENTES CON INTEGRACIÓN BIM. ROBIM

Martínez-Gómez, David Carlos^a; Alarcón López, Iván José^b; Jordán Palomar, Isabel^c; Villacampa Crespo, Laura^d; ^aArquitecto, Consultor BIM y CEO ibim - david@ibim.es; ^bArquitecto Técnico, Consultor BIM, CEO ibim – ivan@ibim.es; ^cDoctora Ingeniera de la Construcción, Consultora BIM en Ibim - ijordan@ibim.es; ^dDoctora Arquitecta, Consultora BIM en Ibim - lvillacampa@ibim.es

Abstract

The rehabilitation of buildings is identified as a necessary activity under the Energy Efficiency Directive 2012/27/EC. This Directive urge to increase the pace of renewal to meet the 2050 European targets on greenhouse gas emissions.

In this context, the ROBIM project arises whose main objective is to develop an automated robotic system. This system aims to ease the acquisition of detailed and representative information about the conservation status and composition of building envelopes, without the auxiliary equipment required in traditional data collection.

This system will allow to cut costs regarding data collection and integrates all the information obtained in a digital platform based in BIM methodology, combining software, 3D IFC models and databases through the adaptation of workflows based on the use of open standards.

The use of BIM methodology enables work and management to obtain a comprehensive solution of accurate, global and useful diagnostic for decision making process on interventions following the market requirements.

Research Project ROBIM, Program: CIEN from CTDI in consortium with other companies.

Keywords: building rehabilitation, data bases, IFC

Resumen

La rehabilitación de edificios se identifica como una actividad necesaria en el marco de la Directiva sobre Eficiencia Energética 2012/27/EC. Ésta urge a aumentar el ritmo de renovación para alcanzar los objetivos europeos en 2050 sobre emisiones de gases de efecto invernadero.

En este contexto, nace el proyecto ROBIM que se plantea como objetivo primordial el desarrollo de un sistema robotizado autónomo que facilite la obtención de información fiel y suficientemente detallada del estado de conservación y composición de los cerramientos de los edificios, sin los medios auxiliares requeridos en una toma de datos tradicional.

Este sistema permite ahorrar en costes de toma de datos e integrar toda la información obtenida en un entorno digital basado en la metodología BIM, aunando software, modelos 3D IFC y bases de datos a través de la adaptación de los flujos de trabajo basados en el uso de estándares abiertos.

El uso del BIM posibilita el trabajo y la gestión para la obtención de una solución global de diagnóstico certero, completo y útil, de cara a la toma de decisiones sobre la intervención que exige el mercado.

Proyecto de investigación ROBIM Programa: CIEN del CDTI en consorcio con varias empresas.

Palabras clave: rehabilitación, bases de datos, IFC

Introducción

Proyecto Robim

ROBIM (Robótica Autónoma para Inspección y Evaluación de Edificios Existentes con Integración Bim) <http://www.robim.es/>. Es un proyecto de investigación desarrollado por un consorcio de empresas y financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) que es una Entidad Pública Empresarial, dependiente del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, que gestiona y valida este proyecto mediante el Programa Estratégico de Consorcios de Investigación Empresarial Nacional (CIEN).

El consorcio para el desarrollo del proyecto ROBIM presenta un carácter multidisciplinar, multisectorial e interregional que agrupa empresas y organismos de investigación, líderes en sus campos.

El proyecto está liderado por Euroestudios, S.L, empresa líder en el sector de la Ingeniería Civil y la Edificación en España, acompañada del consorcio formado por: Euroestudios, S.L; FCC Construcción, S.A; Geotecnia y Cimientos, S.A; Insyte, S.A; Imatia Innovation, S.L; Ibim Building Twice, S.L.

Por otro lado, los organismos de investigación participantes son: Universitat Politècnica de València a través del Instituto de Restauración del Patrimonio; Universidad Politécnica de Madrid. Grupo de investigación Sostenibilidad en la Construcción y en la Industria; Universidad Politécnica de Madrid. B105 – Electronic Systems Lab.; Universidad de Vigo; Instituto Tecnológico de Aragón.

La rehabilitación como motor económico

La rehabilitación de edificios se identifica como una actividad necesaria en el marco de la Directiva sobre Eficiencia Energética 2012/27/EC. Ésta urge a aumentar el ritmo de renovación (al menos el 3%) para alcanzar los objetivos europeos en 2050 sobre emisiones de gases de efecto invernadero (reducción de entre un 80% y un 95% respecto a 1990). Sin embargo, han sido numerosas las llamadas de atención que la UE ha hecho a nuestro país por el retraso de la trasposición de medidas para alcanzar estos objetivos (Rubio de Val, J. 2015). Además, todo apunta a que el sector de la construcción se debe reactivar a través de la rehabilitación. Cabe destacar que la ratio rehabilitación frente al total de construcción en España es uno de los más bajos de la UE (41,7%, tres puntos por debajo de la media) (Ley 8/2013). Esta actividad está, hoy por hoy, entorpecida por un cúmulo de circunstancias, que la hacen lenta, cara e ineficiente, debido fundamentalmente al empleo generalizado de procesos y técnicas constructivas artesanales y medios manuales, por una parte, y la falta de información previa suficiente y fiable para garantizar una intervención adecuada, entre otros aspectos.

Problemática de la rehabilitación de fachadas

La envolvente de los edificios, sus fachadas y cubiertas, son elementos vulnerables, castigados y difíciles de conservar en buen estado por su exposición continua a la intemperie y su difícil accesibilidad en muchos casos (Dainty et al. 2017) . En particular la fachada, por su extensión y, en algunos casos, la complejidad de su diseño tiene una gran repercusión en el comportamiento energético del edificio en la fase de uso. Es necesario renovarla, además de por su obsolescencia material y funcional, por la energética, que agrava cada vez más la situación medioambiental.

Uno de los principales problemas asociados a la inspección de fachadas es la accesibilidad a las mismas por su posición y altura. Actualmente los costes de medios auxiliares para trabajos en fachada y para inspección de fachadas son elevados, además de presentar gran complejidad en muchos casos ya que, generalmente, es necesario un sistema de andamiaje, plataforma elevadora u otros medios. Además de los costes, la seguridad del inspector, así como la de los viandantes, que pueden estar expuestos a caída de objetos, es otro aspecto desfavorable en la realización de inspecciones.

Con el objetivo de minimizar la necesidad de estos medios en las tareas de inspección y aumentar la seguridad de los operarios que la realizan, se propone el diseño de este robot, ROBIM.

La posibilidad de acceder a todas las partes de la fachada a través de la robótica y la incorporación de herramientas y métodos (no destructivos) para la extracción de información objetiva sobre el estado de conservación del edificio, son aspectos que otorgan un gran interés a esta propuesta (Dave et al. 2013).

Además, la posibilidad de acceso a todas las zonas de la fachada permite conocer con precisión su estado de conservación y realizar un diagnóstico detallado que minimice el nivel de incertidumbre (que suele ser alto en intervenciones de restauración o rehabilitación ya que el presupuesto de inspección suele ser mínimo), reduciendo costes y aumentando la eficacia de las propuestas (Antonopoulou, S., & Bryan, P 2017).

Trabajo de Ibim en el proyecto Robim

Ibim ha sido la empresa encargada de generar el protocolo de gestión de datos de Robim. Para definir el sistema de gestión de datos y las herramientas de la vinculación con los modelos BIM, se ha definido un flujo de trabajo de los datos que se consiguen con el robot y que se deben insertar en el modelo.

Como parte de este protocolo de gestión de datos se ha diseñado el protocolo de modelado EBIM en el cual se incluye tanto el proceso para el modelado como las acciones complementarias al mismo para la generación de estos modelos como la elección de equipos, creación del servidor, toma de datos, etc.

También, se ha definido de forma específica y detallada el proceso de modelado de los escenarios. Los modelos tridimensionales serán usados en todo el ciclo de vida del edificio y a partir de ellos se obtendrá el levantamiento gráfico arquitectónico.

Beneficios esperables del proyecto ROBIM

Este sistema permitirá ahorrar en costes desmedidos de medios auxiliares para acceder a la totalidad de la envolvente con seguridad, adaptando o renovando las técnicas de examen no destructivo a cada caso.

La productividad de los proyectos de rehabilitación de fachadas aumentará ya que se integra toda la información obtenida en un entorno digital, basado en la metodología BIM (aunando software, modelos 3D y bases de datos). Se ofrece, por tanto, una solución global de diagnóstico certero, completo y útil, como un servicio imprescindible de cara a la toma de decisiones sobre la intervención que exige el mercado.

1. Objetivos del proyecto ROBIM

El objetivo primordial del proyecto ROBIM es el desarrollo de un sistema robotizado autónomo que facilite la obtención de información fiel y suficientemente detallada del estado de conservación y composición de los cerramientos de los edificios.

- Generar un listado de sistemas constructivos.
- Generar un listado de posibles lesiones.
- Generar un listado de posibles técnicas de inspección.
- Diseñar un robot basado en un dron en el que se alojen las máquinas para las técnicas de inspección.
- Diseñar una plataforma web, CDE (Common Data Environment, en castellano Entorno común de datos) donde unificar la información obtenida por los vuelos del dron.
- Diseñar las herramientas BIM para centralizar los datos recabados en los vuelos del robot: el protocolo de creación del modelo EBIM (Existing Building Information Modelling). Asistir a arquitectos e ingenieros para una toma de decisiones más eficiente basada en los datos recogidos por Robim.
- Comprobar la eficacia del sistema en un caso piloto.

2. Metodología

Se utiliza la metodología basada en ciencias del diseño Design Science Research (DSR) para diseñar este producto (Holmström et al. 2009). Esta metodología se utiliza en el ámbito de I+D+i para el desarrollo de

productos con garantías científicas cuando se requiere resolver un problema con relevancia teórica y se necesita producir artefactos prácticos. Las fases clásicas del DSR son 5: identificar el problema, definir objetivos, diseñar la solución, implementar la solución y evaluar la solución (Peppers et al. 2007)

La metodología diseñada para llevar a cabo este proyecto se compone de 8 etapas (figura 1). La metodología comienza identificando el problema a resolver gracias al estudio del hueco de investigación en el estudio del estado del arte, para después definir con concreción los objetivos, producir un listado de técnicas constructivas, listado de patologías y listado de técnicas de inspección basándonos en la información recopilada en el estado del arte, siguiendo con el diseño de tres artefactos (robot, plataforma y protocolo de modelado), continuando con la aplicación de los artefactos diseñados en un caso de estudio y después validar el trabajo con técnicas de investigación aceptadas por la comunidad científica, en nuestro caso la técnica Delphi (Yin 2009).

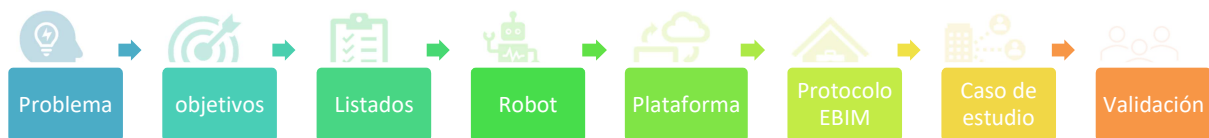


Fig. 1 Diseño de la metodología adoptado. Fuente: proyecto Robim (Ibim). 2021

2.1 Identificar el problema

El trabajo de identificación del problema se hizo con un estudio del estado del arte científico tanto en sistemas robóticos, centralización de información (Arthur et al. 2017; Li et al. 2018; Singh et al. 2011) y modelado de edificios existentes en BIM (Building and Construction Authority 2013; Volk et al. 2014; García-Valldecabres et al. 2016; Dore y Murphy 2017). Además, se hizo un proceso de detección de las necesidades de las empresas constructoras del consorcio.

El estudio de la literatura científica al respecto de manera sistemática permitió la identificación del problema existente y definir cuales habían sido los proyectos de vanguardia similares al respecto. De este modo, se ha generado este proyecto partiendo de la base más actualizada del conocimiento.

2.2 Definir los objetivos

Tras este trabajo de identificación del problema se definieron los objetivos a cumplir con el proyecto Robim para abordar de manera lógica y coherente el problema (definidos en el apartado 2 de este texto).

2.3 Listados de clasificación de sistemas constructivos, lesiones e inspecciones

Los listados de clasificación de referencia se han extraído de un trabajo exhaustivo realizado en forma de fichas (en formato Excel) donde se han definido de forma detallada las características de cada uno de los tipos incluidos ya sean sistemas constructivos, lesiones o técnicas de inspección.

2.4 Diseño de Robot

El diseño del robot se ha generado de manera holística y multidisciplinar con los equipos del consorcio de robótica, diseño de producto, informática, conservación del patrimonio, arquitectura técnica y BIM. Se han generado prototipos del robot con pruebas iterativas.

2.5 Diseño de plataforma

La plataforma de gestión de datos del robot puede ser considerada como el CDE del proyecto. Se ha realizado por el equipo de telecomunicaciones del proyecto y se ha basado en sistemas holísticos ensayados con agentes multidisciplinares. También se ha generado con prototipos y pruebas iterativas.

2.6 Diseño de protocolo para la creación de los modelos EBIM

Se ha diseñado un protocolo para crear el modelo EBIM (Existing Building Information Modelling) que pueda tanto representar el estado del edificio como albergar los datos de las pruebas realizadas con los mecanismos que se alojan en el robot.

Con los datos de la plataforma se generan los modelos EBIM que posteriormente se exportarán a IFC para que estos puedan ser leídos en la plataforma ROBIM. Este protocolo se define en el apartado 4 de este texto.

2.7 Aplicación al caso de estudio

Para probar la eficacia de los artefactos diseñados se aplican a un caso de estudio y así poder seguir evolucionando y mejorando el robot.

El escenario de estudio seleccionado ha sido una parte de la fachada del edificio sede de Itainnova (Instituto Tecnológico de Aragón) (figura 2) situado en el Campus Universitario Río Ebro de la Universidad de Zaragoza, en Zaragoza. Se trata de un edificio construido en los años 80-90 y remodelado en 2007 con una fachada ventilada de ladrillo y aislamiento, al interior, y baldosa cerámica al exterior sobre una perfiles de aluminio.



Fig. 2 Localización y vista de la fachada objeto de estudio donde se observa el espacio delimitado para realizar los vuelos del dron respetando las medidas de seguridad vigentes. Fuente: proyecto Robim (Ibim). 2020

2.8 Validación

Encuesta procedimiento Delphi en la semana de la ciencia de Madrid del año 2017 con el título Nuevas tecnologías para inspección y diagnóstico de fachadas y cubiertas de edificios que tuvo lugar el 7/11/2017. En la mesa redonda de este evento se hicieron una serie de preguntas a través de unos prototipos de aplicaciones desarrollados y los participantes enviaban las respuestas a través de esta aplicación.

3. Resultados


3.1 Listados de clasificación

Como paso inicial para poder organizar la base de datos de la plataforma ROBIM y en los modelos EBIM fue necesario la generación de listas en Excel (utilizando Excel a modo de base de datos inicial) de sistemas constructivos, lesiones y técnicas de inspección. Esto ayudó a la estandarización y a la codificación de los mismos.

3.1.1 Sistemas constructivos

En este listado se ha realizado una clasificación del tipo de cerramientos. Esta clasificación presenta una estructura jerárquica que divide entre tipo de cerramientos en función de características como el tipo de soporte, convencional o ventilada, con o sin aislamiento, revestida o no revestida, etc.

Tabla 1 Ejemplo del sistema de codificación empleado para la clasificación del sistema constructivo de fachada en Robim.

 NOMENCLATURA DE FICHAS			
FACHADAS			
Código numérico (1 = n), procedente del CEC= Fn: Referencia al sistema de fachada utilizado			
Código Alfabético = Referencia al material/tipo de hoja soporte			
Código Numérico (2) = Referencia al tipo de revestimiento			
Ejemplo: F1.A.0			
MATERIAL HOJA SOPORTE	CEC	ROBIM	REVESTIMIENTO
Ladrillo cerámico	LC	A	Sin revestimiento 0
Bloque de hormigón o bloque de picón	BH	B	Revoco 1
Ladrillo de hormigón	LHO	C	Elementos adheridos 2
Bloque cerámico aligerado	BC	D	Elementos fijados mecánicamente 3
Panel industrializado de H macizo	PH-M	E	
Panel industrializado de H aligerado EPS	PH-A	F	
Hormigón in situ macizo	H-M	G	
Hormigón in situ aligerado EPS o XPS	H-AL	H	
Subestructura ligera	SL	I	
Panel tipo sándwich (autoportante)	PS	J	
Adobe	-	K	
Piedra	-	L	

3.1.2 Lesiones

La clasificación de las lesiones se ha realizado tomando como marco de referencia la Norma UNE 41805, Diagnóstico de Edificios. De esta se extrajeron distintos tipos de lesiones entendiendo que, al tratarse de edificios existentes la mayor parte de ellos presentarían bien estructuras de hormigón con cerramientos no portantes o cerramientos portantes de fábrica.

3.1.3 Técnicas de inspección

La clasificación y nomenclatura empleada para la clasificación de las técnicas de inspección se divide principalmente en: Técnicas de Inspección=T.I. y Ensayos=E; junto un número identificativo para cada técnica. La distinción entre técnicas y ensayos radica en que las técnicas ofrecen la información para ser tratada o interpretada tras ejecutarse y los ensayos exigen una prueba o recogida de datos extendida en el tiempo posteriormente a su aplicación.

Estos mecanismos son: cámara de fotos multiespectral (cámara termográfica), sonda y óptica de endoscopia, sonda magnética, termohigrómetro, georradar, escáner láser, impacto ECO, ultrasonidos.

3.2 Robot

El robot consiste en una plataforma voladora o dron sobre la que han dispuesto unas pértigas que son las encargadas de sustentar los dispositivos o aparatos para la inspección de la fachada (figura 3). Este prototipo de robot fue consecuencia de distintas pruebas en laboratorio imitando el peso y posibles movimientos de la aparatología que tendría que cargar el robot. El proceso de diseño del prototipo y de fabricación del mismo ha llevado casi dos años.

Una vez preparada la plataforma voladora para realizar la inspección, esta se gestiona desde una aplicación por un operario cualificado y siguiendo siempre la normativa vigente al respecto de los vuelos de dron.



Fig. 3 Proceso de diseño del robot y pruebas de vuelo en el caso de estudio. Fuente: proyecto Robim (Ittainova). 2021

3.3 Plataforma ROBIM

La plataforma ROBIM es web y está diseñada interdisciplinariamente para registrar los datos de las inspecciones del robot o vuelos de manera centralizada. Antes de realizar un vuelo hay que llevar a cabo la creación de la estación en la plataforma ROBIM:

- Se dan de alta los recursos disponibles: al menos un operario y un dron.
- Se da de alta al menos un tipo de operación, llamado "Inspección de edificios", indicando que requerirá como recursos al menos un operario y un dron.
- Creamos una operación de inspección indicando los recursos concretos que utilizaremos y el edificio en el que la haremos.

Tiene integrado un visor BIM llamado surfer BIM que lee archivos en formato abierto IFC. Además, a estos archivos IFC se les puede asociar información tanto en el propio visor como en el archivo IFC (figura 4)

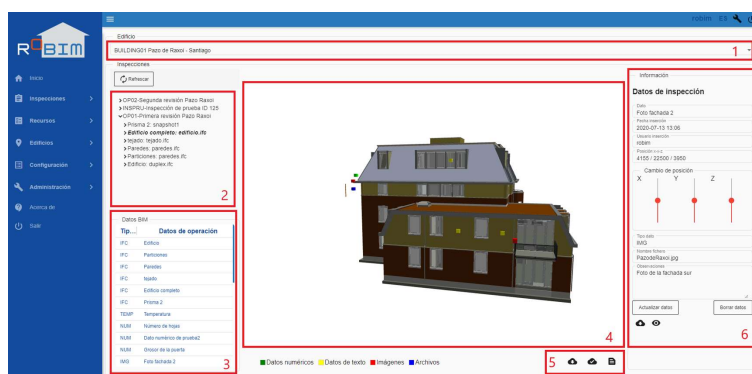


Fig. 4 Pantalla de gestión de datos BIM en la plataforma ROBIM (1-selector del edificio, 2- Árbol de inspecciones, 3- Datos BIM, 4- Visor BIM, 5- Botones para la descarga de datos, 6- Detalle de datos). Fuente: proyecto Robim (Imatía). 2021

3.4 Protocolo de creación del modelo EBIM

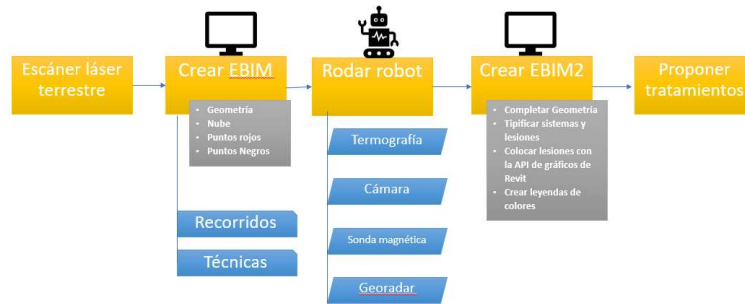


Fig. 5 Protocolo de creación del modelo EBIM. Fuente: proyecto Robim (Ibim). 2020

3.4.1 Toma de datos inicial con escáner láser terrestre

La toma de datos consta de tres fases de trabajo: planificación, trabajo de campo y trabajo de gabinete.

Se hace el trabajo de campo con el escáner láser que consiste en:

- Planificación: realización de tareas de reconocimiento del terreno y el plan de escaneado
- Trabajo de campo: en esta fase de trabajo se lleva a cabo un reconocimiento de las referencias artificiales y naturales y los estacionamientos para el escaneado
- Trabajo de gabinete: consiste en el volcado de la información, procesado de las nubes de puntos, alineación de los escaneados, unión de las nubes de puntos, limpieza de la nube y exportación.

3.4.2 Creación del modelo EBIM

El modelado se ha generado con el programa Revit de Autodesk, no obstante, los entregables y el formato que se sube en la plataforma es IFC en coherencia con los principios del open BIM dictados por la Building Smart (Building SMART Spanish Chapter 2014).

3.4.2.1 Definición del LOD

Las siglas LOD corresponden a las iniciales de Level of Development o Nivel de Desarrollo. El LOD (Level of Development) y el LOI (Level of Information) definen que ha de contener cada tipo de elemento en cada fase del proyecto (Barnes y Davies 2015). Según este dato inicial que lo proporcionará el cliente comenzaremos el proyecto con unas u otras directrices. El LOD en ningún caso se refiere a la totalidad del proyecto y tampoco tiene vinculación con la fase de desarrollo o construcción, sino que se aplica a cada elemento del proyecto en cada fase (BIMForum 2019).

Se deja como futuras líneas de investigación el desarrollo de una tabla de LOD por categorías y fases del proyecto propio del ROBIM o de la inspección de fachadas.

3.4.2.2 Generación de una plantilla específica para el proyecto ROBIM para el software Revit

Análisis: Para poder realizar la plantilla del modelo EBIM se realizó un exhaustivo análisis de las necesidades de los proyectos de rehabilitación de fachadas.

Adaptación de la plantilla de obra nueva. Se hizo una comparativa con una plantilla estándar de obra nueva y estas fueron las conclusiones:

- Fases como periodos históricos. Se definen las fases de obra del template de obra nueva como periodos históricos. De este modo podemos representar en un único modelo los diferentes estadios del edificio a lo largo de su historia.
- Adaptación de los grupos de detalle de obra nuevos tales como simbología de carpinterías, de instalaciones o puntos de luz a grupos de detalle propios de la arquitectura existente tales como símbolos de estratigrafía muraria, símbolos de periodos históricos o referencias de técnicas de restauración.

- Adaptación de los tipos de elementos constructivos. Los muros, techos, suelos y cubiertas que alberga el template de obra nueva han sido adaptados a las tipologías más usuales de la arquitectura existente como muro de sillar, muro de mampostería, suelo de tierra pisada o cubierta de madera.
- Introducción y creación de nuevos materiales. Los que aparecen por defecto en la biblioteca de obra nueva se han dejado en el template ROBIM creado, pero además se han añadido materiales básicos de la arquitectura medieval como la cal, el ladrillo de barro, el yeso o la tierra.

Por otro lado, los preceptos a diseñar en cualquier plantilla arquitectónica se han adaptado a la arquitectura existente: se ha definido el grafismo apropiado para proyectos de restauración, se han creado las familias genéricas adaptadas mediante el diseño de sólidos capaces, se ha especificado el grado de detalle, las vistas y el diseño de los planos.

Por último, se han contemplado todos aquellos factores de segundo orden, y que pueden modificarse en cualquier momento en la fase de modelado sin producir un perjuicio en el conjunto, como la trayectoria solar o la ubicación geográfica del proyecto.

3.4.2.3 Modelado general

El modelado general constituye la mayor labor a nivel de volumen de trabajo de la aplicación al caso práctico. Se ha ido siguiendo la metodología perfilada en el protocolo con la intervención directa de los agentes (arquitecto, arquitecto técnico, topógrafo...). Este modelo tridimensional se realiza para ser usado en todo el ciclo de vida del edificio, aprovechando para obtener de él también el levantamiento gráfico arquitectónico.

Posteriormente, la plantilla diseñada para el ROBIM se ha particularizado. Esta particularización se ha realizado introduciendo el grafismo que ponga en valor las posibles patologías de fachada, el diseño de las hojas de planos necesarias y la realización de las vistas concretas.

3.4.3 Rodar el robot para la toma de datos específica

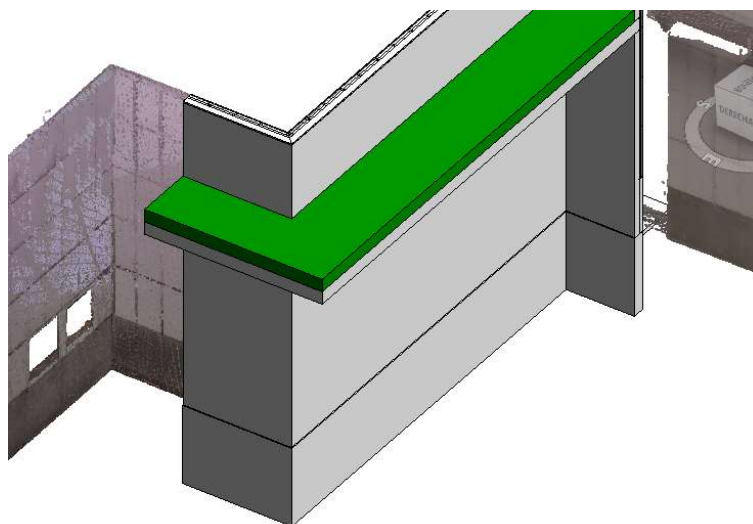


Fig. 6 Modelado del caso de estudio en correspondencia con la nube de puntos realizada. Fuente: proyecto Robim (Ibim). 2021

Una vez realizado el trabajo de campo y de gabinete, se adjuntan a esa operación los datos obtenidos, que podrán ser nubes de puntos, fotografías de barrido u otros archivos y/o datos numéricos.

A continuación, cualquier usuario autorizado puede descargarse los datos anteriores, crear un modelo BIM en el software que prefiera (en este caso se ha realizado en Revit 2020 de Autodesk) (figura 6) y subir como dato de la operación el IFC resultante. Si se desea, puede crear antes una nueva operación sobre ese edificio, para distinguir la inspección del modelado BIM.

En adelante, se podrán crear sobre ese mismo edificio todas las operaciones de inspección que se desee, generando nuevos resultados, nuevos IFC, etc.

3.4.4 Generación del modelo EBIM2: incorporación de los datos recopilados

El principal objetivo en el desarrollo del modelo EBIM2 es la incorporación de información paramétrica y la mejora del modelado geométrico, aumentando su nivel de desarrollo.

El protocolo para la creación del modelo geométrico parametrizado ha sido empezar con una primera aproximación, de modo general, permitiendo una visión panorámica y profundizando, en una etapa posterior, en aspectos más concretos y de más detalle, defendiendo lo dictado por (García-Gómez et al. 2011) “partir, en definitiva, de lo general para llegar al detalle, disminuyendo progresivamente la distancia de observación”.

La estrategia de modelado ha sido de lo general a lo particular, es decir, por el método inductivo, utilizando en principalmente los elementos predefinidos que posteriormente han evolucionado definiendo sus características particulares (materiales, históricas, etc.)

Este criterio seguido permite un aumento de detalle progresivo que se traduce en un aumento de la calidad de la información y de lo que se puede hacer con ella.

En el caso concreto que nos ocupa, es necesario el alcance de un nivel de detalle alto que permita representar la evolución constructiva, así como lesiones, desplomes, aparejos de fábricas o el grado de deterioro.

Tras el paso del robot con el recorrido concreto para obtener información de los puntos rojos y negros.

- Puntos rojos: existe una patología y se necesita más detalle de este punto de la fachada.
- Puntos negros: el escaneado terrestre han quedado en sombra y por tanto, no han sido barridos por el escáner desde abajo y necesitan ser barridos con el escáner láser que va en el robot-dron.

Con esta información el modelo BIM se evolucionará con los siguientes aspectos:

3.4.4.1 Importación de los sectores de la nube de puntos como base del modelado 3d. Escáner láser a BIM

Aunque ya se ha utilizado esta técnica de toma de datos con un escáner láser terrestre, en esta ocasión nos referimos al escaneado desde el robot-dron. Es decir, se va a colocar un escáner láser de alta precisión encajado en el robot-dron para poder tomar datos con escáner láser de puntos concretos de la fachada. Tras esta toma de datos, estas nubes de puntos resultantes se incorporan al modelo BIM EBIM. Este procedimiento, bajo el concepto “Scan to BIM”, se ha definido para aquellos textos científicos que estudian la mejor manera de trasladar los datos del escáner láser al modelo BIM. Las conclusiones de estos artículos se tuvieron en cuenta para importar la nube de puntos tratado en el modelo HBIM.

La toma de datos con escáner láser supone el conocimiento preciso del estado actual del bien existente, no así el estado de las fases antiguas que se averigua tras el estudio previo histórico, de catalogación y de fases constructivas. Para capturar con total precisión el estado actual del bien, la importación de la nube de puntos en el software de modelado se ha producido sin pérdida de información debido a que se han ensayado los distintos métodos de importación. Por un lado, con la lectura, que no la importación, de un sector de la nube con herramientas de tratamiento de nube de puntos mediante el plug in de Leica, el cual no ha resultado de utilidad por resultar sus capacidades inferiores a la importación con el propio software Revit 2020. Por otro lado, con la importación directa al programa Revit 2020 que contiene un apartado para adjuntar archivos de nubes de puntos. Este último fue el sistema que se utilizó.

Para poder importar la nube de puntos se han utilizado formatos de lectura de nubes de puntos que son E57 y rcp que proviene del software de tratamiento de nubes de puntos Recap de la compañía Autodesk. Recap ha sido utilizado para cortar la nube de puntos, realizar secciones (para introducirlas en los archivos de familia) y cambiar de formatos.

3.4.4.2 Parámetros del modelo

Para la incorporación de la información recogida con Robim es necesaria la creación de una serie de parámetros que permitan la incorporación de la información recogida de forma estructurada. Los parámetros establecidos están directamente vinculados con los listados de clasificación y la plataforma, y se utilizarán los códigos establecidos en estos para dotar de información a los elementos. La tabla inferior muestra el set de propiedades diseñado para el proyecto ROBIM, que supone una aportación.

Tabla 2 Pset Robim

PARÁMETRO	TIPO	OPCIONES
CONSERVACIÓN	texto	Bueno, regular, malo, ruina
DOC_ASOCIADA	URL	fotografías, resultados de ensayos, fichas técnicas, etc.
TIPO_INSPECCIÓN	texto	Según los códigos establecidos en la tabla de tipos de inspecciones
LESIONES	texto	Según el código establecido en la tabla de clasificación de lesiones.
SISTEMA_CONSTRUCTIVO	texto	Según el código establecido en la tabla de clasificación de sistema constructivo

Además, asociados a estos parámetros se realizará un mapeo por categorías con leyendas de colores asociadas a las listas de clasificación. Al ser parámetros jerárquicos, el mapeo de las distintas características se puede realizar con un grado de subdivisión mayor o menor en función de las necesidades y se realizará a través del uso de filtros en el modelo.

Los parámetros asociados a los elementos se incorporarán en la fase de modelado (sistema constructivo y otros datos). Si bien, la información correspondiente a las propiedades localizadas en puntos concretos se incorporará sobre los IFC albergados en la Plataforma en forma de “chinchetas”. Esta forma de proceder es similar a la de la plataforma que se empleará en fases futuras para seguir incorporando información sobre el modelo.

3.4.4.3 Generación del modelo IFC

Para la generación del IFC se ha verificado la correcta incorporación de la información en el proceso de exportación desde el modelo nativo. En el caso concreto de estudio, se ha modelado cada una de las placas cerámicas de fachada como elementos independientes de forma que se pueda incorporar la información a cada una de ellas. En función del tipo de fachada, se buscará el sistema de modelado que más convenga para su posterior análisis.

El modelo exportado en IFC se insertará en la plataforma que tiene el visor de IFCs surfer para la inserción de la información recogida a partir de las técnicas de inspección. Para introducir los datos se seleccionará el objeto sobre el que se quiere incluir la información (por defecto se posiciona en el punto medio del elemento), a continuación, se selecciona el tipo de dato que se quiere introducir (por ejemplo: tipo de lesión detectada a través de las inspecciones), se insertan los valores correspondientes y se confirma la entrada de datos para que se actualice en el visor BIM.

3.4.5 Propuesta de tratamientos

Los técnicos pueden proponer tratamientos ayudándose de los modelos en IFC subidos en la plataforma ROBIM que tienen centralizada la información de las inspecciones con la localización concreta. De este modo tienen toda la información centralizada y pueden tomar mejor las decisiones. Estos tratamientos se contrastan de manera colaborativa en la plataforma ROBIM generada a la luz del modelo visualizado en el visor de IFC con la información de las técnicas de inspección realizadas situadas en la fachada.

4. **Discusión: El uso del modelo para la toma de decisiones**

La disposición de una fuente de información única que incorpora todos los datos relativos al estudio previo supone una herramienta de gran utilidad en la toma de decisiones a la hora de restaurar o rehabilitar un edificio (Grover y Froese 2016). El modelo tridimensional del edificio contiene toda la información relativa a la posibilidad lesiones y sistemas constructivos analizados mediante distintas técnicas de inspección. Esto permite analizar y comparar la información de forma unitaria y en detalle y, establecer un diagnóstico detallado y realista del estado del edificio que, generalmente se traduce en una reducción de la incertidumbre y, consecuentemente, la disminución de costes y el aumento de la seguridad.

5. **Conclusiones**

Este sistema formado por Robot+plataforma trabaja en el ahorro de costes en medios auxiliares para acceder a la totalidad de la envolvente con seguridad para la realización de técnicas de inspección.

La integración de la información obtenida de las técnicas de inspección realizadas sobre el robot en un entorno digital, basado en la metodología BIM supone un avance nunca antes realizado. Se ofrece por tanto una solución global de diagnóstico.

El uso de ROBIM para la inspección de fachadas supone un servicio de cara a la toma de decisiones sobre la intervención que exige el mercado y, en concreto, las empresas constructoras y aseguradoras que tienen que emitir informes de daños en fachadas.

Realmente, el modelado BIM que se está haciendo en este proyecto no es novedoso, ni las técnicas de inspección lo son. La aportación del proyecto es la unificación en un solo proceso de las disciplinas de robótica, con plataformas web de telecomunicaciones, y con modelos BIM de arquitectura. La aportación de este proyecto de i+D+i es el uso del BIM para transcribir la información de las técnicas de inspección tomadas con un robot-dron y así poder ayudar a los técnicos en la toma de decisiones.

La inclusión de BIM en un proyecto de robótica es novedosa y permite una mejora a la hora de recopilar y gestionar los datos recogidos a través de inspecciones para su posterior interpretación. La disposición de todos los datos en un modelo único permite tener una visión global de la problemática existente en la fachada y, por tanto, una mejora en el desarrollo de hipótesis en cuanto a los mecanismos de degradación y las propuestas para eliminarlos.

6. **Limitaciones y futuras líneas de investigación**

- El robot Robim con la plataforma ROBIM y el proceso de generación de modelos EBIM en IFC es un prototipo, por tanto, se necesita seguir implementando el sistema en nuevos casos de estudio para ir mejorando los artefactos.
- Precariedad en la interpretación de las técnicas y lesiones. Requieren de un técnico especialista que interprete los datos recogidos
- Recalcar la precariedad de la automatización de la toma de datos. Es un proceso todavía muy manual.
- Existen limitaciones en los escáneres láser de alta precisión que pueden ser incluidos en el Robot-dron. Estos escáneres tienen todavía una calidad no tan alta como la deseable. Además, el procedimiento scan to BIM aún ha de ser desarrollado ya que los plug in intentan detectar elementos como tuberías y ayudas para formar planos, detectar perfiles etc. pero todavía sin garantía de éxito.
- Entre las futuras líneas de investigación del proyecto se proponen:
 - A partir de análisis exhaustivo de los datos recopilados con Robim en un número de casos de estudio considerable, se podrían establecer parámetros de reconocimiento que permitiera que el robot realizara una primera interpretación de los datos.

- Con base en este primer reconocimiento, mediante automatizaciones, las lesiones detectadas podrían situarse automáticamente en el modelo para que el especialista pudiera revisarlo y confirmar la adecuación de la interpretación.

Referencias

- ANTONOPOULOU, S., y BRYAN, P. (2017) *BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information*. Historic England.
- ARTHUR, S, LI, H.; LARK, R. (2017) "A Collaborative Unified Computing Platform for Building Information Modelling (BIM)" en Luis M. Camarinha-Matos, Hamideh Afsarmanesh y Rosanna Fornasiero (eds.): *Collaboration in a data-rich world*, t. 506. New York NY: Springer Berlin Heidelberg (IFIP Advances in Information and Communication Technology), pág. 63–73.
- BARNES, P., DAVIES, N. (2015) *BIM in Principle and in Practice*. ICE Publishing.
- BIMForum (2019) *LOD Spec 2019 Part I*. Level of Development Specification, Última comprobación el 08/01/2019.
- Building and Construction Authority (2013) *Singapore-BIM-Guide*, V2, Última comprobación el 08/01/2019.
- Building SMART Spanish Chapter (2014): "Guía de Usuarios BIM" en *Documento 12: BIM para Mantenimiento y Operaciones*.
- DAINTY, A., LEIRINGER, R., FERNIE, S., HARTY, C. (2017) "BIM and the small construction firm: a critical perspective" en *Building Research & Information* 45 (6), pág. 696–709.
- DAVE, B. et al. (2013) *Implementing lean in construction: lean construction and BIM*. Ciria.
- DORE, C., MURPHY, M. (2017) "Current state of the art historic Building Information Modelling" en *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XLII-2/W5*. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W5-185-2017.
- España. Ley 8/2013, de 26 de junio, de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas. *BOE*, 27 de junio de 2013, núm. 153, p. 47964-48023
- GARCÍA-GÓMEZ, I., FERNÁNDEZ DE GOROSTIZA, M., MESANZA MORAZA, A. (2011) "Láser escáner y nubes de puntos. Un horizonte aplicado al análisis arqueológico de edificios" en *Arqueol. Arquitect.* 0 (8), pág. 25–44. DOI: 10.3989/arqarqt.2011.10019.
- GARCÍA-VALLDECABRES, J., PELLICER, E., JORDAN-PALOMAR, I. (eds.) (2016) *BIM Scientific Literature Review for Existing Buildings and a Theoretical Method: Proposal for Heritage Data Management Using HBIM*.
- GROVER, R. F., THOMAS M. (2016) "Knowledge management in construction using a SocioBIM platform: A case study of AYO smart home project" en *Procedia Engineering* 145, pág. 1283–1290.
- HOLMSTRÖM, J., KETOKIVI, M., HAMERI, A. (2009) "Bridging practice and theory: A design science approach" en *Decision Sciences* 40 (1), pág. 65–87.
- LI, C. Z. et al. (2018) "An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction" en *Automation in Construction* 89, pág. 146–161. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.01.001.
- PEFFERS, K. et al. (2007) "A design science research methodology for information systems research" en *Journal of management information systems* 24 (3), pág. 45–77.
- RUBIO DE VAL, J. (2015) "Potencial del nuevo marco normativo para el impulso de la rehabilitación y la regeneración urbana en los ámbitos autonómico y local" en *Informes de la Construcción*, 67(EXTRA-1): m023, doi: <http://dx.doi.org/10.3989/ic.14.072>.
- SINGH, V., GU, N., WANG, X. (2011) "A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform" en *Automation in Construction* 20 (2), pág. 134–144.
- VOLK, R., STENGEL, J., SCHULTMANN, F. (2014) "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings—Literature review and future needs" en *Automation in Construction* 38, pág. 109–127.
- YIN, R. K. (2009) "Case study research: Design and methods (applied social research methods)" en *London and Singapore: Sage*.



UTILIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DISEÑO SOSTENIBLE DE INFRAESTRUCTURAS. APLICACIÓN AL DISEÑO DEL ACUEDUCTO DE CARLET (VALENCIA)

Pastor-Villanueva, José María^a; Navarro-Martínez, Ignacio Javier^b; ^aIngeniero de Caminos, Canales y Puertos, Responsable BIM en TYPESA - jmpastor@typsa.es; ^bDr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, Estructurista en TYPESA - ijnavarro@typsa.es

Abstract

The article presents a methodology with which the possibilities of the Information Models are used for the detailed quantification of the environmental, economic and social impacts generated by the consumption of construction materials throughout the entire life cycle of infrastructures.

The proposed methodology moves away from techniques that provide qualitative or relative indicators; allows the obtention of quantitative indices that allow the analysis of design alternatives. The article develops the proposed methodology through the application to a specific case study, namely the design and maintenance management of an aqueduct supplying drinking water to the city of Valencia, located in Carlet.

Keywords: Sustainability, evaluation, index, analysis, life cycle, impacts.

Resumen

En el artículo se expone una metodología con la que se utilizan las posibilidades de los Modelos de Información para la evaluación de los impactos ambientales, económicos y sociales que el consumo de los materiales de construcción genera a lo largo de todo el ciclo de vida de las infraestructuras.

La metodología propuesta se aleja de técnicas que proporcionan indicadores cualitativos o relativos; permite la obtención de índices cuantitativos que permiten realizar análisis de alternativas de diseño. El artículo desarrolla la metodología propuesta mediante la aplicación a un caso concreto, el diseño y gestión del mantenimiento de un acueducto de Carlet para el abastecimiento de agua potable a la ciudad de Valencia.

Palabras clave: Sostenibilidad, evaluación, índice, análisis, ciclo de vida, impactos.

Introducción

La reciente definición de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en 2015 supone un cambio de paradigma a la hora de afrontar el diseño de nuestras infraestructuras. Dadas las relevantes implicaciones que el sector de la construcción tiene sobre la economía, el medio ambiente [1] y la sociedad [2], las Naciones Unidas articularon en el noveno ODS la necesidad de diseñar y construir infraestructuras que fueran sostenibles. Para el cumplimiento de este objetivo de aquí a 2030, la comunidad científica y técnica debe revisar y desarrollar las herramientas existentes para poder ser capaces de cuantificar y, en consecuencia, maximizar, el desempeño de nuestras infraestructuras desde la perspectiva de la sostenibilidad. En este contexto, la metodología BIM supone una herramienta esencial para lograr tal fin.

Hasta el momento la utilización de la metodología BIM en análisis de sostenibilidad se ha centrado en el sector de la edificación, mediante la construcción de modelos energéticos a partir de los modelos de información geométrica, sobre los que se han desarrollado análisis de consumo energético. Estos procedimientos analizan el problema desde un pequeño conjunto de variables (consumo de energía, emisión de CO₂) y únicamente durante la etapa de mantenimiento de las construcciones. No son válidos para las construcciones civiles, donde no son de aplicación este tipo de modelos energéticos.

Otra manera de afrontar la evaluación de sostenibilidad es mediante la aplicación de metodologías sintéticas en las que se asignan una puntuación a las infraestructuras analizadas en función del cumplimiento de una serie de parámetros a estudiar [3, 4]. El resultado de estos análisis es un valor cualitativo pero que no tienen en cuenta el tamaño de la obra analizada ni los insumos de materiales efectivamente empleados en su construcción, operación o mantenimiento. Se tiene, de esta manera, que dos obras diferentes con muy distintos consumos de recursos pueden ser consideradas semejantes. La utilización de la metodología BIM, en estos casos, se limita a utilizar los modelos de Información como repositorios de la información geométrica y de materiales utilizados sobre los que realizar las consultas que estos métodos de análisis requieren.

La metodología de evaluación de sostenibilidad que mejor se ajusta a la metodología BIM es aquella según la cual se emplean Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) para valorar cualquier componente incluido en una infraestructura a lo largo del ciclo de vida de estas. Esta metodología de análisis encaja bien con la metodología BIM, pues los modelos de información permiten gestionar eficazmente tanto la información referente a los Impactos de cada material utilizado como las cantidades realmente utilizadas de estos materiales.

La presente Comunicación utiliza esta última aproximación de la evaluación de la sostenibilidad en el sector AECO para desarrollar una metodología de evaluación de la sostenibilidad que obtiene un índice cuantitativo, objetivo, aplicable a cualquier tipo de construcción durante todo su ciclo de vida.

1. Metodología

1.1. Análisis de ciclo de vida

El análisis de la sostenibilidad de cualquier producto implica la evaluación de sus impactos en las tres dimensiones de la misma (economía, medio ambiente y sociedad) de forma simultánea. Además, atendiendo a la definición de desarrollo sostenible propuesta por el Informe Brundtland, dichos impactos deben evaluarse, a su vez, a lo largo del tiempo, potenciando los beneficios y minimizando los perjuicios que nuestro producto genera, no solo en el presente, sino también a las generaciones futuras. Por tanto, la contribución de un producto a la sostenibilidad solo puede medirse desde la perspectiva del análisis de su ciclo de vida (ACV). La metodología para abordar un análisis de ciclo de vida viene recogida en las normas ambientales ISO 14040 [5] e ISO 14044 [6]. De acuerdo con la ISO 14040, un estudio de ACV debe contar con cuatro fases: definición de objetivos y alcances del estudio, inventario del ciclo de vida, evaluación de

los impactos, e interpretación de los resultados obtenidos. En el presente trabajo se aplica esta metodología ambiental al análisis temporal combinado de las tres dimensiones de la sostenibilidad.

1.1.1. *Definición de objetivos y alcance*

El objetivo de este estudio es el análisis de los impactos económicos, ambientales y sociales derivados de la construcción y el mantenimiento de una infraestructura hidráulica concreta durante su vida útil. En particular, la unidad funcional considerada es la totalidad del acueducto de Carlet, descrita en detalle más adelante, en completo funcionamiento durante un periodo de 100 años. El sistema de producto analizado en el presente trabajo incluye los procesos asociados a la fabricación de los materiales necesarios para la construcción del acueducto, así como para su mantenimiento, además de las actividades asociadas a la instalación y reparación de la estructura. No se tienen en cuenta los impactos derivados de la demolición de la estructura ni de la gestión de los residuos.

Es importante remarcar que la evaluación de la sostenibilidad mediante modelos de información geométrica (BIM) limita la naturaleza de los impactos que se pueden evaluar, pudiéndose modelizar únicamente aquéllos que son directamente repercutibles a elementos geométricos de la infraestructura a analizar.

Así, la metodología BIM propuesta en el presente trabajo es aplicable a la fase de diseño de una infraestructura particular: el método propuesto está orientado a caracterizar la respuesta sostenible a lo largo del ciclo de vida de distintos diseños alternativos de dicha infraestructura y seleccionar aquél cuya repercusión sea más favorable. Se entiende por diseños alternativos de una infraestructura aquéllos que difieren en su geometría, condiciones de cimentación, materiales empleados, esquema estructural, procedimiento constructivo, ... pero que no modifican la definición de la unidad funcional que se analiza.

Por lo tanto, queda fuera del alcance de este estudio el análisis de los impactos asociados a unidades funcionales diferentes (en este caso la distribución de agua potable a distintas comunidades receptoras), así como aquellos impactos que resulten idénticos entre diseños alternativos, por ceñirse todos a la misma unidad funcional. El impacto social que genera el transporte de agua sobre el sector agrícola sería un ejemplo de este tipo de impactos comunes a los diseños alternativos de la unidad funcional propuesta y que no son repercutibles a un elemento concreto del modelo BIM.

1.1.2. *Evaluación de los impactos*

Se propone evaluar la sostenibilidad de la infraestructura objeto de estudio mediante un sistema de 20 indicadores orientados a cuantificar los impactos de la infraestructura en las dimensiones económica, ambiental y social de la sostenibilidad.

Los impactos económicos a lo largo del ciclo de vida de la estructura se asocian directamente con los costes económicos de los materiales, maquinaria y trabajadores necesarios para la construcción y mantenimiento de la infraestructura. Estos impactos se miden en euros (€) de 2020. En los análisis de costes de ciclo de vida, es habitual convertir los costes económicos futuros a valores presentes mediante las llamadas tasas de descuento. En los estudios económicos de infraestructuras se suelen emplear tasas de descuento entre el 4% y el 6%. Se debe tener en cuenta que tasas de descuento elevadas llevan a costes futuros despreciables a efectos del análisis. Sin embargo, el uso de estas tasas elevadas es incompatible con la definición de desarrollo sostenible, que busca reducir las repercusiones que nuestras acciones presentes tendrán sobre las generaciones futuras. Por ello, en estudios sociales se emplean tasas de descuento sociales, con valores bajos cercanos al 1% o 2% según el estudio de que se trate. En el presente trabajo, y en coherencia con la definición de la sostenibilidad, se va a emplear una tasa de descuento $d=0\%$, dando el mismo valor a los costes presentes que a los futuros.

En el presente estudio se analizan los impactos sociales derivados exclusivamente del empleo generado por las distintas actividades de construcción y mantenimiento de la infraestructura a lo largo de su ciclo de vida. La variable de actividad que permite evaluar dicha generación de empleo serán las horas de trabajo requeridas para los distintos procesos involucrados en el sistema de producto descrito. Esta variable de

actividad ha sido empleada en numerosas ocasiones para medir el impacto social de la generación de empleo asociada a un producto [7–9]. No se incluyen las horas de empleo necesarias para la producción de los materiales, ya que su repercusión respecto a las necesarias para la ejecución y mantenimiento del acueducto son despreciables.

Otros posibles indicadores de impacto social pueden ser la afectación al paisaje, la reducción de las desigualdades o incrementos en salud o bienestar de la población. Estos otros indicadores no se han considerado en la metodología dada su difícil cuantificación y repercusión a elementos de Modelos de Información Geométrica.

Como se ha comentado anteriormente, la metodología propuesta no pretende analizar los beneficios sociales de la construcción de un bien (análisis a nivel macroscópico), sino realizar un análisis microscópico de la aportación social de aquel. Esto es, una vez tomada la decisión de realizar una actuación con un impacto social general determinado (en el ejemplo desarrollado, la construcción de un acueducto), la metodología permite analizar la aportación de las diferentes alternativas de diseño de la obra planteada.

La cuantificación de los impactos ambientales asociados a la producción de los materiales de construcción, así como a los consumos energéticos de la maquinaria involucrada en las operaciones de construcción y mantenimiento, se ha llevado a cabo considerando un conjunto de 18 indicadores. Estos indicadores son característicos de las metodologías de evaluación ambiental llamadas 'Midpoint', tales como CML 2001 [10] o Impact 2002+ [11]. En este caso, los indicadores de impacto considerados, así como las unidades en las que se miden, son los siguientes: calentamiento global (kg CO₂ equivalentes), ecotoxicidad terrestre, marina y al agua dulce (medida como kg 1,4 DCB emitidos a suelo industrial, al mar y a masas de agua dulce, respectivamente), ocupación de terreno agrícola y urbano (m²·año), consumo de agua (m³), reducción del ozono estratosférico (kg CFC⁻¹¹), radiación ionizante (kg U235), eutrofización marina y de masas de agua dulce (kg N emitidos al mar y a ríos o acuíferos, respectivamente), emisión de carcinogénicos y sustancias tóxicas no cancerígenas (kg 1,4 DCB emitidos en entornos urbanos), acidificación terrestre (kg SO₂), formación de partículas (kg PM10), consumo de combustibles fósiles (kg petróleo), consumo de minerales ferrosos (kg Fe), transformación de suelo natural (m²) y oxidación fotoquímica (kg compuestos orgánicos volátiles distintos del metano).

En la tabla 1 se muestra el conjunto de categorías de impacto consideradas, así como su designación en el modelo BIM.

Tabla 1. Resumen de las categorías de impacto consideradas

Categoría de impacto	Designación BIM	Unidades
Ocupación de terreno agrícola	Impact_Unit_01	m ² ·año
Cambio climático	Impact_Unit_02	kg CO ₂ equivalentes
Consumo de combustibles fósiles	Impact_Unit_03	kg petróleo
Ecotoxicidad de masas de agua dulce	Impact_Unit_04	kg 1,4 DCB
Eutrofización de masas de agua dulce	Impact_Unit_05	kg N
Toxicidad humana	Impact_Unit_06	kg 1,4 DCB emitidos en entornos urbanos
Radiación ionizante	Impact_Unit_07	kg U235
Ecotoxicidad de masas de agua marina	Impact_Unit_08	kg 1,4 DCB
Eutrofización de masas de agua marina	Impact_Unit_09	kg N
Consumo de minerales ferrosos	Impact_Unit_10	kg Fe
Transformación de suelo natural	Impact_Unit_11	m ²
Reducción del ozono estratosférico	Impact_Unit_12	kg CFC ⁻¹¹
Formación de partículas	Impact_Unit_13	kg PM10

Oxidación fotoquímica	Impact_Unit_14	kg compuestos orgánicos volátiles distintos del metano
Acidificación terrestre	Impact_Unit_15	kg SO ₂
Ecotoxicidad terrestre	Impact_Unit_16	kg 1,4 DCB
Ocupación de suelo urbano	Impact_Unit_17	m ² -año
Consumo de agua	Impact_Unit_18	m ³
Coste económico	Impact_Unit_19	€ ₂₀₂₀
Generación de empleo	Impact_Unit_20	h

Para poder agregar los impactos ambientales en un único indicador representativo del desempeño de la estructura desde la perspectiva de la sostenibilidad, es necesario normalizar los valores anteriores. Para ello, se ha optado por una normalización directa, dividiendo los impactos anteriores por valores de referencia representativos de cada impacto. En concreto, los impactos económicos se han normalizado mediante el valor del PIB de España en 2020, las horas de empleo generadas se han normalizado mediante el número total de horas efectivas semanales trabajadas en España, y los distintos impactos ambientales se han normalizado mediante los valores de las emisiones de cada sustancia en España. Estos valores de referencia se han obtenido de bases de datos accesibles gratuitamente para su consulta a través de internet [12 a 23].

Finalmente, para la obtención del índice de sostenibilidad de la infraestructura propuesto en el presente trabajo, se han asignado pesos a las distintas dimensiones. A efectos de este estudio, se ha considerado que la dimensión económica tiene un peso del 50%, la ambiental del 35% y la social del 15%, donde el impacto ambiental total se obtiene como la media aritmética de los impactos ambientales (Impact_Unit_01 a Impact_Unit_18) normalizados.

1.1.3. *Inventario del ciclo de vida*

Para poder cuantificar los indicadores propuestos, es necesario recopilar información económica, ambiental y social relativa a los materiales y actividades involucradas en el ciclo de vida de la infraestructura a analizar. En este caso, los costes económicos se obtienen de bases de datos de la construcción en España. Dichos costes incluyen el impacto económico de toda la cadena de valor de los materiales a emplear, siendo consistente con las condiciones de contorno del sistema de producto definido para esta infraestructura.

Las horas de empleo directas generadas por cada actividad asociada a la construcción y eventual reparación o mantenimiento de la estructura a analizar se obtienen de la misma manera, a partir de las horas de trabajador incluidas en la definición de cada unidad de obra recogidas en bases de datos de la construcción. Los valores consultados de dichas bases de datos están actualizados en 2020.

Por último, los impactos ambientales asociados a la producción de los distintos materiales de construcción, así como a las emisiones de la maquinaria involucrada en las distintas actividades de construcción y mantenimiento del acueducto, se han obtenido a partir de las declaraciones ambientales de producto (DAP) emitidas por los diferentes fabricantes y suministradores.

1.2. BIM

1.2.1. *Utilización de la metodología BIM en la evaluación de la sostenibilidad.*

La utilización de modelos de información geométrica para definir las infraestructuras permite gestionar adecuadamente toda la información relativa a los elementos que constituyen una construcción tanto desde un punto de vista geométrico como organizativo, a través de las diversas categorías y estructuras jerárquicas de datos.

La gestión económica de los proyectos y obras ha sabido aprovecharse de esta alta capacidad de gestión para vincular de manera efectiva los conceptos de gestión de costes con los elementos BIM. En la actualidad existen ya numerosas aplicaciones que generan modelos de datos económicos, externos y adicionales a los modelos de información geométrica [24, 25], con capacidad para vincularse con estos. Este Modelo de Información Económica forma parte del conjunto de información que constituye un proyecto, según la UNE-EN ISO 19650 [26].

En la práctica se establece vinculación entre ambos tipos de modelos a través de un conjunto de códigos comunes a ambos modelos. En los modelos de Información se vinculan a los tipos de elementos, mientras que en los modelos de información económica se vinculan en las partidas. Queda relacionada de esta manera la información relativa a las mediciones de los elementos (modelos geométricos) con la información relativa al coste de las partidas (modelos económicos), generada a partir de la suma ponderada de los conceptos unitarios que componen la partida, siendo los pesos de esta suma el coste económico asociado a los conceptos unitarios.

Esta manera de proceder resuelve en la práctica la dimensión económica que se realizan en los análisis de sostenibilidad que se realizan sobre las construcciones. La novedad de la metodología presentada en este artículo consiste en extender la metodología anterior, fundamentada en las nociones de Medición, Concepto Unitario, Partida y Coste aplicadas sobre dos conjuntos de modelos diferentes, ampliando el número de dimensiones a considerar, introduciendo la totalidad de categorías de impacto analizadas (todas las medioambientales, la económica y la sociales) como criterios para evaluar una construcción.

1.2.2. *Propuesta metodológica.*

La propuesta metodológica que se efectúa en la publicación consiste en lo siguiente:

- 1.- Creación de modelos de información geométricos que representen las obras a analizar, mediante los softwares de autoría existentes en el mercado.
- 2.- Creación de Modelos de Información de Sostenibilidad. Para su elaboración se propone partir de las bases de datos de conceptos económicos ya existentes en el sector AECO, desarrolladas con notoria madurez, y que tienen en consideración todos los conceptos incluidos en cada una de las partidas, con rendimientos ajustados a las prácticas constructivas.
- 3.- Modificación de estas bases de datos para incluir en cada uno de los conceptos unitarios, además del coste, el resto de los impactos necesarios para realizar los análisis de sostenibilidad. Creación de un Modelo de Información de Sostenibilidad de la infraestructura analizada
- 4.- Vinculación de los modelos geométrico y de sostenibilidad mediante la utilización de códigos comunes a ambos modelos. Inclusión de las mediciones en los modelos de sostenibilidad y agregación de todas las categorías de impactos a lo largo de todos los elementos de la obra. De esta manera se obtienen tanto los costes ambientales como sociales y económicos
- 5.- Normalización de los resultados y obtención del índice de sostenibilidad. La consideración conjunta de todas las categorías de impacto analizadas implica sumar conceptos de muy distinta naturaleza (coste económico, horas de trabajo, energía consumida, toneladas de CO₂, etc.). Mediante la normalización (consideración relativa de cada impacto analizado frente a un total objetivo de su misma categoría) se obtienen índices adimensionalizados, que sí pueden sumarse para lograr el Índice de Sostenibilidad total de la estructura (Índice Schäfer-Neudorf).

1.2.3. *Acueducto de Carlet*

Se ha realizado un ejercicio de aplicación real de la metodología propuesta sobre una obra real sobre la que los autores tienen datos de la construcción y las operaciones de mantenimiento llevadas a cabo durante la vida de esta. Se trata de un acueducto de abastecimiento de agua potable a la ciudad de Valencia del canal

Júcar – Turia, de la Confederación Hidrográfica del Júcar, situado en la localidad de Carlet y construido en el año 1965 (Figura 1).

Se trata de un acueducto de 1410 m de longitud, compuesto por 46 módulos de 30 m y dos módulos de inicio y fin de 15 m, apoyados sobre pilas apantalladas cada 15 m con una altura máxima de 4.47 m, con cimentación superficial. En su parte central, a su paso sobre el río Magro la tipología de los soportes cambia a pilas aporticadas de altura máxima 7.50 m, cimentadas mediante cimentación profunda. La sección transversal del canal tiene unas dimensiones interiores de 4.50 x 4.00 m

Las principales actuaciones de mantenimiento a las que se le ha sometido a lo largo de su vida han consistido en la colocación de tirantes superiores para limitar la deformación transversal del canal, así como reparaciones de desconchones, fisuraciones y eflorescencias en la superficie exterior de soportes y canal, además de labores rutinarias de limpieza y repintado.



Fig. 1 Acueducto de Carlet

El análisis efectuado se ha centrado, por simplicidad, en la disciplina de estructuras y cimentaciones, representativas de la construcción y diseño de la obra estudiada. El análisis puede extrapolarse, sin ninguna dificultad, a otras disciplinas menores (movimiento de tierras, equipamiento, obras temporales de construcción, caminos accesorios, etc.).

1.2.4. Aplicación práctica

Para llevar a cabo la aplicación práctica de la metodología se han construido dos modelos de información de la construcción analizada; uno de ellos modela la estructura de la obra, desarrollada hasta un L.O.D. 300, y el segundo recoge las diferentes actuaciones de las que se tiene constancia, modeladas como elementos sencillos en L.O.D. 100. Los modelos se han construido utilizando la aplicación informática REVIT (Figura 2).

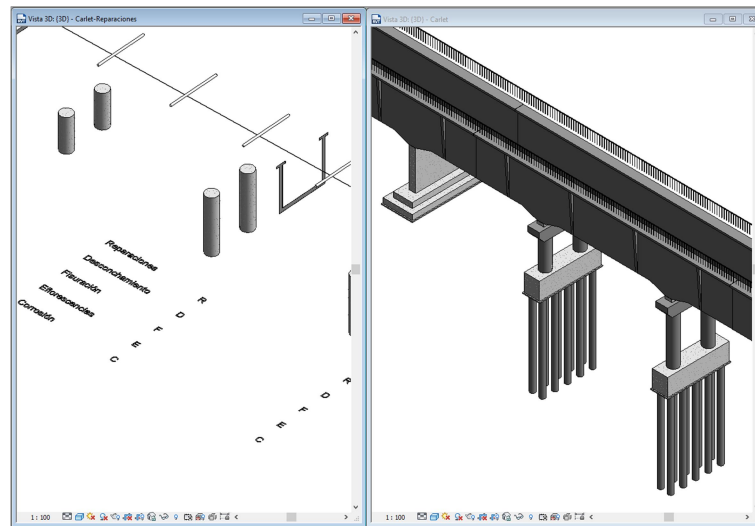


Fig. 2 Modelos de Información de Reparaciones y de Construcción

Para extraer la información necesaria de cara a realizar el análisis propuesto se ha creado una Estructura de Desglose de Trabajo (EDT) en la que identificar las actividades necesarias para la construcción y mantenimiento de la obra. Dicha EDT se ha introducido en los modelos mediante la identificación de las actividades desglosadas como Materiales, mediante Parámetros adicionales específicos. Se ha permitido que los elementos tengan la posibilidad de tener asociados más de uno de estos Materiales, para identificar en un mismo elemento diferentes actividades (por ejemplo, desbroce, excavación y relleno de tierras vinculados a un mismo prisma que representa el movimiento de tierras). Para llevar a cabo el análisis de sostenibilidad los elementos se han enriquecido con la información necesaria requerida en el modelo de Información de Sostenibilidad.

Además, para cada Elemento y Tarea se ha asociado una medición adecuada obtenida de la consulta a las propiedades geométricas de los modelos. Finalmente, mediante el uso de Tablas de Planificación, se ha exportado la información a ficheros *.csv con los que alimentar el Modelo de Información de Sostenibilidad, desarrollado con la aplicación POWER BI (Tablas 2 y 3). Los impactos de las tablas 2 y 3 son los descritos en el apartado 2.1.2 del presente trabajo, y vienen indicados en las unidades indicadas en la tabla 1.

El uso de esta herramienta de análisis ha permitido la consideración simultánea de todas las categorías de impacto consideradas en el análisis de manera simultánea. Permite, además, el análisis multivariable atendiendo a la etapa de ciclo de vida analizada, al sistema constructivo, al tipo de unitario y, en general, a cualquier parámetro sobre el que se desee realizar un estudio específico.

Tabla 2. Ejemplo de Información extraída de los modelos (extracto)

MARK	COMMENTS	Impact_Unit_01 Agricultural land occupation	Impact_Unit_02 Climate change	Impact_Unit_03 Fossil depletion	Impact_Unit_04 Freshwater ecotoxicity	Impact_Unit_05 Freshwater eutrophication	Impact_Unit_06 Human toxicity	Impact_Unit_07 Ionising radiation	Impact_Unit_08 Marine ecotoxicity	Impact_Unit_09 Marine eutrophication	Impact_Unit_10 Metal depletion
M89	WALL	14,20	414,56	94,52	4,09	0,14	123,20	16,82	3,94	0,39	107,42
M90	WALL	14,20	414,56	94,52	4,09	0,14	123,20	16,82	3,94	0,39	107,42
M91	WALL	14,20	414,56	94,52	4,09	0,14	123,20	16,82	3,94	0,39	107,42
M92	WALL	14,20	414,56	94,52	4,09	0,14	123,20	16,82	3,94	0,39	107,42
M93	WALL	14,20	414,56	94,52	4,09	0,14	123,20	16,82	3,94	0,39	107,42
M94	WALL	14,20	414,56	94,52	4,09	0,14	123,20	16,82	3,94	0,39	107,42
ME1	ABUTMENT WALL	14,20	414,56	94,52	4,09	0,14	123,20	16,82	3,94	0,39	107,42
ME2	ABUTMENT WALL	14,20	414,56	94,52	4,09	0,14	123,20	16,82	3,94	0,39	107,42
MW1	ABUTMENT WALL	14,20	414,56	94,52	4,09	0,14	123,20	16,82	3,94	0,39	107,42
MW2	ABUTMENT WALL	14,20	414,56	94,52	4,09	0,14	123,20	16,82	3,94	0,39	107,42
N011	BEARING POD	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N012	BEARING POD	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N021	BEARING POD	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total		22.999,89	265.265,99	55.879,82	3.129,73	96,43	93.617,07	12.166,73	3.008,87	251,69	86.438,22

Tabla 3. Ejemplo de Información extraída de los modelos (extracto, continuación)

MARK	COMMENTS	Impact_Unit_11_ Natural land transformation	Impact_Unit_12_ Ozone depletion	Impact_Unit_13_ Particulate matter formation	Impact_Unit_14_ Photochemical oxidant formation	Impact_Unit_15_ Terrestrial acidification	Impact_Unit_16_ Terrestrial ecotoxicity	Impact_Unit_17_ Urban land occupation	Impact_Unit_18_ Water depletion	Impact_Unit_19_ Economical Cost	Impact_Unit_20_ Employment Generation
M89	WALL	0,09	0,03	0,79	1,85	1,21	0,06	4,92	0,94	265,14	3,08
M90	WALL	0,09	0,03	0,79	1,85	1,21	0,06	4,92	0,94	265,14	3,08
M91	WALL	0,09	0,03	0,79	1,85	1,21	0,06	4,92	0,94	265,14	3,08
M92	WALL	0,09	0,03	0,79	1,85	1,21	0,06	4,92	0,94	265,14	3,08
M93	WALL	0,09	0,03	0,79	1,85	1,21	0,06	4,92	0,94	265,14	3,08
M94	WALL	0,09	0,03	0,79	1,85	1,21	0,06	4,92	0,94	265,14	3,08
ME1	ABUTMENT WALL	0,09	0,03	0,79	1,85	1,21	0,06	4,92	0,94	265,14	3,08
ME2	ABUTMENT WALL	0,09	0,03	0,79	1,85	1,21	0,06	4,92	0,94	265,14	3,08
MW1	ABUTMENT WALL	0,09	0,03	0,79	1,85	1,21	0,06	4,92	0,94	265,14	3,08
MW2	ABUTMENT WALL	0,09	0,03	0,79	1,85	1,21	0,06	4,92	0,94	265,14	3,08
N011	BEARING POD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,13	0,20
N012	BEARING POD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,13	0,20
N021	BEARING POD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,13	0,20
N022	BEARING POD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,13	0,20
Total		88,04	21,55	554,57	908,58	799,74	95,30	3.988,50	1.058,15	202.661,81	1.980,61

2. Resultados

Realizado el análisis de sostenibilidad del Acueducto de Carlet se han obtenido los siguientes resultados (Figuras 3 y 4):

- Para la estructura analizada, los mayores costes económicos y ambientales se producen durante la etapa de construcción (valor del índice para esta fase de +37.87), mientras que en la etapa de mantenimiento se produce un retorno, provocado por una mayor utilización de la mano de obra, (índice de -2.81 durante el mantenimiento).
- De los tres conceptos unitarios principales el más importante es el de Material, seguido del de Mano de obra y, finalmente, maquinaria.
- Los sistemas estructurales (canal y soportes) tienen una mayor influencia en el índice de sostenibilidad (82%), mientras que los sistemas de cimentaciones y movimiento de tierras justifican sólo el 18% del índice.

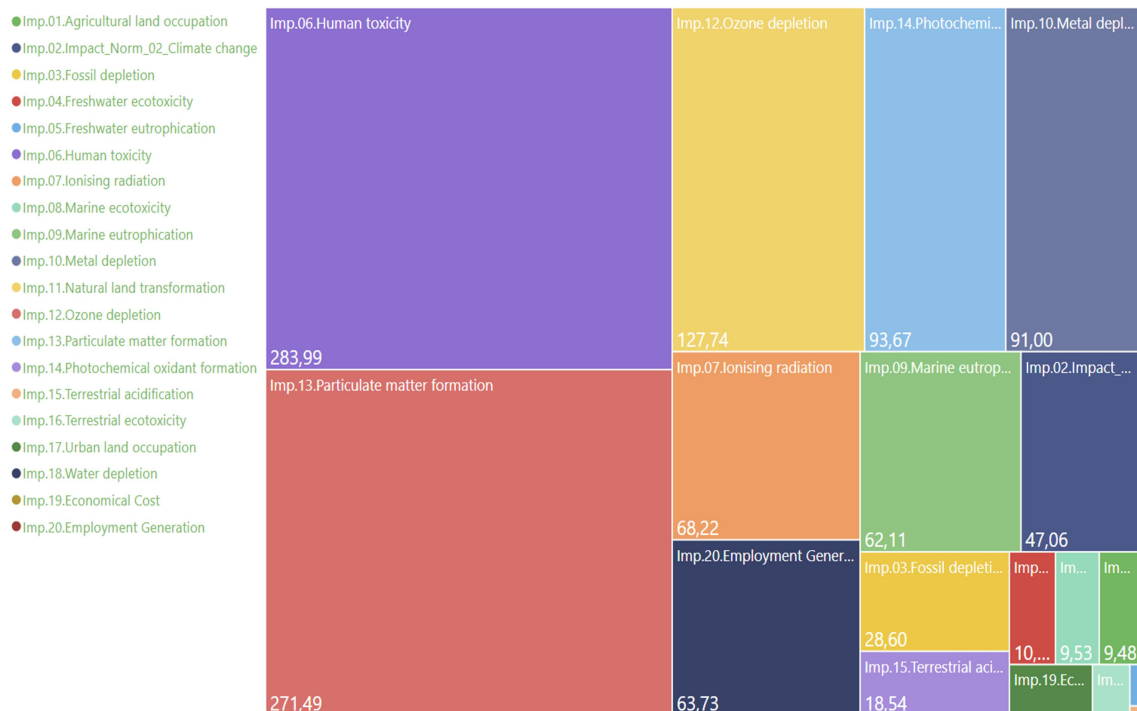


Fig. 3 Índices de sostenibilidad resultantes

- De las variables ambientales consideradas en el estudio las que tienen una mayor influencia son Toxicidad para los seres humanos, formación de partículas, reducción de la capa de ozono, formación de compuestos orgánicos volátiles y consumo de materiales ferrosos.

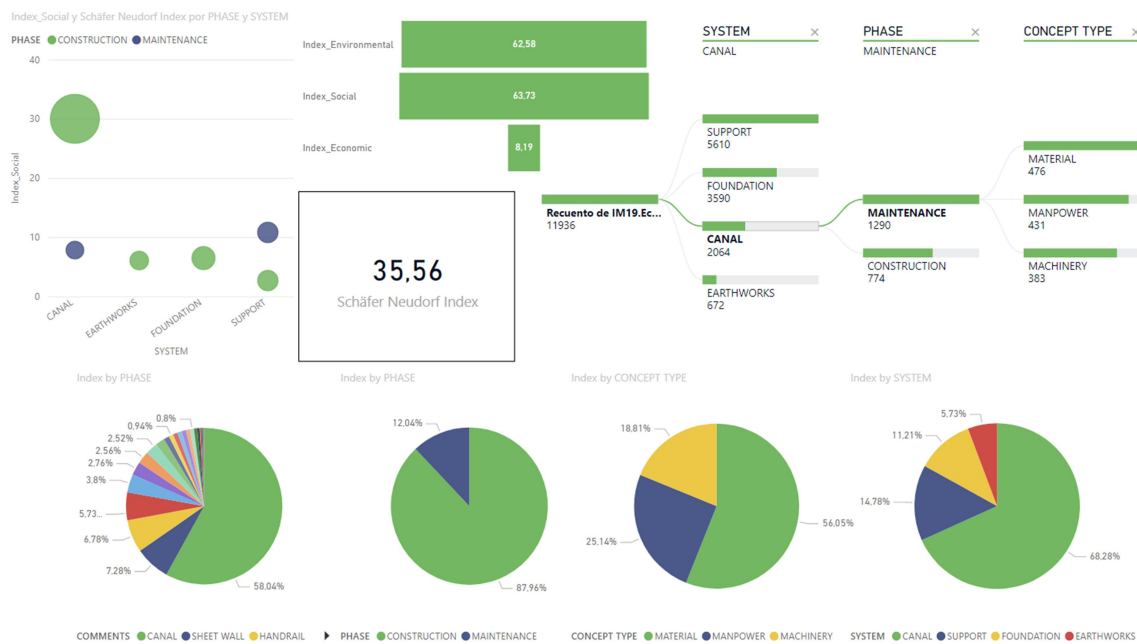


Fig. 4 Análisis de los resultados

- El coste económico de la obra, índice que habitualmente es el que determina las decisiones de inversión, ocupa un valor relativo muy bajo (posición 17) en relación con el resto de indicadores seleccionados, a pesar de tener el mayor peso en la ponderación del índice planteado en este trabajo. Esto pone de relevancia la necesidad de incorporar criterios ambientales y sociales en el diseño y evaluación de infraestructuras de cara al cumplimiento del noveno ODS.

3. Conclusiones

De la aplicación práctica de la Metodología propuesta se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La metodología propuesta permite la realización pormenorizada de Análisis de Sostenibilidad en infraestructuras, utilizando la metodología BIM como medio para obtener y gestionar la información necesaria para realizar dicho análisis. Frente a otras sistemáticas que realizan una aproximación al problema de una manera cualitativa, la metodología presentada permite tener en cuenta los volúmenes de materiales y las características concretas de las Infraestructuras, proporcionando de manera cuantitativa un índice global que caracteriza a la obra desde el punto de vista de la sostenibilidad. La finalidad del índice de sostenibilidad propuesto es su aplicación a estudios a escala de diseño (micro) para analizar el impacto que tienen posibles soluciones (utilización de distintos materiales o tipologías constructivas) y discriminar aquellas soluciones con peores prestaciones a lo largo de su ciclo de vida.
- La metodología se fundamenta en bases de datos, tanto las relativas a la geometría de los modelos de información que representan la infraestructura a analizar, como las relativas a los efectos que las diferentes categorías de impacto tienen sobre los elementos unitarios utilizados para definir las obras. Se elimina de esta manera cualquier sesgo subjetivo que pudiera interferir en la toma de decisiones.
- La metodología se fundamenta en la inclusión de costes medioambientales, sociales y económicos a conceptos unitarios de la construcción, y la agrupación de dichos conceptos unitarios alrededor de partidas organizadas alrededor de una Estructura de Desglose de Tareas. Se trata, en definitiva, de ampliar la gestión presupuestaria de las construcciones, cuya aplicación por parte de la metodología BIM está suficientemente madura, a las dimensiones estudiadas por los análisis de Sostenibilidad.
- Resulta de utilidad para el análisis tanto de Infraestructuras civiles como de edificación, eligiendo adecuadamente los conceptos unitarios que las constituyen. La principal dificultad en su utilización se encuentra en la elección de las bases de datos de impactos sobre elementos de la construcción

y de los valores globales contra los que realizar la normalización de los índices parciales ambiental, social y económico.

- El resultado de la aplicación a cada obra es un Modelo de Información de Datos de Sostenibilidad, vinculado con los Modelos de Geometría, y que forma parte del conjunto de documentación que define la Infraestructura analizada.
- El estudio ha evaluado una infraestructura existente desde el punto de vista de la Sostenibilidad, desde su puesta en funcionamiento hasta la actualidad, aprovechando que se contaba con información de esta relativa a la construcción y mantenimiento. La aplicación práctica de la metodología propuesta requiere de la existencia de bases de datos de Variables de Actividad relativas tanto a la Construcción de las infraestructuras, como de Mantenimiento de las mismas. Las mediciones relativas a las variables de Actividad relativas a la Construcción son sencillas de obtener, dado el grado de madurez de la utilización de modelos de información BIM en la extracción de mediciones; las relativas al mantenimiento deben basarse en estimaciones de los gestores de las infraestructuras basadas en su experiencia previa.
- Si bien la utilización de POWER BI ha permitido el análisis multidimensional del problema abordado, existe un amplio margen de mejora en cuanto a la creación de software de gestión de las construcciones desde el punto de vista de la sostenibilidad. En general, aplicaciones de gestión de presupuestos que ya manejan bases de datos de datos relativas a Estructuras de Desglose de Trabajo y conceptos Unitarios podrían fácilmente ampliar el alcance de sus aplicaciones para incluir las Categorías de Impactos necesarias, como dimensiones adicionales a la del coste, y realizar así análisis de sostenibilidad.

Referencias

- [1] GARCÍA-SEGURA, T.; PENADÉS-PLÀ, V.; YEPES, V. (2018). Sustainable bridge design by metamodel-assisted multi-objective optimization and decision-making under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, 202: 904-915.
- [2] SIERRA, L.A.; PELLICER, E.; YEPES, V. (2017). Method for estimating the social sustainability of infrastructure projects. *Environmental Impact Assessment Review*, 65:41-53.
- [3] CEEQUAL, Technical Manual | International Projects SD6053:0.1
- [4] MINISTERIO DE FOMENTO (2009) Instrucción de Hormigón Estructural, Anejo 13. Madrid: Centro de publicaciones del Ministerio de Fomento,
- [5] UNE-EN ISO (2006). *Environmental Management —Life Cycle Assessment— Principles and Framework*. International Standards Organization, Geneva ISO 14040: 2006.
- [6] UNE-EN ISO (2006). *Environmental Management —Life Cycle Assessment— Requirements and Guidelines*. International Organisation for Standardisation, Geneva ISO 14044:2006.
- [7] ANDREWS, E., LESAGE, P., BENOÎT, C., PARENT, J., NORRIS, G. y REVÉRET, J.P. (2009). "Life cycle attribute assessment—case study of Quebec tomatoes". *Journal of Industrial Ecology*, vol. 13, issue 4, p. 565–578.
- [8] BENOÎT-NORRIS, C., VICKERY-NIEDERMAN, G., VALDIVIA, S., FRANZE, J., TRAVERSO, M., CIROTH, A. y MAZIJN, B. (2011). "Introducing the UNEP/SETAC methodological sheets for subcategories of social LCA". *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol.16, issue 7, p. 682e690.
- [9] NAVARRO, I.J.; YEPES, V.; MARTÍ, J.V. (2020). Sustainability assessment of concrete bridge deck designs in coastal environments using neutrosophic criteria weights. *Structure and Infrastructure Engineering*, 16(7): 949-967.
- [10] University of Leiden, Institute of environmental sciences (CML), cml.leiden.edu [Consulta: 14 de Marzo de 2021].
- [11] HUMBERT, S., MARGNI, M. Y JOLLIET, O. (2005). "A user guide for the New Life Cycle Impact Assessment Methodology IMPACT 2002+, (for v2.1)".
- [12] Producto Interior Bruto de España <https://datosmacro.expansion.com/pib/espana> [Consulta: 21 de abril de 2021]
- [13] Horas totales trabajadas en España <https://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=4335#tabs-tabla> [Consulta: 21 de abril de 2021]
- [14] <http://world-statistics.org/index.php> [Consulta: 21 de abril de 2021]

- [15] NTP - National Toxicology Program. (2016). "Report on Carcinogens", Fourteenth Edition.; Research Triangle Park, NC: U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- [16] TOAMA, H. (2017). "World phosphate industry", *Iraqi Bulletin of Geology and Mining*, vol. 7, p. 5-23.
- [17] Producción mundial de uranio <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/uranium-production-figures.aspx> [Consulta: 21 de abril de 2021]
- [18] PROSSER, J., HINK, L., GUBRY-RANGIN, C. y NICOL, G. (2020). "Nitrous oxide production by ammonia oxidizers: Physiological diversity, niche differentiation and potential mitigation strategies", *Global Change Biology*, vol. 26, p. 103-118.
- [19] Producción mundial de hierro https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_iron_ore_production [Consulta: 21 de abril de 2021]
- [20] Superficie de España <https://es.wikipedia.org/wiki/Espa%C3%B1a> [Consulta: 21 de abril de 2021]
- [21] Producción mundial de corofluorcarbonados <https://www.grida.no/resources/5506> [Consulta: 21 de abril de 2021]
- [22] <https://www.eea.europa.eu/> [Consulta: 21 de abril de 2021]
- [23] Producción Española de sulfatos https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei-/040401-producc-so4h_tcm30-429855.pdf [Consulta: 21 de abril de 2021]
- [24] Presupuesto y medición de modelos BIM <http://revit.arquimedes.cype.es/> [Consulta: 10 de marzo de 2021]
- [25] Cost-It < [https://www.rib-software.es/pdf/Information%20in%20English/Cost-It-Manual-\(ENG\).pdf](https://www.rib-software.es/pdf/Information%20in%20English/Cost-It-Manual-(ENG).pdf)> [Consulta: 10 de marzo de 2021]
- [26] UNE-EN ISO: *Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 1: Conceptos y principios.* (ISO 19650-1:2018).



HBIM PARA EL INVENTARIO DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO

Quintilla-Castán, Marta^a; Área de Expresión Gráfica Arquitectónica. Departamento de Arquitectura de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza - mquintilla@unizar.es

Abstract

The knowledge must be able to be stored, processed and analyzed on a common support that allows to contain all the available materials of a heritage element.

One of the main problems of the inventory of architectural heritage is managing and storing large amounts of information in different formats. That is why for the complete documentation of the heritage and to have exhaustive and useful inventories for all the contemplated uses, the HBIM models provide all the required functionalities.

The solution involves the development of a geometric model that allows including and relating information related to it. The format is an HBIM model capable of incorporating information on a stratified support, with visualization, documentation and management capabilities that allow a complete vision of the building to be catalogued, incorporating useful information for its conservation, restoration, protection and dissemination, as well as interoperability between tools and other systems throughout the entire life cycle of the object.

The purpose is to study the different existing options, to assess which is the most appropriate method to create a graphic database, which allows the inventory of architectural heritage.

Keywords: Cultural heritage, Web platforms, HBIM, Information systems, 3D models, Inventories.

Resumen

El conocimiento debe poder ser almacenado, procesado y analizado sobre un soporte común que permita contener todos los materiales disponibles de un elemento patrimonial.

Uno de los principales problemas del inventario del patrimonio arquitectónico es gestionar y almacenar grandes cantidades de información de distintos formatos. Es por ello que para la documentación completa del patrimonio y poder disponer de inventarios exhaustivos y útiles para todos los usos contemplados, los modelos HBIM aportan todas las funcionalidades requeridas.

La solución implica el desarrollo de un modelo geométrico que permita incluir y relacionar información referida a él. El formato es un modelo HBIM capaz de incorporar información sobre un soporte estratificado, con capacidades de visualización, documentación y gestión que permita una visión completa del edificio a catalogar, incorporando información útil para su conservación, restauración, protección y difusión, así como la interoperabilidad entre herramientas y otros sistemas a lo largo de todo el ciclo de vida del objeto.

El objeto es estudiar las distintas opciones existentes, para valorar cual es el método más adecuado para realizar una base de datos gráfica, que permita el inventario del patrimonio arquitectónico.

Palabras clave: Patrimonio arquitectónico, plataformas web, HBIM, Sistemas de Información, modelos 3D, inventarios.

Introducción

El proceso de intervención en el patrimonio arquitectónico es complejo, ya que requiere de un proceso de documentación previa del elemento patrimonial por parte de arquitectos, arqueólogos, historiadores o restauradores entre otros. Cada disciplina se especializa en un ámbito concreto y necesita unos requerimientos distintos, por lo que es especialmente necesario un flujo de trabajo ordenado y de información abierta y disponible en cualquier momento (Fassi et al., 2015).

Al igual que en otros campos de la arquitectura, las últimas técnicas gráficas y de manipulación de la imagen, como la fotogrametría, el escáner láser o lidar, permiten plantearse una metodología de trabajo distinta a la actual en el campo patrimonial. Esto ha originado que la documentación establecida de manera tradicional (planos, fotografías...) se vea complementada con una representación espacial y virtual del objeto o monumento en cuestión. El adecuado registro de dichas relaciones, así como la correcta definición de los materiales y sistemas constructivos del edificio histórico, se convierten en requisitos básicos de la documentación gráfica, ya que supone la salvaguarda de buena parte de sus valores culturales materiales

El concepto HBIM fue utilizado por Murphy et al. en el año 2007 para dar nombre al proceso de modelado y documentación de elementos arquitectónicos relacionados con el patrimonio. Esta tecnología resulta interesante para la creación de catálogos de arquitectura que al disponer de una información organizada bajo un mismo modelo 3D, permite mediante un sistema de gestión, administrar la diversidad de contenidos y funcionalidades generados por los distintos especialistas involucrados en la conservación, protección, restauración y difusión del patrimonio.

El propósito de este trabajo es presentar una revisión de los avances realizados en la evolución metodológica para la realización de un Modelo de Información del Edificio Histórico mediante la utilización de la tecnología BIM y mostrar las diferentes líneas de investigación que se están realizando en la actualidad.

1. Enfoques HBIM para la catalogación del patrimonio

A lo largo de las últimas décadas ha habido numerosos esfuerzos encaminados a la consecución de un modelo virtual completo del patrimonio arquitectónico. El listado de estudios puede separarse en categorías en función del enfoque elegido. Muchas de las propuestas metodológicas se centran en el uso de la tecnología BIM para llevar a cabo sus investigaciones. En este caso, el uso de objetos paramétricos y la creación de una estructura semántica para organizar la información son el eje central de gran parte de las investigaciones.

1.1. Propuestas metodológicas

Una de las primeras contribuciones en el campo de la reconstrucción virtual del patrimonio arquitectónico, la observamos en la propuesta metodológica para un sistema informativo de edificios en Cracovia, Polonia (Dudek et al., 2005). Conceptos arquitectónicos y urbanos se utilizan como filtros para la documentación. Cada concepto presenta un grupo de información que incluye una definición precisa de su morfología. Los objetos arquitectónicos se representan mediante una estructura jerárquica de clases que contienen atributos que permiten el análisis. A demás a estos se incluye documentación que es almacenada en otra base de datos, permitiendo una representación dinámica de la información y el desarrollo de un vocabulario gráfico de signos y códigos que favorecen la visualización y la abstracción en función del nivel de detalle de representación y el mensaje que se desea mostrar. Estos autores introducen conceptos como morfología o la variación de la representación en función del nivel de detalle.

Conceptos que se recogen y amplían posteriormente en propuestas que incorporan la función espacio-temporal a la representación virtual (De Luca et al., 2010). Los edificios no son formas constantes, varían con el tiempo, pueden sufrir modificaciones o incluso desaparecer, y esas variaciones han de poder ser representadas y documentadas, para poder realizar análisis de las transformaciones en términos de distribución del estado temporal. La propuesta tiene en cuenta estos factores en un flujo de trabajo basado

en la elaboración de un modelo preciso del estado actual del edificio que soporta operaciones espacio-temporales, la estructuración semántica y la navegación visual simultánea en espacio y tiempo, realizando consultas y comparación visual de espacios temporales. El incluir el factor temporal pone de relevancia la importancia de la creación de un modelo semántico del edificio estructurado en cuatro niveles jerárquicos: clases, grupos, entidades y marcas de referencia. Esta organización en niveles facilita su enlace a la información temporal y la navegación visual entre distintas fuentes y fases del edificio. Esta metodología se integra en la plataforma NUBES que se desarrolla más adelante.

Tabla 1. Propuestas metodológicas para el modelado HBIM

Enfoque	Referencia	Caso de estudio	Software	Resumen metodología
BIM (Metodología)	Dudek et al. (2005)	Sistema informativo de edificios en Cracovia, Polonia	Combinación de tecnologías: OOP / XML-XSLT / SVG / VRML	Creación de un modelo teórico bajo una estructura morfológica. Conceptos arquitectónicos y urbanos se utilizan como filtro para la información
BIM (Metodología)	De Luca et al. (2010)	Monumento romano "Trophée des Alpes" en La Turbie, Francia	Plataforma NUBES: NUBES Forma (Maya plugin en MEL y C++), NUBES Visum (PHP / MySQL, VirttoolsDEV)	Aproximación metodológica para aprovechar el corpus iconográfico existente para el análisis y la reconstrucción de las transformaciones de los edificios, con soporte de operaciones espacio-temporales
BIM (Metodología)	Murphy et al. (2013)	Arquitectura de estilo clásico	Graphisoft Archicad, GDL	Construcción de una biblioteca de objetos paramétricos HBIM
BIM (Metodología)	Dore et al. (2015)	Four Courts en Dublín, Irlanda	Graphisoft Archicad, plugin 3D RULED	Creación de biblioteca HBIM, usando nube de puntos e información histórica, para el modelado preciso y eficiente de paredes curvas que contienen deformaciones
BIM (Metodología)	Nieto Julián et al. (2014, 2016)	Cárcel de la Real fábrica de Tabacos de Sevilla / Cenador de Carlos V del Real Alcázar de Sevilla	Graphisoft Archicad, GDL	Creación de un modelo HBIM con ArchiCad y API para acelerar la automatización y estandarización de tareas
BIM (Metodología)	Oreni et al. (2014)	Basilica di Santa Maria di Collemaggio en L'Aquila, Italia	Autodesk Revit, Rhinoceros + plugin NURBS, MIDAS, AutoCad	Comprobación de la interoperabilidad de HBIM con otro software como Rhino para realizar análisis y simulaciones geométricas y Midas para análisis de elementos finitos
BIM (Metodología)	Banfi (2019)	Arco de la Paz, Milán	Autodesk Revit, GOGs add-in	Diseño de un complemento de Revit con el objetivo principal de transferir el modelado generativo y los GOG (requisitos de modelado) dentro del software BIM

A este respecto, destaca H-BIM una metodología para la construcción de una biblioteca de objetos paramétricos interactivos, basada en datos arquitectónicos históricos, que como resultado obtiene modelos 3D completos que incluyen detalles de los métodos de construcción y materiales. Metodología que se utiliza para la construcción de objetos basados en los manuscritos de Vitruvio (Murphy et al., 2013), o para el modelado de Four Courts en Dublín (Dore et al., 2015), mediante la utilización de software Graphisoft Archicad y el lenguaje geométrico descriptivo GDL. Valorar también el trabajo llevado a cabo para la construcción de un Modelo de Información del Patrimonio Arquitectónico del Cenador de Carlos V del Real Alcázar de Sevilla (Nieto Julián et al., 2016) y la Cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla (Nieto Julián et al., 2014). En ambos casos se pone en práctica una propuesta metodológica para la realización de un proyecto de intervención sustentado en un modelo HBIM creado con Graphisoft Archicad y una serie de instrucciones y algoritmos adicionales programados en API, para acelerar la automatización y estandarización de tareas. Otros autores (Oreni et al., 2014) se ayudan de plugins como NURBS de Rhinoceros, para representar la complejidad de elementos arquitectónicos sin perder detalles con simplificaciones excesivas, y evitar los problemas relacionados con la estandarización de elementos en objetos y familias, inútiles para los procesos de conservación.

La realidad actual es que los programas de modelado actuales se centran en el modelado de edificios de nueva edificación y carecen de objetos 3D y herramientas de modelado en las bibliotecas BIM, específicas

para uso en patrimonio histórico. En particular, no se pueden emplear NURBS para trabajar con nubes de puntos, así como carecen de instrumentos capaces de extraer automáticamente primitivas geométricas de secciones. Para solucionar esta necesidad, algunos autores (Banfi, F. 2019) han comenzado a trabajar con la idea de adaptar para su uso en patrimonio, programas de modelado como Revit. Gracias a la disponibilidad de APIs, se han podido diseñar add-ins para incrementar las capacidades y características nativas del software, obteniéndose beneficios como facilitar la importación de nubes de puntos, la integración de GOGs (requisitos de modelado) en la arquitectura del software, facilitar el modelado de elementos históricos, automatizar la generación de bases de datos, permitir la adición de nuevos parámetros personalizados y por último la posibilidad de compartir los datos del modelo HBIM con otras fuentes, bases de datos externas y plataformas en la nube BIM, manteniendo una relación bidireccional entre el objeto y la información.

1.2. Programas de visualización

Los sistemas de información BIM son capaces de integrar todo tipo de información y documentación, pero su capacidad de interconectar con la web, y de este modo resolver las necesidades de interoperabilidad y accesibilidad hacen que prolifere su uso en el campo del Patrimonio Arquitectónico (Afsari et al., 2016). La integración y soporte de servicios en la nube, favorece la actualización de la información en tiempo real, la capacidad de procesar y analizar grandes cantidades de información en cortos periodos de tiempo, o el uso de extensiones de aplicaciones de escritorio que solo muestran los datos procesados (Marston et al., 2011).

Dentro de los programas BIM en la nube, encontramos Autodesk 360 (A360), BIMx y BIM Server entre muchos otros (Chong et al., 2014). Autodesk 360 (A360) permite ser utilizado en el propio ordenador o a través de la web y ha sido especialmente diseñado con todas las funciones de planificación, con opción de incluir capacidades de computación en la nube. Encontramos ejemplos de su uso en el modelo HBIM de la Basílica de San Ambrogio en Milan (Stanga et al., 2017) para su visualización en dispositivos portátiles para conservación y preservación del patrimonio cultural con la ayuda de nuevas tecnologías, al igual que en la iglesia de San Cipriano en Castelvecchio Calvisio en L'Aquila (Continenza et al., 2018) y el Castillo de Masegra (Barazzetti et al., 2015). En este último caso también se utiliza el software BIMx para la visualización del modelo. El programa es instalado y utilizado en el ordenador, pero tiene funciones adicionales que permite que el modelo sea compartido en la nube y poder ser visualizado a través del navegador web o una aplicación móvil. En último lugar, BIM Server (<https://bimserver.org/>) es un software de código abierto que permite crear una nube BIM de uso propio, permitiendo transformar cualquier ordenador en un servidor BIM con la capacidad de analizar archivos y datos IFC, que estarán disponibles a través de un navegador web, facilitando la interoperabilidad. Esta solución es la elegida por el proyecto GAMHer para la creación de una solución completa de HBIM de código abierto adaptada al patrimonio histórico (Diara et al., 2018).

Adicionalmente encontramos la propuesta denominada CloudServerBIM (Logothetis et al., 2018), una plataforma BIM y HBIM desarrollada usando tecnología de computación en la nube que es capaz de manejar datos geoespaciales. Es un servicio web en tiempo real para cargar datos BIM en cualquier lugar y desde cualquier dispositivo. Sólo utiliza software de código abierto, FreeCAD como software de modelado, BIMserver como servidor de archivos de datos BIM y Nextcloud como plataforma de comunicación y uso compartido de archivos.

Aparte de los programas genéricos de BIM en la nube, encontramos BIMexplorer tool, una plataforma web específica para el patrimonio arquitectónico, cuyo fin es la visualización de resultados y la realización de consultas semánticas al modelo, a usuarios no expertos. El modelo 3D se genera en Revit según una estructura semántica y sobre él se realiza el enriquecimiento de datos. Cada elemento de construcción puede describirse mediante un conjunto de propiedades ordenados jerárquicamente en una taxonomía. La interoperabilidad de datos provenientes de un HBIM estándar se realiza mediante la utilización del formato IFC y el uso de estándares de la web semántica como RDF y OWL que permiten el intercambio flexible de datos BIM para representar modelos 3D y realizar consultas entre modelos (Quattrini et al. 2017).

Tabla 2. Visualización HBIM

Enfoque	Referencia	Caso de estudio	Software	Notas
BIM (Visualización)	Stanga et al. (2017)	Basilica de San Ambrogio, Milán	A360	Realización de un cuaderno virtual, basado en un modelo 3D que soporte la difusión de la información recopilada. Comprensible y accesible para cualquier persona a través del desarrollo de una aplicación móvil.
BIM (Visualización)	Continenza et al. (2018)	Iglesia de San Cipriano en Castelvecchio Calvisio, L'Aquila	A360	Generación de un modelo BIM y presentación en plataforma A360 para la visualización de modelos en línea y el software BIM Vision gratuito para la visualización remota de archivos *.IFC
BIM (Visualización)	Barazzetti et al. (2015)	Castillo de Masegra, Italia	A360, BIMx	Procedimiento para la generación de un HBIM detallado que luego se convierte en un modelo para aplicaciones móviles basado en realidad virtual y aumentada
BIM (Visualización)	Diara et al. (2018)	Ninguno	BIM Server	Software BIM de código abierto que permite crear una nube BIM de uso propio
BIM (Visualización)	Logothetis et al. (2018)	Ninguno	BIM Server	Servicio web en tiempo real. Utiliza software de código abierto, FreeCad para modelado, BIM Server como servidor de archivos de datos BIM y NextCloud como plataforma de comunicación y uso compartido de archivos
BIM (Visualización)	Quattrini et al. (2017)	Iglesia de Santa Maria de Portonovo	BIM Explorer Tool	Plataforma web específica de patrimonio arquitectónico cuyo fin es la visualización de resultados y consultas semánticas al modelo, a usuarios no expertos

1.3. Programas específicos para la representación del patrimonio arquitectónico

El estudio demuestra que existe la falta de un Sistema Integrado completo que incluya las capacidades de modelado, almacenamiento, gestión y análisis, necesarios para la realización de proyectos de intervención y conservación del patrimonio arquitectónico. Uno de los primeros ejemplos de programas específicos para la representación del patrimonio arquitectónico es NUBES, desarrollado por CNRS, una plataforma web de código abierto para almacenar, manipular, consultar y administrar datos de edificios patrimoniales, enfocada a su posterior restauración (De Luca et al. 2011). La plataforma está formada por tres elementos: una base de datos desarrollada en MySQL, un sistema iterativo desarrollado en Virtools DEV que muestra la información almacenada en el modelo 3D, y un conjunto de páginas PHP que permiten el acceso a los datos. Para incorporar la documentación al modelo del edificio, este se divide en sub-elementos más pequeños, organizados bajo una estructura semántica. Una vez almacenados los datos, el sistema permite mostrar cambios temporales, enlazar información sobre el modelo y realizar anotaciones semánticas, así como visualizar ordenadamente la información almacenada previamente. Este proyecto supone el primer ejemplo de un programa completo desarrollado para el análisis del patrimonio arquitectónico.

BIM3DSG es un sistema integrado para la gestión de un modelo complejo que incluya toda la documentación necesaria para la gestión del patrimonio histórico. El sistema está compuesto por dos partes. La primera permite a usuarios especializados o profesionales importar al sistema o modificar un modelo complejo 3D. La segunda parte, concebida para usuarios comunes, permite usar el sistema a través de una plataforma web, favoreciendo la movilidad y la visualización en dispositivos móviles, sin costes adicionales. A través de ella permite acceder a toda la información almacenada en un modelo BIM, total o parcialmente, mediante la constitución de entidades definidas por el usuario, permitiendo elegir su visualización entre siete niveles de detalle. Uno de los aspectos clave, es que el servidor permite disponer de todas las funcionalidades para trabajar en remoto o a través de internet, usando el sistema en modo lectura o escritura, facilitando el trabajo de campo a distintos usuarios, y permitiendo la restricción de acceso

según el tipo de usuario (Fassi et al., 2015). La aplicación ha podido ser utilizada en numerosas ocasiones, durante las labores de restauración del Duomo de Milán (Rechichi et al., 2016), la conservación de los mosaicos de San Marco en Venecia (Fassi et al., 2017), y en los últimos años en la conservación de entornos arquitectónicos protegidos por la UNESCO, como el Sacri Monti de Piedmont y Lombardía (Tommasi et al., 2019).

Otro caso es el proyecto europeo INCEPTION “Inclusive Cultural Heritage in Europe through 3D semantic modelling”, finalizado en mayo de 2019, que se centra en desarrollar una plataforma web de estándar abierto para acceder, procesar y compartir modelos digitales 3D creados bajo una estructura semántica, resultantes de levantamientos 3D y captura de datos, para administrar información patrimonial. Para la interoperabilidad de la plataforma, se ha integrado un glosario denominado H-BIM ontology, que utiliza el tesoro AAT del Getty Institute, para cubrir todas las nomenclaturas del patrimonio que no poseen los programas BIM. El modelo BIM se introduce en la plataforma mediante el formato IFC y permite interactuar con él, añadir información y documentación adicional de cualquier tipo al edificio completo o elemento geométrico, y realizar consultas espaciales y de múltiples criterios. Estas características otorgan a la plataforma gran versatilidad para ser utilizada para múltiples objetivos, como la conservación, restauración o difusión, ya que permite adaptar como se muestra la información en función del usuario (Iadanza et al., 2019).

Tabla 3. Programas específicos para la representación del patrimonio arquitectónico

Nombre	Tecnologías	Semántica	Modelo	Enriquecimiento de datos	Visor	Análisis
NUBES	PHP, MySQL, VirtoolsDEV	Estructura semántica del modelo	El modelo BIM se introduce en Virtools para ser exportado en .nmo	Tres niveles de descripción: Semántica, estructura y representación. Inclusión de la dimensión temporal. Se describen transformaciones del edificio usando un sistema de notación gráfica	Navegación visual en el espacio y en el tiempo: Consultas espacio-temporales y comparación visual de estados temporales	Soporte de operaciones espacio-temporales, análisis estadísticos
BIM3DSG	PostgreSQL en Linux para base de datos, plugin para Rhinoceros, visor con WebGL a través de librería SceneJS	Estructura semántica del modelo	Modelado en Revit y Rhinoceros	Se pueden crear grupos personalizados a los que añadir información complementaria. Soporta todo tipo de documentación. La información se puede asignar al modelo completo o partes del mismo, pudiéndose asignar a varias entidades simultáneamente.	Es posible seleccionar objetos en modo lectura-escritura. Se pueden elegir entre siete niveles de detalle (LoD)	Para labores de restauración, se pueden tener dos modelos de la misma entidad para conservar la historia y transformaciones de los objetos
INCEPTION	Software de código abierto. Basado en Open BIM standard (IFC, IFD, ...)	H-BIM, Heritage BIM ontology. Se puede enlazar la nomenclatura Getty AAT (Art & Architecture Thesaurus, TGN - Getty Thesaurus of Geographic Names and ULAN - Union List of Artist Names). También se puede enlazar CIDOC CRM	El modelo BIM se introduce en la plataforma en formato IFC	Posibilidad de enriquecer los modelos con nuevos metadatos semánticos. Permite enriquecer los modelos con información adicional relacionada con todo el edificio o con un elemento geométrico específico.	Gracias a la ontología W3C OWL-Time permite representar fases temporales y la evolución del edificio. Capacidad de adaptar la información al usuario	Consultas espaciales y de múltiples criterios
PETROBIM	Tecnología propia WOB (Walking on BIM)	No incluye ningún tesoro, a pesar de que permite crear nuevos elementos constructivos	Permite incluir cualquier tipo de modelo geométrico en formato .fbx	Posibilita enlazar todo tipo de atributos vinculados al modelo en el propio programa, que serán accesibles a través de diferentes módulos: Elementos constructivos, materiales, definición de patologías, fases constructivas, humedades, deformaciones, proyectos de intervención, gestión y mantenimiento durante todo el ciclo de vida	Sistema de visualización 3D, panel de consulta y edición	Si, a través de los distintos módulos

Dentro de todos los programas estudiados, encontramos el único software propietario que está disponible para su uso genérico y que no depende de ninguna institución, proyecto o grupo de investigación. PetroBIM es una herramienta desarrollada específicamente para la gestión del patrimonio arquitectónico a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio. Se compone de un servidor, un visor y un modelo 3D que integra todo tipo de información asociada a los proyectos de conservación y restauración del patrimonio histórico, de este modo se permite la interoperabilidad de información entre los diferentes colaboradores, favoreciendo la gestión y consulta en tiempo real a distintos tipos de usuarios, estando siempre accesible para su actualización (Armisen et al., 2016). El programa está diseñado específicamente para la elaboración de proyectos profesionales, para lo cual se utilizan una serie de módulos específicos para los distintos niveles de intervención y característicos de cada trabajo, como: modelado 3D, elementos constructivos, materiales constructivos, alteraciones, fases constructivas, humedades, deformaciones, intervención y mantenimiento.

2. Integración BIM-GIS

El patrimonio histórico está compuesto por elementos irregulares, difíciles de estandarizar, parametrizar y segmentar. Actualmente existe software que permite trabajar con nubes de puntos y generar objetos más precisos de un modo automático, pero tienen limitaciones porque requiere en gran parte de trabajo manual que consume muchas horas (Yang et al., 2020), además de las limitaciones respecto a las funciones de consulta, tanto de atributos como espaciales. Sin embargo, este obstáculo puede ser solventado por los Sistemas de Información Geográfica (GIS), cuya prioridad es el análisis y gestión de información espacial mediante la asociación de atributos, semántica y de relaciones a las características espaciales almacenadas.

Ambas tecnologías, BIM y GIS por separado, están diseñadas para su uso principal en edificios de nueva construcción, por lo que su integración permite complementar las carencias del otro, favoreciendo la creación de un repositorio completo en 3D, para la gestión de información referente al patrimonio, en un entorno espacial y capaz de administrar modelos 3D enriquecidos semánticamente (Saygi et al., 2013). Por ello, la utilización de estándares para el intercambio de datos sin pérdida de información resulta de vital importancia. IFC es el formato de intercambio de información más usado en BIM y City Geography Markup Language (CityGML) es actualmente el estándar de intercambio más completo del dominio geoespacial y también uno de los formatos semánticos de modelado 3D más utilizados, cuyo objetivo es estructurar la información sobre ciudades y sus características contextuales en su conjunto.

2.1. Ejemplos de integración HBIM-GIS para la gestión del patrimonio histórico

Una de las primeras aproximaciones es la plataforma denominada PINTA, un sistema que combina funcionalidades de sistemas CAD y GIS, que integra diferentes herramientas para procesado de información, administración y visualización (San José-Alonso et al., 2009). El modelo de referencia es una nube de puntos sobre la que se superpone capas temáticas de información, trabajando de un modo similar a GIS. Para ser un sistema accesible e interoperable el modelo tiene una estructura semántica jerárquica, que se obtiene con algoritmos que permiten la auto-segmentación y para los cuales hay que especificar lexicon, tesauros y taxonomías. Esta estructura semántica permite trabajar con distintos niveles de detalle y la interoperabilidad con otras bases de datos. Al igual que PINTA, encontramos Siarch3D-Univaq (Centofanti et al., 2012), una propuesta de Sistema de Información para arquitectura, cuyo propósito es crear un modelo 3D único creado bajo una estructura semántica, capaz de gestionar distintos formatos de documentación, que mediante el uso de datos y elementos permite obtener relaciones entre ellos.

Como continuación a la propuesta de elaboración de una biblioteca de objetos paramétricos basados en tratados de arquitectura (Murphy et al. 2007), el proyecto se completa con el objetivo de integrar el modelo 3D paramétrico en un entorno 3D GIS para mayor gestión y análisis (Dore et al., 2012). El proceso se lleva a cabo mediante el uso de un plugin de Google Sketch up que permite la conversión del modelo 3D al formato CityGML, que incluye capacidades adicionales para vincular el modelo de patrimonio 3D al sistema de información. CityGML permite ampliar características mediante la utilización de extensiones de dominio de aplicación (ADE). Existen algunos ADEs desarrollados específicamente para edificios y que incluyen algunas clases derivadas de IFC, como es el ejemplo de GeoBIM (Arroyo Ohori et al., 2017). El proyecto tiene el objetivo de desarrollar una interfaz que puede leer tanto CityGML como IFC y formular pautas de modelado para la integración bidireccional entre GIS y BIM, permitiendo operaciones para manipular y analizar los modelos. Otros estudios proponen ampliar la estructura de CityGML para la inclusión de datos con mayor nivel de detalle al modelo 3D del patrimonio arquitectónico, es el caso de la extensión CHADE (Noardo, 2018). CityGML permite la representación a múltiples escalas (ciudad, paisaje y como objeto 3D de mayor detalle), sin embargo, es necesario extender el esquema para incluir todos los atributos y características que permitan una interpretación inequívoca de la información y facilitar la interoperabilidad de las bases de datos. Por ello, en la extensión se abordan aspectos como la granularidad de la información, la flexibilidad del modelo y la inclusión de datos temáticos y vocabularios externos, todas características ineludibles para la representación de elementos históricos.

Con la intención de crear una librería de objetos de edificios históricos de Jeddah (JHBIM), se elabora una biblioteca cuyas características principales son la obtención de mayor nivel de detalle y reducción de tiempo de modelado (Baik et al., 2015). Los objetos más simples se modelan mediante Revit y se integran en la biblioteca HOAL (Hijazi Architectural Objects Library), mientras que las superficies más irregulares se modelan con herramientas NURBS disponibles en Rhinoceros. Finalmente, el modelo BIM se integra en 3D GIS mediante Autodesk Infracore. De este modo, se consigue un modelado rápido, preciso y detallado, con gran flexibilidad, y con información necesaria para la restauración y conservación de edificios históricos.

Tabla 4. Enfoques actuales de integración HBIM-GIS

Enfoque	Referencia	Caso de estudio	Software	Resumen metodología
BIM/GIS	San-José Alonso et al. (2009)	Varios edificios históricos en Castilla y León	PINTA	Creación de plataforma PINTA. Combinación de funcionalidades CAD y SIG
BIM/GIS	Centofanti et al. (2012)	Villa e iglesias en Italia	Siarch3D-Univaq combinando Autocad, 3D Studio Max, Rhinoceros, Rapidform XOR, Microsoft Access, ArcGIS	Integración de datos heterogéneos en una única plataforma
BIM/GIS	Dore et al. (2012)	Varios edificios históricos	Graphisoft Archicad, Google SketchUp, CityGML, ArcGIS	Integración de biblioteca de objetos paramétricos interactivos en entorno 3D GIS para la gestión de información
BIM/GIS	Arroyo Otori et al. (2017)	Edificios en The Hague	IfcOpenshell, open CASCADE, CGAL, CityGML	Proyecto GeoBIM, estudia la integración bidireccional de SIG y BIM
BIM/GIS	Noardo (2018)	Monasterio de Staffarda, Italia	open source FZK, CityGML-CHADE, software FME, ArcGIS	Ampliación de la estructura de CityGML mediante la extensión CHADE, para la inclusión de datos con mayor detalle al model 3D
BIM/GIS	Baik et al. (2015)	Edificios históricos de Jeddah, Arabia Saudi	Autodesk Revit, Autodesk InfraWorks platform, Rhinoceros	Creación de biblioteca de objetos paramétricos (JHBIM) que se integra en 3D GIS
BIM/GIS	Vacca et al. (2018)	La Gran Torre di Oristano	Autodesk Revit, software FME (Feature Manipulation Engine), ArcGIS, ArcScene	Desarrollo de un flujo de trabajo HBIM-SIG, con propósito de digitalizar y optimizar un modelo preciso orientado a la correcta gestión del patrimonio arquitectónico histórico
BIM/GIS	Matrone et al. (2019)	Iglesia de Santa Maria dei Miracoli en Venecia. Propuesta conectada al proyecto Rescult	Autodesk Revit, software FME (Feature Manipulation Engine), QGIS, EID CM extension	Propuesta conectada al proyecto ResCult cuyo objetivo es comprender la conversión de los datos al pasar de IFC a CityGML a través del software FME

El protocolo de integración de HBIM-GIS aplicada a “La Gran Torre di Oristano” (Vacca et al., 2018), con el objetivo de optimizar los procesos, comienza con la construcción del modelo en Revit, para ser exportado a ESRI. Para ello, se utiliza el complemento “FME Exporter for Revit”, que permite la exportación de modelos BIM a formato “.rvz”, que es un formato comprimido de IFC. Mediante la aplicación “FME Workspace” se convierte el archivo al formato .gdb (geodatabase), para poder administrar en modelo en ArcGIS. El proceso permite navegar por el modelo 3D dentro de su contexto urbano y mediante ArcScene ejecutar consultas. De un modo similar, se desarrolla la propuesta conectada al proyecto ResCult (Increasing Resilience of Cultural Heritage), cuyo objetivo es comprender la conversión de los datos al pasar del formato estándar IFC al CityGML a través del software FME (Matrone et al., 2019).

3. Conclusiones

En este estudio se ha realizado una revisión de diferentes propuestas metodológicas enfocadas a la documentación y modelado del patrimonio histórico arquitectónico mediante la utilización de tecnología BIM, así como del estado actual del software disponible para esta labor. La gestión y análisis necesarias para definir un elemento patrimonial precisan de la generación de un modelo virtual que admita cualquier tipo de documentación heterogénea. A lo largo de este estudio se han enumerado los beneficios del uso de BIM para realizar el inventario del patrimonio arquitectónico, pero también se han ido desgranando sus carencias. La complejidad e irregularidad de las formas dificulta la parametrización de los objetos y consume

mucho tiempo, además, BIM por sí solo está limitado respecto a las funciones de consulta, tanto de atributos como espaciales. Sin embargo, su integración con Sistemas de Información Geográfica, solventa la capacidad de gestión y modelado completo del patrimonio. Como se ha visto, la utilización de estándares para el intercambio de información entre ambos programas y una organización semántica de la información, facilitan la interoperabilidad entre ambas bases de datos, a pesar de que todavía la integración no es del todo satisfactoria, sufriendo pérdidas de información en la conversión.

Actualmente, todavía no existe una herramienta que integre ambas tecnologías, lo que alienta al estudio de nuevos métodos que favorezcan el flujo de información. Las características únicas del patrimonio histórico y sus necesidades específicas hacen pensar que la integración BIM/GIS puede suponer la herramienta definitiva para la obtención de un modelo completo que permita la gestión de todo tipo de información relativo al patrimonio arquitectónico y que sea capaz de adaptarse a los distintos usuarios y usos demandados.

Referencias

- AFSARI, K., EASTMAN, C., SHELDEN, D. (2016). "Cloud-Based BIM Data Transmission: Current Status and Challenges". En: *33rd International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2016)*.
- ARMISÉN FERNÁNDEZ, A., GARCÍA FERNÁNDEZ-JARDÓN, B., MATEOS REDONDO, F. J., VALDEÓN MENÉNDEZ, L., ROJO ÁLVAREZ, A. (2016). "Plataforma virtual para el diseño, planificación, control, intervención y mantenimiento en el ámbito de la conservación del patrimonio histórico "PETROBIM"". En: *Congreso Euro-Americano REHABEND 2016, Universidad de Cantabria*.
- ARROYO OHORI, K., BILJECKI, F., DIAKITÉ, A., KRIJNEN, T., LEDOUX, H., STOTER, J. (2017). "Towards an integration of GIS and BIM data: what are the geometric and topological issues?". En: *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, IV-4/W5*, 1–8.
- BAIK, A., YAAGOUBI, R., BOEHM, J. (2015). "Integration of Jeddah Historical BIM and 3D GIS for documentation and restoration of historical monument". En: *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. 25th International CIPA Symposium 2015, XL-5/W7*, 29–34.
- BANFI, F. (2019). "The integration of a scan-To-hbim process in bim application: The development of an add-in to guide users in autodesk revit". En: *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W11*, 141–148.
- BARAZZETTI, L., BANFI, F., BRUMANA, R., ORENI, D., PREVITALI, M., RONCORONI, F. (2015). "HBIM and augmented information: towards a wider user community of image and range-based reconstructions". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-5/W7*, Taipei, Taiwan, 35–42.
- CENTOFANTI, M., CONTINENZA, R., BRUSAPORCI, S., TRIZIO, I. (2012). "The architectural information system SIARCH3D-UNIVAQ for analysis and preservation of architectural heritage". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII-5*, 9–14.
- CHONG, H. Y., WONG, J. S., WANG, X. (2014). "An explanatory case study on cloud computing applications in the built environment". *Automation in Construction*, 44, 152–162.
- CONTINENZA, R., REDI, F., SAVINI, F., TATA, A., TRIZIO, I. (2018). "HBIM for the Archaeology of Standing Buildings: Case Study of the Church of San Cipriano in Castelveccchio Calvisio (L'Aquila, Italy)". P. Fogliaroni, A. Ballatore, & E. Clementini (Eds.), En: *Proceedings of Workshops and Posters at the 13th International Conference on Spatial Information Theory (COSIT 2017)*. Cham: Springer International Publishing. 315–323.
- DE LUCA, L., BUSARAYAT, C., STEFANI, C., RENAUDIN, N., FLORENZANO, M., VÉRON, P. (2010). "An iconography-based modeling approach for the spatio-temporal analysis of architectural heritage". En: *SMI 2010 - International Conference on Shape Modeling and Applications, Proceedings*, 78–89.
- DE LUCA, L., BUSAYARAT, C., STEFANI, C., VÉRON, P., FLORENZANO, M. (2011). "A semantic-based platform for the digital analysis of architectural heritage". En: *Computers & Graphics*, 35(2), 227–241.
- DIARA, F., RINAUDO, F. (2018). "Open source HBIM for cultural heritage: A project proposal". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2*, 303–309.
- DORE, C., MURPHY, M. (2012). "Integration of HBIM and 3D GIS for Digital Heritage Modelling". En: *Proceedings of The Digital Documentation*, Edinburgh, Scotland.
- DORE, C., MURPHY, M., MCCARTHY, M., CASIDY, C., DIRIX, E. (2015). "Structural Simulations and Conservation Analysis -Historic Building Information Model (HBIM)". En: *ISPRS-The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL-5/W4*, 351–357.

- DUDEK, I., BIAISE, J. Y. (2005). "From artefact representation to information visualisation: Genesis of informative modelling". *Computer Science*, 3638, 230–236.
- FASSI, F., ACHILLE, C., MANDELLI, A., RECHICHI, F., PARRI, S. (2015). "A new idea of BIM system for visualization, web sharing and using huge complex 3d models for facility management". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-5/W4, 359–366.
- FASSI, F., FREGONESE, L., ADAMI, A., RECHICHI, F. (2017). "BIM system for the conservation and preservation of the mosaics of San Marco in Venice". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W5, 229–236.
- IADANZA, E., MAIETTI, F., ZIRI, A.E., DI GIULIO, R., MEDICI, M., FERRARI, F., BONSMÀ, P., TURILLAZZI, B. (2019). "Semantic web technologies meet BIM for accessing and understanding cultural heritage". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 381–388.
- LOGOTHETIS, S., KARACHALIOU, E., VALARI, E., STYLIANIDIS, E. (2018). "Open source cloud-based technologies for BIM". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2, 607–614.
- MARSTON, S., LI, Z., BANDYOPADHYAY, S., ZHANG, J., GHALSASI, A. (2011). "Cloud computing-The business perspective". *Decision Support Systems*, 51(1), 176–189.
- MATRONE, F., COLUCCI, E., DE RUVO, V., LINGUA, A., SPANÒ, A. (2019). "HBIM in a semantic 3D GIS Database". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W11, 857–865.
- MURPHY, M., MCGOVERN, E., PAVÍA, S. (2007). "Parametric Vector Modelling of Laser and Image Surveys of 17th Century Classical Architecture in Dublin". En: *The 8th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST*
- MURPHY, M., MCGOVERN, E., PAVIA, S. (2013). "Historic Building Information Modelling - Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture". En: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 76, 89–102.
- NIETO JULIÁN, J. E., & MOYANO CAMPOS, J. J. (2014). "El Estudio Paramental en el Modelo de Información del Edificio Histórico o "Proyecto HBIM". En: *Virtual Archaeology Review*, 5(11), 73–85.
- NIETO JULIÁN, J.E., MOYANO CAMPOS, J.J., RICO DELGADO, F., ANTÓN GARCÍA, D. (2016). "Management of built heritage via HBIM Project: A case of study of flooring and tiling". *Virtual Archaeology Review*, 7(14), 1-12.
- NOARDO, F. (2018). "Architectural heritage semantic 3D documentation in multi-scale standard maps". En: *Journal of Cultural Heritage*, 32, 156–165.
- ORENI, D., BRUMANA, R., DELLA TORRE, S., BANFI, F., & PREVITALI, M. (2014). "Survey turned into HBIM: the restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila)". En: *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(5), 267-273.
- QUATTRINI, R., PIERDICCA, R., MORBIDONI, C., MALINVERNI, E.S. (2017). "Conservation-oriented HBIM. The bimexplorer web tool". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-5/W1, 275–281.
- RECHICHI, F., MANDELLI, A., ACHILLE, C., FASSI, F. (2016). "Sharing high-resolution models and information on web: the web module of bim3dsg system". En: *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B5, 703-710.
- SAN JOSÉ-ALONSO, J. I., FINAT, J., PÉREZ-MONEO, J. D., FERNÁNDEZ MARTÍN, J. J., MARTÍNEZ RUBIO, J. (2009). "Information and knowledge systems for integrated models in cultural heritage". En: *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Proceedings of the 3rd ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2009, XXXVIII-5/*
- SAYGI, G., REMONDINO, F. (2013). "Management of Architectural Heritage Information in BIM and GIS: State-of-the-Art and Future Perspectives". En: *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2(4), 695–713.
- STANGA, C., SPINELLI, C., BRUMANA, R., ORENI, D., VALENTE, R., BANFI, F. (2017). "A N-D virtual notebook about the Basilica os S. Ambrogio in Milan: Information modeling for the coommunication of historical phases substraction process". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W5, 653–660.
- TOMMASI, C., FIORILLO, F., JIMÉNEZ FERNÁNDEZ-PALACIOS, B., ACHILLE, C. (2019). "Access and web-sharing of 3D digital documentation of environmental and architectural heritage". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W9, 707–714.
- VACCA, G., QUAQUERO, E., PILI, D., BRANDOLINI, M. (2018). "GIS-HBIM integration for the management of historical buildings". En: *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2, 1129–1135.

YANG, X., GRUSSENMEYER, P., KOEHL, M., MACHER, H., MURTIYOSO, A., LANDES, T. (2020). "Review of built heritage modelling: Integration of HBIM and other information techniques". En: *Journal of Cultural Heritage*, 46, 350–360.



AGILE BIM Y SU INCORPORACIÓN EN EL CURRÍCULUM UNIVERSITARIO

Liébana Carrasco, Óscar^a; Delgado Vendrell, David^b y Liébana Carrasco, César^c; ^aDirector Máster Internacional BIM Management ZIGURAT, Profesor MPM EAE Bussiness School - oscar.liebana@zigurat.education, ^bCEO DDV openBIM Solutions – daviddelven@ddv.cat ^c Profesor MPM EAE Bussiness School - cesar.liebana@campus.eae.es

Abstract

Current construction projects tend to use frameworks in complex environments, with more variable scopes and less clear requirements, and more complex technology to solve them. Therefore, we use Agile management systems, which are capable of adapting the work of the teams to these environments as a fast and flexible response to succeeding. Besides, the digital transformation of the sector is a game-changer for all known processes, mainly due to the implementation of the BIM methodology into the whole asset lifecycle. This study includes two successful pioneering examples in the university that include the Agile and Scrum frameworks in the management of successful projects, with multidisciplinary and collaborative project-based learning, extracting a proposal for addition including principles already evaluated in previous studies. As it happened a few years ago with the emergence of the BIM methodology within the sector, it is necessary to bring these knowledge frameworks into the curriculum sector qualifications, enabling its transversal integration, with the lack of major changes in teaching plans. This will allow the involvement of professionals educated in Agile environments and enabling to speed up the digital transformation of this industry.

Keywords: Agile, Management, Projects, Scrum, Curriculum, AECO.

Resumen

En los proyectos actuales de construcción se tiende a utilizar marcos de trabajo en entornos complejos, con alcances más variables, requisitos menos claros y tecnología más compleja. Por esta razón, recurrimos a la gestión Agile, capaz de adaptar el trabajo de los equipos a estos entornos como respuesta rápida y flexible para tener éxito. La transformación digital del sector está modificando los procesos conocidos por la implementación de la metodología BIM en todo el ciclo de vida de los activos. Este estudio recoge dos ejemplos de éxito pioneros en la universidad que incluyen Agile y el marco de trabajo Scrum, desde el punto de vista de la metodología BIM y de la gestión de proyectos, con aprendizaje basado en proyectos multidisciplinares y colaborativos, extrayendo una propuesta de incorporación con principios ya evaluados en anteriores estudios. Como ocurrió hace unos años en el origen de BIM en el sector, es necesario que el conocimiento de estos marcos de trabajo se incorpore en los currículums de las titulaciones del sector, siendo más sencilla su integración transversal, sin necesidad de grandes cambios en planes docentes. Esto permitirá incorporar profesionales educados en entornos Agile y que aceleren la transformación digital del sector.

Palabras clave: Agile, Gestión, Proyectos, Scrum, Curriculum, AECO.

Introducción

Los métodos de gestión de proyectos se están adaptando en respuesta a las nuevas tecnologías y a las cada vez más complejas presiones económicas, *Agile* no es el “fin del juego” de la gestión, sino parte del viaje evolutivo de la gestión de proyectos (McKenna, 2013). En esta comunicación se pretende hacer una revisión de fundamentos *Agile*, cómo aparecen en la industria del desarrollo de software y cómo poco a poco se están incorporando a la gestión del resto de industrias basadas en proyectos.

Posteriormente, se revisarán casos de estudio y su situación en la construcción, una de las industrias con una incorporación más lenta a la transformación digital, y cómo el protagonismo BIM en la Construcción Digital está suponiendo la aceleración necesaria para la integración de metodologías ágiles y gestión híbrida de proyectos.

De esta incorporación a la construcción son totalmente ajenos los currículums universitarios, en los que existen ejemplos en titulaciones de informática, matemáticas y varios manifiestos en educación, y aunque existen aplicaciones de Scrum en educación, no parece que se vaya a integrar a medio plazo. En esta comunicación se explican dos casos de éxito desde el punto de vista de la gestión de proyectos y desde la gestión BIM, que podrían ayudar como referencias en las titulaciones relacionadas con el sector AECO (*Architecture, Engineering, Construction and Operation*). A partir de los puntos más acertados en ambos casos y de las buenas prácticas de las referencias estudiadas, se pretende desarrollar una propuesta de incorporación a los planes de estudio actuales.

1. Gestión *Agile*

1.1. Proyectos en entornos complejos

La gestión de proyectos de la construcción actual, en plena transformación digital, en una avanzada implementación BIM, y como ya ocurre en otras industrias más desarrolladas, se tiende a utilizar marcos de trabajo en entornos complejos y recurrimos a metodologías o sistemas ágiles, que son capaces de adaptar el trabajo de los equipos a estos entornos como respuesta rápida y flexible para tener éxito. En entornos complejos (Stacey, 1996), los requisitos no están claros y los métodos para resolverlos no se conocen, se necesita mayor creatividad y las metodologías ágiles son necesarias, permitiendo probar y aprender de los resultados a corto plazo.

1.2. Manifiesto *Agile*

En el Manifiesto *Agile* (Beck et al., 2001) (Fowler y Highsmith, 2001), profesionales del software fueron convocados para discutir una alternativa a metodologías más formales y rígidas, que no estaban funcionando en el desarrollo de software y se basaba en cuatro valores en contraposición a lo existente: los individuos y su interacción por encima de los procesos; el producto que funciona por encima de la documentación; colaboración con el cliente por encima de la negociación contractual; y respuesta al cambio por encima del seguimiento del Plan. Ese Manifiesto marca doce principios que hoy en día se pueden trasladar a cualquier industria que se desenvuelva en entornos complejos, como la entrega temprana y continua de valor, requisitos cambiantes como ventaja, los equipos motivados, de excelencia y auto-organizados de ritmo constante y reflexivos, donde negocio y desarrollo trabajan juntos, y el progreso se mide por el producto que funciona.

1.3. Scrum, Kanban y Lean

Entre los marcos de trabajo ágiles más utilizados en la gestión de proyectos de la construcción está Scrum, que se centra en el trabajo en un equipo autogestionado y multidisciplinar que se adapta para resolver problemas complejos; otro es Kanban, que se concentra en reducir plazos de entrega y la cantidad de trabajo en curso; y el tercer marco más conocido es Lean, que se centra en la eliminación continua de

desperdicios. Aunque existen más, son los marcos más utilizados en construcción y frecuentemente se mezclan entre ellos complementándose con diferentes enfoques y prácticas, dado que comparten los mismos principios *Agile*.

El concepto de Scrum, fue definido en los años 80 (Nonaka y Takeuchi, 1986) en empresas de manufactura tecnológica, como una nueva forma de trabajo en equipo, pero hoy en día es el más utilizado por su facilidad de adopción a proyectos con requisitos inestables que requieren diligencia y flexibilidad. Este marco de trabajo ligero es deliberadamente incompleto, solo define las partes necesarias para implementar la teoría con unas reglas que guían las relaciones e interacciones de las personas. Se basan en la inteligencia del equipo y en ese marco se pueden emplear diversos procesos, técnicas y métodos que lo mejoren. Según su guía (Schwaber y Sutherland, 2020) se basa en el empirismo, donde el conocimiento proviene de la experiencia y lo observado, y también en el pensamiento Lean, que reduce los residuos y se centra en lo esencial. Scrum emplea un enfoque iterativo e incremental para optimizar la previsibilidad y controlar el riesgo. Scrum combina cuatro eventos formales para la inspección y adaptación dentro de un evento contenedor, el Sprint como base de trabajo, implementando los tres pilares empíricos: transparencia, inspección y adaptación. El equipo Scrum involucra a grupos de personas que colectivamente tienen todas las habilidades y experiencia para hacer el trabajo y compartir o adquirir tales habilidades según sea necesario. Los miembros del equipo de Scrum se respetan mutuamente por ser personas capaces e independientes, y son respetados como tales por las personas con las que trabajan, tienen el valor de hacer lo correcto y de trabajar en problemas complejos. Los cinco valores Scrum son “Compromiso, Enfoque, Apertura, Respeto y Coraje”.

2. Agile en la Construcción

En una encuesta para una tesis en Suecia (Ekström y Pettersson, 2016) implicados en el sector de la construcción concluyen que sus proyectos no son tan rígidos, aunque predomina la cultura del “así es como se ha hecho siempre” y con una gran presión de plazo. Aunque no ven una completa incorporación *Agile*, sí comparten el enfoque de mejora continua, la flexibilidad y la comunicación de los equipos, siempre con los procesos específicos internos afectados por decisiones políticas.

Desde el origen, el *Agile Project Management* (APM) enfocado a la construcción (Owen et al., 2006), ha ofrecido claros beneficios a nivel de organización, especialmente en las etapas de diseño, encontrando mayores obstáculos en la etapa de construcción. En un caso de estudio sobre doce pequeñas y medianas empresas de construcción (Ribeiro y Fernandes, 2010), se puede concluir que en una industria basada en proyectos, las personas y el conocimiento son los elementos más críticos para mejorar el desempeño empresarial y, mejorar la flexibilidad y adaptabilidad a los mercados turbulentos actuales, encontrando una interesante gama de métodos ágiles que pueden ser implementados.

En un caso de estudio sobre implementación Scrum en una constructora suiza, altamente digitalizada, uso BIM, prefabricación y automatización (Streule et al., 2016), se muestra la potencialidad en diseño y planificación, identificando los beneficios tangibles de la implementación y unas directrices para implementarlo en otras fases de construcción. En otra implementación *Agile Design Management* (ADM), sobre cinco proyectos (Demir y Thais, 2016) se alcanzó una mayor motivación del equipo a través de la transparencia y de una mayor responsabilidad, especialmente entre los diseñadores más jóvenes, reduciendo la carga de trabajo. Anteriormente se había aplicado Scrum a los equipos de instalaciones de producción y logística, pero se ha comprobado su eficacia en diseño y especialmente en proyectos en *fast-track*, con fuerte vínculo entre el diseño y la ejecución.

3. Agile y BIM

Building Information Modelling (BIM) y *Agile* comparten la necesidad de comunicación del desarrollo de unos productos con unas muy altas expectativas por parte del cliente o contratante en cuanto a los resultados,

especialmente de la fase de diseño (etapa inicial de la fase de desarrollo según UNE-EN ISO 19650 (AENOR, 2019).

BIM puede definirse como el uso de una representación digital compartida (modelo de información) de un activo construido para facilitar los procesos de diseño, construcción y operación, proporcionando una base confiable para la toma de decisiones. Esta metodología define claramente la relación entre agentes, diferenciando las partes contratantes (cliente) y contratada (equipo ejecutor). La primera es la encargada de definir de forma inequívoca los requisitos de información, en definitiva, las necesidades, lo que se espera. Este es uno de los primeros puntos de conexión de BIM con las premisas de *Agile*: orientado a necesidades del cliente. Tradicionalmente, el sector de la construcción, con el despliegue de enfoques exclusivamente secuenciales, ha confiado casi exclusivamente en modalidades de desarrollo basadas en planificaciones predictivas, con alcances fijados, donde el cumplimiento de las expectativas de la parte contratante queda obviado por el propio progreso de la actividad en tiempo y recursos.

El siguiente diagrama (Fig.1) nos muestra las correspondencias conceptuales entre ambos enfoques:

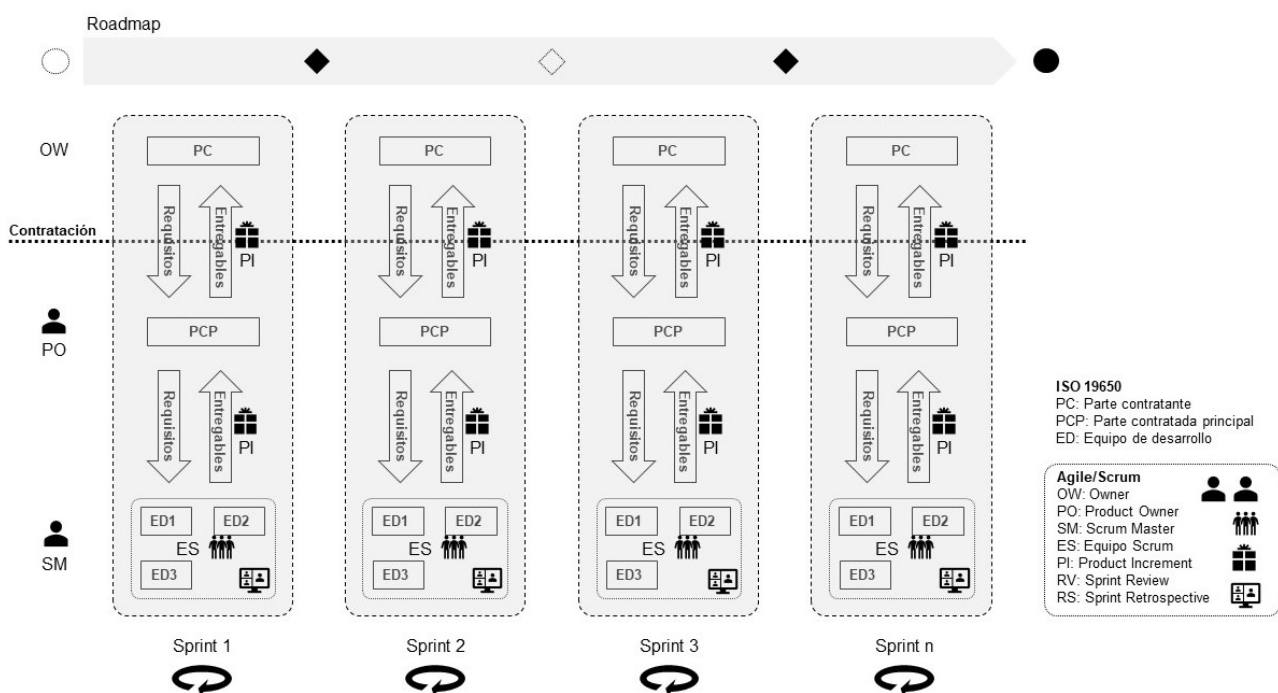


Fig. 1 Correspondencia entre conceptos de la ISO 19650 y los de Scrum (Agile)

A pesar de los beneficios inherentes a BIM que se están evidenciando progresivamente en distintas adopciones en los últimos años (Kassem y Succar, 2016), existen potenciales escollos en aspectos como la coordinación y la comunicación entre las disciplinas que no se gestionan adecuadamente, lo que puede finalizar en reelaboración de tareas e ineficiencias en las entregas esperadas (Kumar y McArthur, 2015). Esto destaca en las fases de diseño de activos, donde distintas disciplinas deben coordinarse para dar respuesta a un conjunto de requisitos en relación al proyecto compartido. Aspectos como el marco contractual se erigen como uno de los factores clave en la aparición de ineficiencias en la colaboración.

Conscientes de dichos obstáculos, en mercados con índices de madurez altos en la adopción BIM tales como el noruego (Hauan, 2018), existen iniciativas como *Samtidig Plan og Prosjektering* (SPP), que tienen como objetivo la exploración de nuevos procesos metodológicos, tales como la aplicación de la ingeniería concurrente (Pennel y Winner, 1988) en combinación con tecnologías asociadas a los procesos desplegados por BIM. Considerando el marco de colaboración digital que BIM conlleva, la concurrencia en tanto que extrema en sus formas destaca por su reactividad ante el cambio, transaccionalidad en el intercambio de información e inevitabilidad ante nuevas solicitudes.

Agile va un paso más allá aportando tres aspectos clave que optimizan la aplicación de BIM: proactividad, intercambios relacionales y un marco más idóneo para la innovación. En el primero, y teniendo en cuenta el modelo de restricciones del “Triángulo de Hierro” (Barnes, 1988), fijando las variables tiempo y recursos, nos queda liberado el alcance, siendo esta condición la que abre la puerta a la proactividad de los equipos multidisciplinares. Ahí las capacidades BIM en simulación optimizan el proceso a muy alto nivel, minimizando el fallo a las expectativas. Y es en los intercambios de información relacionales donde la bidireccionalidad comunicativa entre clientes y equipos de desarrollo garantiza una mayor cobertura de expectativas y cualquier cambio en los alcances. La bidireccionalidad entre las partes tiene como vehículo el llamado Incremento de Producto de Scrum. El desarrollo incremental de los entregables BIM a cargo de las partes contratadas según ISO 19650 da respuesta a los cambios sufridos tras cada una de las entregas al final de los distintos ciclos previamente definidos en el *Sprint Planning*.

La regularidad y acotada dimensión temporal de los *Time Boxes* (Schultz, 1988) disminuye las desviaciones en los resultados esperados. Esta característica aplicada a BIM confiere a los equipos de desarrollo un marco óptimo para la innovación, como tercer aspecto clave. La restricción en recursos y la exigencia en requisitos empujan a los miembros a un uso extensivo de las ventajas existentes mediante la aplicación de los procesos, herramientas y comunicación bajo un entorno de alta digitalización como BIM.

4. **Agile en la educación universitaria**

Una extensa revisión de experiencias (Salza, 2019) se centra en la aplicabilidad *Agile* al aprendizaje activo y basado en proyectos (PBL), no sólo para ingeniería del software, sino en otras materias, utilizando también herramientas de la industria. En estas experiencias, los profesores se convierten en facilitadores, entrenadores e inspiradores para estudiantes. Los planes no son rígidos, sino que requieren flexibilidad para tener en cuenta la retroalimentación de los estudiantes y sus diferentes habilidades, intereses, dificultades y experiencias, con el objetivo de descubrir sus fortalezas.

En un estudio práctico de educación en tecnología entre EEUU y Australia (Dabey, 2011) se plantea que en la volatilidad actual en requisitos tecnológicos, los sistemas ágiles tienen un potencial igualmente útil en el ámbito educativo. En una revisión para educación en ingeniería y diseño de producto (Ovesen et al., 2011) se subraya la importancia de la mentalidad ágil y flexibilidad para que los estudiantes se adapten a la alta incertidumbre del mercado y para las competencias de comunicación interdisciplinaria. Diversos manifiestos *Agile* para enseñanza y aprendizaje (Krehbiel T. et al, 2017) (Kamat, 2012) (Royle y Nikolic, 2016), se centran en lo apropiado para trabajos en grupos y la relevancia de los valores *Agile*.

Existe una adaptación de Scrum a todas las formas de educación, EduScrum (Delhij, et al., 2015), con sus propias reglas del juego, como forma activa de colaboración, en la que estudiantes trabajan en equipo completando tareas a un ritmo fijo, planifican y hacen seguimiento de sus progresos, es el profesor que como entrenador o propietario de producto, determina las tareas. No hay sesiones teóricas y los equipos son auto-organizados, no se les dice cómo tienen que hacer las cosas, sólo lo que hay que conseguir. La dinámica es muy similar al Scrum original, con sus eventos, artefactos y algunos roles. El autor (Wijnands et al., 2019), concibe un marco simple, pero nada sencillo de crear, y que debe ajustarse según cada situación. De hecho, los creadores de Scrum evidenciaron que no sólo es aplicable al mundo del software y de los negocios (Sutherland, 2013), sino también a la educación, poniendo ejemplos como el de Holanda que dio lugar a EduScrum. En esta adaptación también se ha estudiado la inclusión del *Lean Teaching and Learning* (LTL) (Dinis-Carvalho, 2017), dos enfoques en los que la mayor responsabilidad del aprendizaje se transfiere del profesor al alumno. Existen ejemplos de aplicación en cursos de ingeniería matemática (Pinto, 2017) con mejoras en la capacidad de autonomía y responsabilidad en el proceso de aprendizaje.

También se ha estudiado como transformación de profesionales docentes del futuro en nuevos entornos (Ryazanova, 2020), con un modelo orientado al estudiante que permitirá integrar más rápidamente nuevos programas, pero aunque hay mayor motivación de estudiantes, no es siempre igual la percepción de profesores (Ferreira, 2016), que no pueden valorar eficazmente la influencia en exámenes, dado que es una valoración individual, en la que para EduScrum no es un objetivo principal. En un estudio reciente entre

constructoras australianas (Vazquez-Serra, 2021), apenas el 40% de los responsables encuestados considera importante incluir conocimientos *Agile* o *Lean* en las universidades, curiosamente califican de muy importante (más del 90%) cualidades personales como la comunicación o la resiliencia, indicativo de que la industria no es consciente de que este es uno de los valores *Agile* principales, no sólo como atributo personal, sino entre los miembros del equipo, interesados y el cliente en el proyecto.

5. Casos de Estudio

5.1. Implementación Agile en Máster de Gestión de proyectos: enfoque híbrido

En esta asignatura del Máster oficial de Gestión de Proyectos del EAE Business School (EAE, 2021), se estudia qué es la gestión del alcance del proyecto y qué requisitos exige tanto a nivel de dirección como de organización. Se trabaja la creación de una Estructura Desglose del Trabajo (EDT) que se adecúe a cada momento, además del control del alcance. En la segunda parte se analizan las técnicas y herramientas de gestión de la planificación de un proyecto. La base de la metodología utilizada era tradicionalmente el aprendizaje con estudio de casos, además de un Trabajo Fin de Máster (TFM) en grupo sobre un proyecto.

La base de la formación incluye la preparación de la certificación PMI, sin duda la de mayor prestigio internacional durante más de 30 años, con la guía del PMBOK (PMI, 2017a), reconocida como el estándar global para la dirección de proyectos, basada en procesos que proporciona un contexto para prácticamente todos los demás estándares y guías prácticas. En su última edición, pone énfasis en la diferencia entre ciclo de vida predictivo y adaptativo (iterativo o incremental), haciendo referencia a las metodologías ágiles a lo largo de toda la guía. La guía práctica *Agile* de PMI (PMI, 2017b), ha sido un gran paso para el mundo de la gestión de proyectos más allá del desarrollo de software, y es un gran reconocimiento de la importancia que *Agile* está tomando en proyectos y empresas. Según su introducción, la guía es para equipos de proyectos en un término medio entre los enfoques predictivos y *Agile*, que están tratando de abordar la innovación y complejidad de manera rápida, y que tienen un enfoque prioritario de la mejora del equipo. De hecho, incluye como referencia la edificación como un sector perfecto para expandir estas prácticas. Propone la posibilidad de utilizar ciclos de vida híbridos, con ciclos predictivos de proyecto y ciclos *Agile* para los equipos de desarrollo que construyen los productos (Fig.2).

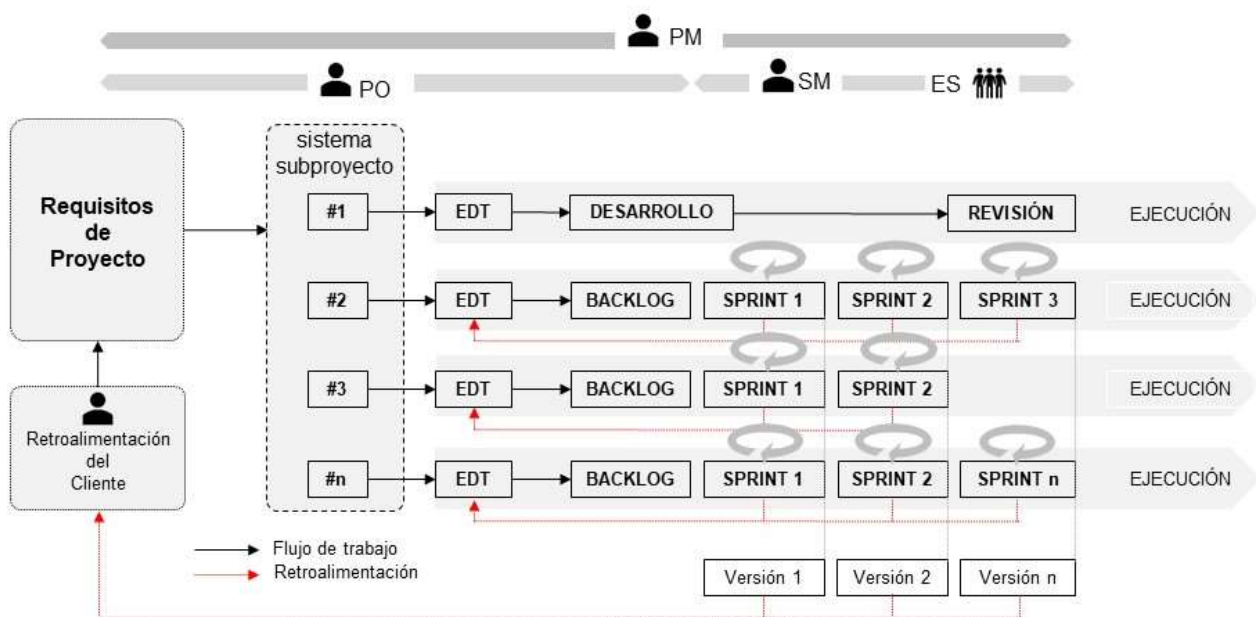


Fig. 2 Gestión de proyectos híbridos, basado en "Hybrid PM Manifiesto" (Binfire, 2021)

En esta asignatura desde el curso 2018/19 se ha ido incorporando el enfoque adaptativo, prácticas *Agile*, y específicamente Scrum, de manera incremental, hasta que la proporción es del 50% respecto al tradicional enfoque predictivo. Poco a poco, la metodología de aprendizaje ha pasado de ser de estudios de casos principalmente, hacía un mayor peso en PBL, y los alumnos refieren todas las actividades a su proyecto de TFM. En los últimos resultados de los proyectos se pueden encontrar como ambos enfoques se utilizan naturalmente sin presentar contradicciones, los alumnos tienden a presentar proyectos con gestión híbrida, y el porcentaje de utilización es tremendamente variable. Proyectos más innovadores, de desarrollos rápidos de producto tienen un enfoque predominantemente *Agile*; proyectos de construcción, manufactura o consultoría tienden a enfoques más predictivos, pero en todos los casos incorporan un porcentaje adaptativo que se integra de manera natural en proyectos de mayor duración de enfoque predictivo. En las encuestas, los alumnos son conscientes de la importancia de la incorporación, pero entienden la trascendencia de estudiar su aplicación según el sector, la organización y el proyecto. Pero el punto más importante es cómo aprecian positivamente el enfoque novedoso de la prioridad del cambio de la mentalidad de los equipos, de los líderes y los entornos.

Esta natural incorporación de metodologías híbridas está en consonancia con la aparición en estudios de proyectos de infraestructuras (Bushuiev y Kozir, 2020) y en la inclusión del *Hybrid Agile Project Management* (HAPM) de la Industria aeroespacial (Parvez, 2019). En la mayoría de estudios, los resultados revelan que los enfoques híbridos son fundamentales para empresas con distintas culturas de la organización (Copola et al., 2020). El futuro dirá si es un paso obligatorio en esta transición o será una combinación de enfoques de gestión de proyectos, obligatoria en el futuro del sector de la construcción.

5.2. Implementación en Máster de Gestión BIM: enfoque Agile

Los programas formativos de Máster en Metodología BIM (Zigurat, 2019) incorporan en su concepción, desde el nuevo diseño de 2019 en adelante, gran parte de los preceptos del enfoque *Agile*. Su estructura se inspira en parte por PBL, en ideas de programas de la ETSA del Vallès (ETSAV, 1994), basándose en métodos como el *Integrated Project Delivery* (IPD) y el marco de trabajo *Agile*.

La forma de aplicarlo se estructura en dos partes: inclusión de unidad docente Gestión *Agile* para el diseño dentro del módulo sobre *openBIM* y Práctica Colaborativa. La unidad tiene el objetivo de proporcionar comprensión de cómo los procesos de ingeniería concurrentes pueden ayudar a tener una respuesta adecuada a los cambios en los requisitos que se dan durante la fase de diseño con BIM. Se abordan en ella los conceptos básicos *Agile*, introduciendo Scrum y Kanban. Se persigue que los estudiantes comprendan y apliquen cómo *Agile* combinado con los flujos de trabajo BIM, en lugar de un sistema basado en reglas estrictas para desarrollar sus diseños, se convierte en guía de soporte y método alternativo de gestión de proyectos para sus futuros trabajos.

La segunda parte es en sí el núcleo vertebrador del aprendizaje durante todo el programa, el TFM. Se trata de una actividad que se activa justo tras la unidad docente sobre *Agile*. El propósito del TFM es, por un lado, demostrar cómo un flujo de trabajo *openBIM* puede servir de base para el desarrollo de las actividades de coordinación en diseño y cómo mejora el desarrollo del proyecto en comparación con los métodos tradicionales. Por otro lado, este ejercicio se convierte en un escenario adecuado para simular una entrega integrada del proyecto a lo largo del ciclo de vida del activo, permitiendo que el papel del propietario, en este caso rol adoptado por la figura del mentor (profesor asignado), interactúe con todo el equipo desde el principio, intercambiando información y retroalimentación en cada ciclo. Para lograr ese objetivo, el participante afronta la gestión de este proyecto utilizando metodologías *Agile*, planificando sus iteraciones de forma coordinada con la hoja de ruta e hitos fijados por el calendario del TFM.

Cada uno de los grupos se configura con un mínimo de 5 participantes (Fig.3), los cuales adoptan distintos roles o funciones en relación con la fase en la que participan. Su configuración debe garantizar la representación de las distintas disciplinas y también el uso herramientas de autoría BIM diferenciadas, que simulen mejor la realidad no dependiente de aplicaciones de software y un marco *openBIM*. Con el objetivo de crear una estrategia claramente orientada al cliente (el Mentor), los participantes establecen sus grupos

distinguiendo dos áreas principales: Gestión y Desarrollo del Proyecto. Debido al número limitado de participantes, de los distintos roles propuestos, dos de ellos deben combinarse en una persona: Propietario del producto (PO) y el *BIM Manager*, por un lado, y el *Scrum Master* (SC) y Coordinador BIM en la otra. El resto del equipo de desarrollo lo conforman los gestores BIM según disciplina (arquitectura, estructura, instalaciones). El participante adopta la responsabilidad por cada función según lo designado en el Plan de Ejecución BIM (BEP).

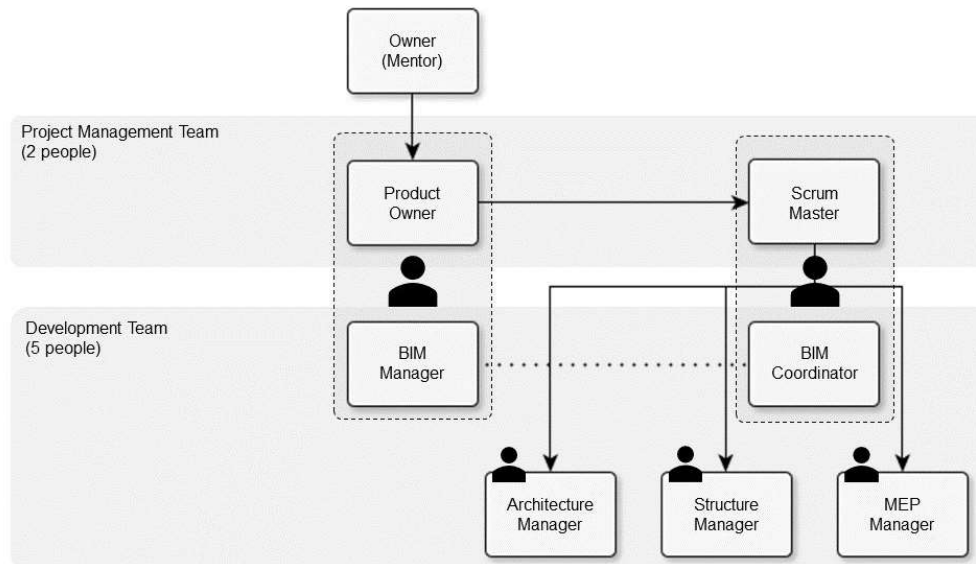


Fig. 3 Distribución de roles Scrum en los equipos de 5 personas del TFM

Como no se trata de un programa formativo enfocado al aprendizaje del diseño disciplinar sino la gestión del mismo y la coordinación de disciplinas, se plantea a los estudiantes partir de una propuesta conceptual de edificio ya definida. El equipo de desarrollo debe encargarse del modelado de información de las distintas disciplinas, simulando las distintas fases del ciclo de vida de un activo de Edificación.

Las primeras tareas, llevadas a cabo por quien asuma los roles de *Product Owner* (PO) y de *BIM Manager*, se corresponden por un lado a: una propuesta de *Sprint Planning*, validada por el cliente (su Mentor), con reuniones periódicas de seguimiento y entrega. Debe incluir además una propuesta de aplicación Scrum del equipo de desarrollo donde van a definir el formato de sus reuniones *Sprint Review* y *Retrospective* así como qué canales y modalidad utilizar para las comunicaciones diarias (*Daily Scrum*), siendo destacable la dificultad de los distintos husos horarios de sus integrantes. Por otro lado, y desde una perspectiva de *BIM Management*, pero también de aprendizaje en cuanto a la definición de necesidades, el alumno debe desarrollar una primera propuesta de Requisitos de Información de Intercambio (EIR), que debe aportar la “Parte Contratante”, pero que aquí se le pide al alumno que la redacte. Esa misma actividad sirve de base para la propia respuesta que como equipo de desarrollo deben dar al cliente mediante la redacción de una primera propuesta de BEP acorde al EIR. El planteamiento *Agile* del TFM permite un desarrollo progresivo de estos documentos desde ambas perspectivas, aplicando el aspecto relacional de la práctica *Agile*, donde la bidireccionalidad de la comunicación grupo-mentor garantiza una mayor tasa de éxito en la definición de los modelos de información en tanto que entregables al final de cada iteración.

Otro aspecto clave en el enfoque incremental a través del enriquecimiento continuo del EIR y su consecuente respuesta actualizando el BEP. Esto sucede de forma gradual, aumentando la granularidad del tipo de requisito y representando una simulación de lo que ocurre en marcos de trabajo *Agile*, donde el cliente introduce nuevas necesidades incorporadas por el PO que deben añadirse a las iteraciones ya planificadas previamente. Además, los miembros del equipo de desarrollo sustituyen el rol desarrollado en la fase de diseño pasando a adoptar otros roles de la industria como subcontratas o constructores de distintos sistemas constructivos a instalar en el edificio.

La complejidad de un programa como este es un reto proporcional al que los estudiantes se encuentran en el mercado que esta industria les ofrece a nivel global. La implementación *Agile*, novedosa para muchos alumnos, requiere en estadios más maduros la aplicación de métricas Scrum, enfocadas a monitorizar la consecución de las expectativas de cliente, los rendimientos y calidad productora del equipo y reforzando la idea de que *Agile* no es excluyente de enfoques secuenciales sino complementario, ayudando a poner el foco en la calidad del producto desde una óptica *client-oriented*.

6. Propuesta de incorporación

Esta propuesta se basa en los principios de éxito más frecuentes en las referencias estudiadas y en los resultados más valorados de los casos de estudio, como posible comienzo de implementación.

Valores de un manifiesto *Agile* en educación universitaria AECO:

- **Estudiantes, profesores y su interacción en proyectos** por encima de clases magistrales
- **Aplicaciones en proyectos reales** por encima de documentación extensa
- **Colaboración y capacidad** sobre logros y cumplimientos individuales
- **Respuesta al cambio y mejora continua** sobre prácticas existentes
- **Adaptabilidad y personalización** sobre métodos prescriptivos de enseñanza
- **Empleabilidad y conocimiento del mercado** sobre programas y calificaciones

Metodología de enseñanza:

- Metodología de aprendizaje basada en Proyectos (PBL)
- Roles Scrum con el profesor como cliente

Herramientas:

- De comunicación y trabajo basadas en la nube que permitan trazabilidad
- De modelado integradas en metodología BIM
- Con interoperabilidad en las diferentes disciplinas
- Con criterios *openBIM* y multiplataforma.
- En entorno colaborativo

Planificación:

- Desarrollo de Hoja de Ruta (*Roadmap*) del proyecto
- *Sprints* y criterios de comunicación con el cliente
- *Review* y Retrospectiva, revisión y rendimiento de los equipos al final de cada ciclo

7. Conclusiones

Según los casos de estudio recopilados, existen claros beneficios y parece imparable la incorporación de los valores *Agile* en la industria de la construcción. En un comienzo se están implementado con mayor éxito en la etapa de diseño, pero se puede ver cómo en la de construcción también existen casos de éxito basados en la incorporación de la construcción digital y metodología BIM.

La estrategia en comunicación y la coordinación entre disciplinas se convierte en el aspecto clave a optimizar en cualquier proceso de transformación digital de la construcción basada en BIM. Es ahí donde métodos *Agile* complementan a BIM, proporcionando un marco de trabajo optimizado para entornos de alta exigencia en los alcances y complejidad tecnológica, dando respuesta con mayor reactividad y eficacia a los requisitos del cliente.

Existen casos de estudio en la aplicación de *Agile* y Scrum en educación, especialmente en ingeniería de software, donde la base es el aprendizaje basado en proyectos, trabajo en grupos, flexible, dando mayor autonomía, responsabilidad y capacidad de adaptación a los estudiantes para los mercados actuales. Su incorporación, aumenta la motivación de estudiantes, pero en muchas ocasiones provoca resistencia en los claustros.

En el caso de estudio de gestión de proyectos, la incorporación de proyectos híbridos aporta una mayor riqueza a los TFM en grupo, motivación y colaboración entre estudiantes multidisciplinares, en consonancia con las necesidades de las empresas actuales. La incorporación de Scrum en el Máster de Gestión BIM, incluyendo al mentor como cliente, es ambicioso en la propuesta de valor del producto con foco en el cliente, ofreciendo herramientas innovadoras al grupo de estudiantes que permite un trabajo colaborativo e interdisciplinar que se ajusta perfectamente a la metodología BIM.

Como ya ocurrió hace unos años en el origen de BIM en el sector, en el que su incorporación al currículum universitario fue lenta, con diferentes tipos de implementación, pero que con el tiempo ha dado grandes frutos, es necesario que el conocimiento de estos marcos de trabajo se incorpore en los currículos de las titulaciones del sector, siendo más sencilla su integración transversal, sin necesidad de grandes cambios en planes docentes. Esto permitirá incorporar profesionales educados en entornos *Agile* y que aceleren la transformación digital del sector en un entorno BIM.

Referencias

- AENOR (2019). "Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM. Gestión de la información al utilizar BIM". Parte 2: Fase de desarrollo de los activos. UNE-EN ISO 19650-2:2019.
- BARNES, M. (1988). "Construction project management". *International Journal of Project Management*, 6(2), 69-79.
- BECK, K., et al. (2001). "Manifiesto por el Desarrollo ágil de Software", [Consulta: 28 de febrero de 2021] <https://agilemanifesto.org/iso/es/manifesto.html>
- BINFIRE (2021). "Hybrid Project Management Manifiesto". <<https://www.binfire.com/hybrid-project-management-manifesto/> > [Consulta: 19 de Abril de 2021]
- BUSHUIEV, D., KOZYR, B. (2020). "Hybrid Infrastructure project management methodologies" en *Innovative technologies and Scientific Solutions for Industries, 2020*, 1(11).
- COPOLA AZANHA, F., et al. (2020). "The Rol and Characteristics of Hybrid approaches to project Management in the development of technology-based products an services" en *Project Management Journal*, 2020.
- DABEY, B., PARKER, K. (2010). "Technology in education: An Agile Systems Approach" en *Proceedings of Informing Science & IT Education Conference (InSITE) 201*
- DELHIJ, A., et al. (2015). "The eduScrum guide. Versión en español 2020. [Consulta: 28 de febrero de 2021] <https://www.eduScrum.nl/img/Gui%CC%81a_de_eduScrum_Espan%CC%83ol_2.pdf>
- DEMIR, S.T., THEIS, P. (2016). "Agile Design Management. The application of Scrum in the design phase of construction projects." en *Proc. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.4 pp. 13-22*.
- DINIS-CARVALHO, J., et al. (2017). "Combining lean teaching and learning with eduScrum" en *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, (2017), 10(3-4):221.

- EAE Business School (2021). "Master Oficial en Project Management", <<https://www.eae.es/landing/master-project-management#>> [Consulta: 06 de marzo de 2021]
- EDUSCRUM, <<https://www.eduScrum.nl/es/>> [Consulta: 28 de febrero de 2021]
- EKSTRÖM A, PETTERSSON, E. (2016). "Agile project management in the design stage construction projects possibilities to apply agile methods department of real estate and construction management". Master Thesis. Royal Institute of technology department of real estate and construction management. Estocolmo, Suecia, 2016.
- ETSAV (1994). "Guía docente Año académico 1994/1995", UPC. <<https://etsav.upc.edu/ca/estudis-old/guia-docent/guies-docents-anys-anteriors/guia-docent-1994-1995/@@download/file/Guia%20docent%201994-1995.pdf>> [Consulta:18 de abril de 2021]
- FERREIRA, E., et al. (2016). "EduScrum, the empowerment of students in engineering education" en *Proceedings of the 12th International CDIO Conference, Turku University of Applied Sciences, Turku, Finland, June 12-16, 2016*.
- FOWLER, M., Y HIGHSMITH, J. (2001). The agile manifesto. *Software Development*, 9(8), 28-35.
- HAUAN, Ø. B. (2018). "Supporting Agile Processes within the Norwegian Infrastructure Industry - Integrating BIM-software with task and process management tools." *Master of Science in Engineering and ICT*. Norwegian University of Science and Technology Department of Mechanical and Industrial Engineering. 2018
- KAMAT, V. (2012). "Agile manifesto in higher education" en *Proceedings 2012 IEEE Fourth International Conference on Technology for Education*, 231-232
- KASSEM, M., SUCCAR, B. (2017). "Macro BIM Adoption: Comparative Market Analysis." *Automation in Construction* 81 (2017): 286–299.
- KREHBIEL, T., et al. (2017). "Agile Manifesto for Teaching and Learning" en *The journal of Effective Teaching*, (2017), 17(2), 90-111.
- KUMAR, S., MCARTHUR, J. (2015). "Streamlining Building Information Model Creation Using Agile Project Management". *Building Information Modelling (BIM) in Design, Construction and Operations*. 229-240, 2015.
- MCKENNA T, WHITTY SJ. (2013). "Agile is Not the End-Game of Project Management Methodologies" en *Proceedings of the Annual Project Management Australia Conference Incorporating the PMI Australia National Conference (PMOz), Melbourne, Australia, 17-18 September 2013*.
- NONAKA, I., & TAKEUCHI, H. (1986). "The new new product development game". *Harvard business review*, 64 (1), 137-146.
- OVESEN, N., et al. (2011). "Agile attitude: Review of Agile Methods" en *International Conference of engineering and product design education*, 8-9 Septiembre de 2011, City University, London, UK.
- OWEN, R., et al. (2006). "Is agile project management applicable to construction?" en *Proceedings IGLC-14, Julio 2006*, Santiago, Chile. IGLC, pp. 51-66.
- PINTO, E., et al. (2017). "EduScrum methodology in mathematical engineering education" en *INTED2017 Proceedings*.
- PMI Project Management Institute (2017). "PMBOK GUIDE: A guide to the project management body of knowledge". Sixth edition. Pennsylvania, 2017.
- PMI Project Management Institute, Agile Alliance (2017). "Agile Practice Guide". Pennsylvania, 2017.
- PARVEZ ALAM, M., TOPPUR, B. (2019). "Hybrid agile project management model for new product development in aerospace" en *International Journal of Operations and Quantitative Management*, 2019, 25(1).
- RIBEIRO, F., FERNANDES, M. (2010). "Agile project Management for Small and Medium Construction Firms: A case of study" en *Journal of Enterprise Information Management* 23(2):161-180. Lisboa. Portugal.
- RYAZANOVA, N., et al. (2020). "The potential of the Agile Technology application in University Education" en *Advances in Social Science, Education and Humanities Research, volume 507 Proceedings of the 7th International Conference on Education, Language, Art and Inter-cultural Communication (ICELAIC 2020)*
- SALZA, P., et al. (2019). "Agile Methodologies in Education: A review" en *Agile and Lean Concepts for Teaching and Learning: Bringing Methodologies from Industry to the Classroom*, book section 25-45.
- SCHWABER, K., y SUTHERLAND, J., (2020). "La guía SCRUM. La Guía Definitiva de Scrum: Las Reglas del Juego", Noviembre 2020.
- SCHULTZ, S. (1988). "Rapid Iterative Production Prototyping, approach in use at a Du Pont spin-off". Information Engineering Associates, 1988
- STACEY, R.D. (1996). "Complexity and Creativity in Organizations". Berrett-Koehler Publishers. Enero, 1996
- STREULE, T. et al. (2016). "Implementation of SCRUM un the Construction Industry" en *Procedia Engineering*, 164, (2016) 269-276. *Creative Construction Conference 2016, CCC 2016, 25-28 June 2016*.

SUTHERLAND, J., et al. (2013). "Scrum: The art of doing twice the work in half the time", New York, NY: Crown Business.

VAZQUEZ-SERRA, P., et al. (2021). "Construction project managers graduate agile competencies required to meet industry needs" en *ICSECM2019 Proceedings of the 10th International Conference on Structural Engineering and Construction Management*, 601-607.

WIJANDS, W. et al. (2019). "Transforming education with eduScrum" en *Agile and Lean Concepts for Teaching and Learning: Bringing Methodologies from Industry to the Classroom*, book section 95-115.

WINNER R.J., et al. (1988). "The role of concurrent engineering in weapons systems acquisition", IDA R-338, Institute for Defence Analyses, 1988.

ZIGURAT (2021). "Master Internacional BIM Management". Zigurat Global Institute of Technology, <<https://www.e-zigurat.com/es/master-bim-manager/>> [Consulta: 06 de marzo de 2021]



SAFE SCHOOL REOPENING DURING CORONAVIRUS PANDEMIC: A TOOL FOR SCHOOL MANAGERS BASED ON BIM AND CROWD SIMULATIONS

Seghezzi, Elena^a; Schievano, Marco^a, Pellegrini, Laura^a, Di Giuda, Giuseppe Martino^b y Tagliabue, Lavinia Chiara^c; ^aDepartment of Architecture, built environment and construction engineering, Politecnico di Milano, Italia - elena.seghezzi@polimi.it, marco.schievano@polimi.it, laura1.pellegrini@polimi.it; ^bDepartment of Management, Università di Torino, Italia - giuseppemartino.digiuda@unito.it; ^cDepartment of Computer Science, Università di Torino, Italia - lavinia.tagliabue@unito.it

Abstract

School closures were among the first measure to face the epidemic of coronavirus disease in 2020. Negative effects related to school closures (in social, cultural, educational, and health-related terms) suggest to investigate re-opening strategies implementing safety measures. This paper presents a tool to help school managers in guaranteeing a safe and quick reopening, based on minimal inputs and able to support the evaluation of rapidly changing situations. The proposed approach covers three aspects; the first to verify capacity of spaces, based on the definition of a grid in a BIM model thanks to Dynamo. The second phase provided a dynamic analysis of scholars flows based on crowd simulations, and resulted in density maps highlighting critical moments in the school timetable. Crowd simulations allowed the setting of parameters related to speed and times depending on space layouts and features of the buildings. The third phase is related to ventilation rates required depending on rooms and windows dimensions and features. This approach was tested on a case study building thanks to a BIM model, and was later synthesized and resulting in an online tool adopted from the schools of Regione Piemonte to evaluate school spaces and simulate flows of entrance and exits.

Keywords: crowd simulation, school safety, coronavirus disease, space management, ventilation.

Resumen

El cierre de escuelas fue una de las primeras medidas para hacer frente a la epidemia de coronavirus en 2020. Los efectos negativos del cierre de escuelas (en términos sociales, culturales, educativos y sanitarios) sugieren investigar estrategias de reapertura que implementen medidas de seguridad. Este artículo presenta una herramienta para ayudar a los gestores de escuelas a una reapertura segura y rápida, basada en datos mínimos. El enfoque propuesto abarca tres aspectos; la verificación de capacidad de espacios, basado en un modelo BIM gracias a Dynamo. La segunda fase proporcionó un análisis dinámico de los flujos de académicos basados en crowd simulation, y dio lugar a mapas de densidad que destacaban los momentos críticos del horario. Crowd simulation permitió establecer parámetros de velocidad y tiempos en función de los espacios y las características de los edificios. La tercera fase está relacionada con las tasas de ventilación necesarias en función de las dimensiones y características de las salas y ventanas. Este enfoque se probó en un edificio gracias al modelo BIM, y dio lugar a una herramienta en línea adoptada en las escuelas de la Regione Piemonte para evaluar los espacios escolares y simular los flujos de entrada y salida.

Palabras clave: crowd simulation, seguridad escolar, coronavirus, gestión del espacio, ventilación.

Introduction

When the pandemic from COVID-19 diffusion erupted, schools were the first buildings to undergo closures. The effects of those closures on communities are relevant, and have just started to be evaluated: it will take time to properly understand what signs they have left. Research interest towards the pandemic has been understandably increasing since spring 2020, including all research sectors and not limiting to health-related aspects. In architecture and construction sector, the main areas of investigation are linked to urban design, cities and urban health, proposing general guidelines or considerations focusing on public spaces and city scale (Capolongo et al., 2020; Cristina et al., 2020), analysing the virus spread in indoor environments and evaluating potential solutions (Dietz et al., 2020; Megahed & Ghoneim, 2020), focusing in some cases on the role of HVAC in virus spread in enclosed spaces (Morawska et al., 2020; Schibuola & Tambani, 2021a).

Considering building design, current research is especially linked to hospitals and health facilities (Agarwal et al., 2020), or housing (D'alessandro et al., 2020), with some first exploration on the potential of architecture in the prevention and control of epidemics based on its capacity to control space (Fezi, 2020).

Some research interest is directed towards the definition of safe protocols for school reopening (Bradley et al., 2020; Esposito et al., 2021); most of available resources are directed towards the evaluation of the effectiveness of specific measures (mask use, ventilation rates, online teaching) (Buoite Stella et al., 2020; Esposito & Principi, 2020b). A lack of holistic approaches to school reopening, that keep into account all available measures and adapt to school buildings features and needs, can be underlined. As school managers are the ones in charge of several decisions related to school safety, it is vital to provide them with simple and effective tool, supporting their decisions, to avoid further slowdowns of reopening.

This research regards an early experiment carried out to evaluate school reopening in accordance with social distancing and other legislative requirements that led to the definition of an online free tool supporting school managers in safe reopening.

1. Effects of school closure

Italy was one of the first Countries to proceed in school closure, in 2020 (on March, 5th). There have been since then some re-openings and further closures. Nonetheless, there is a lack of protocols addressing school reopening measures in a structured and model-based way. The effectiveness of school closure is in any case under discussion, as long-term effects of coronavirus are still unknown.

Allowing uncertainties related to the effectiveness of school closure, it is solidly known that they lead to negative side effects, affecting miscellaneous fields. Negative effects are summarized in the following table:

Table 1. Negative effects of school closures

Type of effect	Reference
Social effects	Consequences on families: childcare costs increase, work-family balance should be negotiated (Fontanesi et al., 2020)
	Increase of iniquity between higher and lower income classes (Esposito & Principi, 2020a)
	Risk of exclusion and lack of socialization
	Nutritional problems deriving from the absence of free school meals (Viner et al., 2020)
Psychological effects	Adverse effects of quarantine on children and adolescents (Cao et al., 2020)
	Social isolation for populations who are not (Caffo et al., 2020)

		able to access technology	
		Confusion and stress for teachers	(UNESCO, n.d.)
Health effects	related	Gaps in childcare that can lead to risky behaviours	(UNESCO, n.d.)
		Unintended strain on health care systems	(Bayham & Fenichel, 2020)
Economic effects		GDP reduction	(Nicola et al., 2020)

These effects emphasize the relevant impact deriving from school closures on families and society, underlining how adverse effects damage vulnerable and disadvantaged communities above all. The urge of school reopening shall be a primary concern for governments that should set protocols and politics to guarantee a secure school management.

1.1. School re-openings policies and Italian framework

The differences among education systems of different countries have conditioned their response to coronavirus crisis. In peak time of the first outbreak (spring 2020), the only Country that did not proceed in school closures was Sweden. Several Countries modified the dimensions of school classrooms to facilitate physical distancing (Belgium, Denmark, France, Germany, Greece, South Korea, Taiwan, Vietnam). Temperature checks were introduced in Japan, South Korea, Taiwan and Vietnam, combined with contact tracing. Some Countries proposed flexible solutions of hybrid education or rotations (remote and in presence), depending on epidemiological situations (Krishnaratne et al., 2020).

Masks are commonly recommended both for students and for staff, especially if adequate physical distancing is impossible to achieve. Mask wearing for students depends on their age and situation (e.g., particular behavioural or medical conditions) (Rozhnova et al., 2021). Physical distancing is one of the most diffused measures; recommended distances may vary and shall be obtained modifying existing spaces, reducing the number of persons per single room, and including external spaces in learning activities (Lo Moro et al., 2020).

As coronavirus is a respiratory syndrome, it appears that its diffusion is mainly airborne. For this reason, increasing ventilation rates in indoor environments appears as a viable and effective strategy to contain COVID-19 contagion (Schibuola & Tambani, 2021b). Cleaning rates are also increased, and hygiene (hand washing, use of disposable tissues) is encouraged especially for younger ages' pupils.

Italian guidelines for school reopening are constantly updated, and available on the website of the Ministry of Education (Ministero dell'Istruzione, 2021).

Mask are compulsory in any case, not depending on physical distancing, and shall be wore by every person inside or outside school buildings. Children under six, and pupils with specific medical conditions are allowed to not wear masks. Temperature checks are not performed at school, but shall be carried out independently at home, to guarantee that temperature does not overcome the limit of 37,5°C. Teaching activities widely vary depending on: (i) the school grade, (ii) the epidemic situations of the Region where the school is located, (iii) for University, the decisions taken by the school itself.

In the Italian context, school managers are the ones required to set specific measures to guarantee safety for scholars, teachers, and staff. School managers are therefore committed with a great deal of responsibility. Nonetheless, there is currently a lack of methods, guidelines, or tools that could help school managers to set a complete strategy for school safety. The situation of school buildings in Italy does not facilitate the definition of a national common approach; the building stock mainly consist of obsolete buildings (dating back before 1974). Italian government indicated that one third of the school buildings need severe maintenance interventions (ANCE, 2013). In addition, school buildings present diverse morphologies,

depending on the school grade, the geographic position, and the construction period (Tagliabue & Villa, 2017). In some cases, schools are hosted in pre-existing buildings, adapted to the new use or in listed buildings. Besides the complexity of building stock, that obstacles the creation of common guidelines or protocols to be widely used, another main barrier is that of the urge of intervention. Coronavirus crisis aroused in few months; school managers need to quickly evaluate the strategies to adapt their school buildings to novel and rapidly changing conditions.

2. Methodology

The method here proposed was developed in late spring 2020, in collaboration with the Municipality of Melzo, to evaluate potential strategies for school reopening. Through a combination of tools and methods, it was possible to provide quick guidelines to Melzo school managers to guarantee a safe response. The approach was performed on two school buildings with different features. As this approach was smoothly adopted, the method was extended to fit different schools and contexts and implemented in an online tool, freely available. This paper presents the activities carried out for Melzo and the results of the implementation in the online tool.

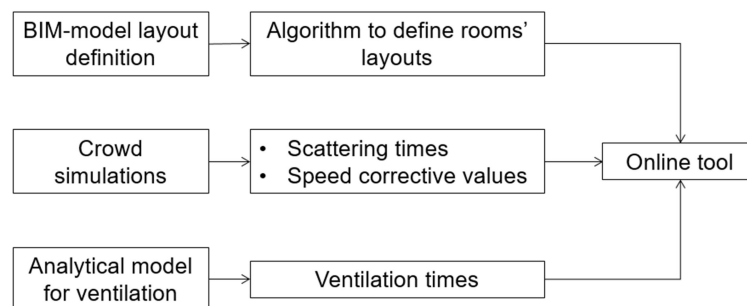


Fig. 1 General methodology adopted in the research

Three main activities were carried out: (i) the definition of a BIM-based layout evaluation, with the goal of creating an algorithm for rooms' layouts, (ii) crowd simulations, with the goal of identifying scattering times and corrective values to be applied to students' speeds, and (iii) the definition of an analytical model for ventilation providing ventilation times.

The goals of this approach were the definition of the internal layout guaranteeing compliance with legislative requirements, the definition of entrance and exit times (including potential scatterings), and the definition of ventilation times to assure safety of rooms.

3. Application

3.1. Internal layout

In order to guarantee internal distancing in all school rooms, the internal layout of the school has to be modified. Laboratories, administrative spaces, canteen, and gym, have to be re-invented to accommodate teaching activities. A BIM-model of the school was already existing (Di Giuda et al., 2020); the model was used as base for the definition of a Dynamo node that, based on the features of the rooms, and on the physical distancing, simulated the maximum number of students in each room.

The algorithm allows to describe several typologies of classrooms through input data, that include the dimension of desks, and the dimensions of the room. The output provided are the room layout based on distances and maximum number of students. The algorithm is also based on fixed data: (i) the interpersonal distance (assumed of 100 cm as for legislative requirements), and some dimensions related to the room, such as the distance between teacher's desk and pupils' desks. The algorithm defined by the Dynamo node was then implemented in the online tool.

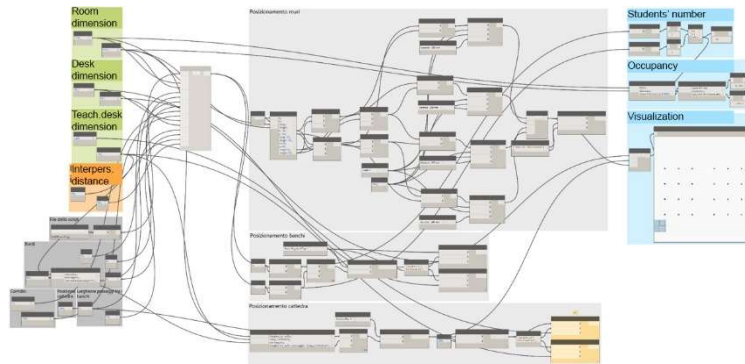


Fig. 2 Scheme of the Dynamo node used to define optimal layout of the classrooms

3.2. Crowd simulation

Crowd simulations are used to create a reliable model of students' movements. The use of crowd simulations permits, through the combination of agent-based and narrative-driven approaches, to simulate the activities of autonomous users, interacting with each other based on simple rules, and move in the environment.

Crowd simulations are pre-occupancy analyses that simulate the movement of users in an environment (in this case, a building). Crowd simulations are often used to evaluate evacuation and users' movements in emergency situations (Almeida et al., 2013). Two main typologies of crowd simulations can be used: agent-based simulations allow to simulate space use modelling the system as the sum of behaviours of the users (agents), that are controlled by a distributed Artificial Intelligence (Zheng et al., 2009). Narrative-driven simulations allow to create complex systems of actions, formalizing the activities taking place in a space or a building (Schaumann et al., 2017). To minimize disadvantages related to both approaches, this research uses a combination of the two, that creates a simulation where users can react autonomously to the context through simple rules, and at the same time they move in space following a list of arbitrary activities.

The simulations were performed with Pedestrian Dynamics.

Crowd simulations were used to simulate the behaviour of the students, considering as input data (i) the number of students, (ii) internal path to be covered (from the entrance to the desk), (iii) speed of the users. Crowd simulations allowed to visualize through a density map how people was spreading inside: it was therefore possible to visualize and underline points of confluence. To avoid those points, an iterative approach was adopted: the scattering at the entrance was modified to provide a density map without "red points". Crowding points were defined as those where two or more people were standing closer than 1-meter distance.



Fig. 3 Density map resulting from crowd simulation on the school of Melzo (one of the two case study buildings used for crowd simulations)

Several simulations were performed to identify the optimal scattering time avoiding internal crowding (identified in the map with red areas). The use of crowd simulations also allowed to define corrective values of speed to be used in the online tool. These values were used to correct speed values considering

obstacles (e.g., stairs). Simulations were performed on two different school buildings with features that are representative of typical Italian school buildings, in terms of internal layout. Crowd simulations allowed to include behavioural aspects that can modify (slowing or fastening) speed of the users.

The output of this phase, that was later implemented in the online tool, were scattering times, and corrective speed values.

3.3. Ventilation

A proper ventilation system has proven to be a crucial aspect to guarantee an adequate IAQ (Indoor Air Quality). This aspect is particularly challenging in case of existing old building, where internal conditions in terms of comfort and wellbeing can be critical; a controlled mechanical ventilation (CMV) system can manage ventilation to match with provided benchmarks. School buildings are in several cases not equipped with those systems, and it is therefore necessary to use natural ventilation to regulate internal conditions.

Recent researches show that increasing ventilation rates can help in containing contagion in indoor environments (Schibuola & Tambani, 2021b). The contagion appears to be strictly related to the users' proximity and sharing of a common space, whether transition spaces such as corridors appear to be less relevant. The interpersonal distance of 1 meter has been defined for stationary people; in case of moving persons, it is necessary to avoid in-line paths, as the air flux can transport droplets.

An analytical model of the classroom was created in a digital environment using the OpenFOAM numerical simulation code for computational fluid dynamics (CFD) analysis. A model of the classroom with the air inlet and exhaust openings with respect to two modes of operation was then created: (i) Standard, supply and return air performed by the CMV system; and (ii) Safe, external air intake and extraction through the CMV system recovery.

In the first case, the air vents are located on the wall opposed to the windowed surface, which is kept closed. The supply air vents introduce air into the confined space, the flow descends towards the users' positions and is taken up by the central extraction vent.

The CFD simulation shows the airflow pattern in standard operation in which the established air changes are provided with respect to the occupants and activity in the confined space, using ventilation rates compatible with indoor environmental comfort conditions. In this case, the airflow descends from the supply air vents and then rises back up to be extracted from the central extractor carrying the particles.

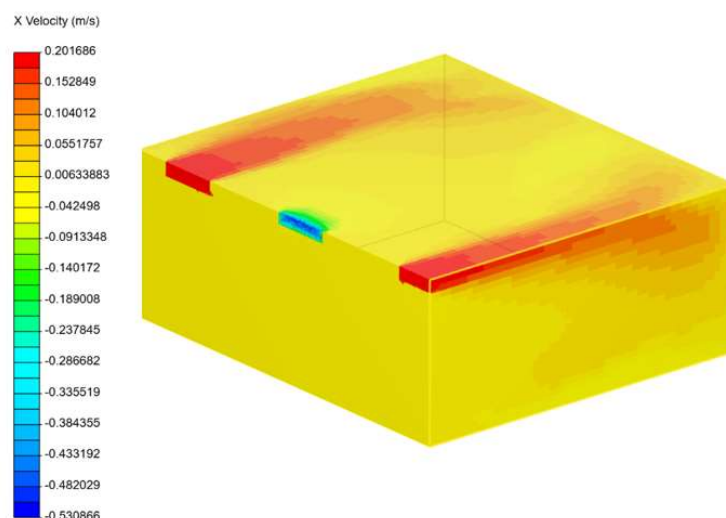


Fig. 4 CFD simulation of the classroom with standard CMV

The second case, combining CMV and natural ventilation, the air extraction has a higher speed, and allow the used air to be taken away through the return vent. Ventilation is therefore distributed on the whole external side of the classroom through the windowed area, and a more uniform flow is extracted from the vent positioned at the top. The mix of natural and forced ventilation keeps the extraction flow upwards.

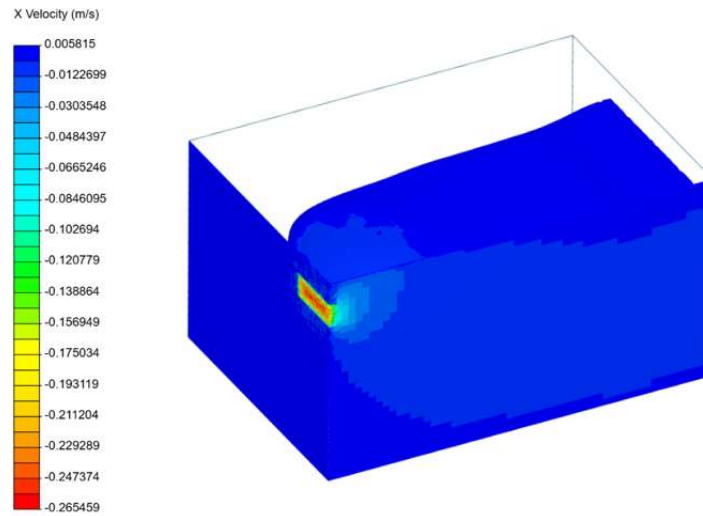


Fig. 5 CFD simulation of the classroom with mixed ventilation

4. “Spazio alla Scuola”: an online tool for school managers

The steps described represented the first part of analysis, necessary to define further developments. as previously stated, simulations and analyses were used to define parameters and mathematical formulas to be implemented in the online tool by the developers. The Dynamo node described in 3.1 was useful as it allowed the visual representation in the BIM model of the school of internal layouts respecting legislative requirements in terms of distancing; nonetheless, an investigation through interviews with school managers of Melzo and other municipalities revealed that none of them owned the technical equipment and expertise to use BIM-related software. For this reason, all the information flows managed in Dynamo were translated in a calculation sheet, showed in Figure 6.

Room number		Room code		Room Block	
Room occupation					
Input			Output		
Room dimensions			Indexes		
dimension 1 parallel to desks	dimension 2 perpendicular to desks				
Length [cm]	680.00	Width [cm]	887.00	Room area [m ²]	60.32 Area per student [m ²]
Students				max.n° of students following DM1375	39 max.n° of students following L.G. COVID
Students' number	25	Posit. Corridor after column			36
Desk dimension			N° of students		
Length [cm]	70	Width [cm]	60	Student - professor distance Y [cm]	150
Teacher desk's dimension				Effective distance X [cm]	128
Length [cm]	120	Width [cm]	70	Effective distance Y [cm]	154.25
Visualization					
Interpersonal distance					
X axis [cm]	100	Y axis [cm]	100		
Passage distance					
larghezza minima corridoio centrale [cm]	100	Distanza minima di passaggio lungo Y [cm]	70		
Side distances					
Side distance X 1 [cm]	0	Side distance Y 1 [cm]	150		
Side distance X 2 [cm]	0	Side distance Y 2 [cm]	70		
Teacher desk positioning					
		Teacher's desk distance 1 [cm]	80		
Methodology					
Coordinates			Coordinates		
Gross useful length	580	Gross useful width	667	Useful area origin	
Net useful length	510	Net useful width	617	X	0 Y
Minimum distance X	100	Minimum distance Y	120		150
Max number of columns	6	Maximum number of lines	6	Teacher's desk coordinates	
Actual number of columns	5	Actual number of rows	5	X	140 Y
Corridor position	3				85
Actual distance X	128	Actual distance Y	154	Columns coordinates	
Actual number of columns	5	Actual number of rows	5	1	35
0_Number of actual columns	5	0_Number of actual rows	5	2	163
1_Number of actual columns	5	1_Number of actual rows	5	3	290
2_Number of actual columns	5	2_Number of actual rows	5	4	518
3_Number of actual columns	5	3_Number of actual rows	5	5	645
4_Number of actual columns	5	4_Number of actual rows	5		
5_Number of actual columns	5	5_Number of actual rows	5		
Available classroom seats					
0_Remaining seats	11				

Fig. 6 Calculation sheet used as basis for the development of the online tool

Crowd simulations performed as described in 3.2 provided the corrective values for users' speeds, and scattering times. These values were also included in the calculation sheet that acted as a base for the online tool. These steps allowed to implement an online tool, called “Spazio alla Scuola”(Spazio Alla Scuola, n.d.); it

was developed in collaboration with Fondazione Agnelli, to support school managers in simulating people flows inside and outside school buildings, to verify rooms' capacities depending on legislative requirements.

The tool, based on previously described methods, allows recreating the school environment with physical data regarding rooms, stairs, hallways, entrances and exits, and the number of students interacting in those spaces. The tool is freely available and is intended to facilitate a rapid and simple evaluation of existing school buildings. For each of the rooms, the tool provides the maximum capacity, depending on input data (room dimensions, interpersonal distance), the entry time, the order of scholars for entry or exit, and the internal layout. Input data are summarized in Table 2. Input data like the geometry of school rooms are manually filled by school managers in the tool.

Table 2. Input data of the tool

Input data
<ul style="list-style-type: none"> • School level: primary, secondary, high school. It is possible to include different buildings with different levels • Access: all potential accesses to the building shall be included • Stairs, to be associated with accesses creating paths (path length stair-access shall also be inserted) • Classrooms data: room sizes, desks dimensions, interpersonal distances, corridors. Each room is then linked to stairs, or to the access (for ground floor rooms), and the distance between room and stair/access is inserted. • Other rooms data, if needed • Students number, for each room

For each room, as in Fig.6, the tool provides a layout with maximum capacity of the space, total time required for entrance, and the order of entrance and exit of the students to avoid unsafe overlapping of the paths.

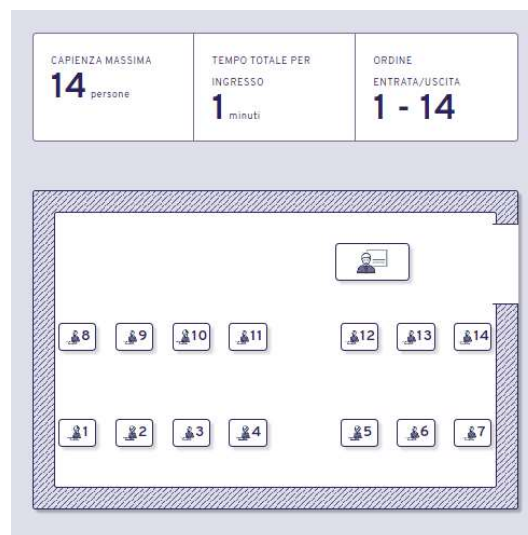


Fig. 6 Output data for a room of the building

Once all the data related to school rooms (including classrooms, and other spaces, with a distinction between big spaces and small spaces) are filled, it is possible to fill data related to the distance between

each room and the stairs or the accesses. This information will be used to evaluate times to reach the rooms from the entrances.

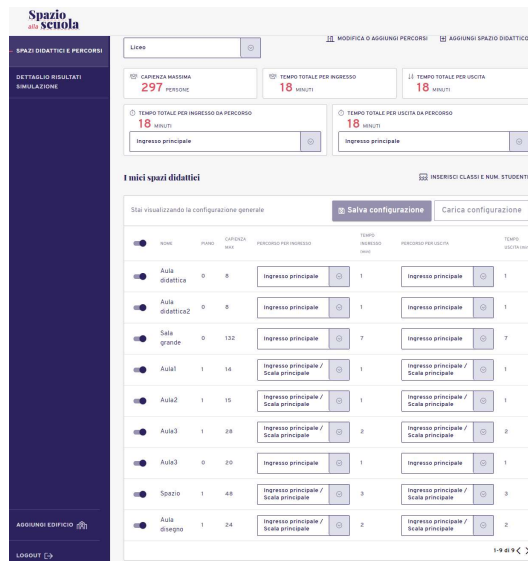


Fig. 7 General output data related to the building

It is possible to modify data at any time, e.g., to add rooms, or to remove stairs. It is also possible to add further buildings to the same school; each of them will be analysed separately. These modifications allow the school manager to immediately evaluate potential changes (e.g., using different accesses to better distribute the flows at entrance or exit). The general outputs provided by the tool (Fig.7) are a summary of the inserted spaces, linked to stairs or accesses, as well as the total time required for entry or exit, and the time required for entry or exit from each access. The tool also provides the maximum capacity of the school building(s).

For each room, suggested ventilation times are provided to guarantee hourly air change rates. The tool provides opening times for inswing windows or open flap windows.

5. Conclusions

Although a general consensus on the return to school has not been reached, there are evidences that school closures are having negative effects on several aspects, and therefore protocols and guidelines for safe re-openings are needed. Recommendations and guidelines for reopening generally agree on the relevance of rooms' layout and physical distancing, and on the increase of ventilation rates.

The definition of tools and methods to support safety measures' application and evaluation of their effectiveness can help school managers in their tough task. The online tool presented in this manuscript, available online and based on Italian context can be useful to facilitate this task. The tool considers building layout, crowd simulations, and ventilation rates.

Further developments to reinforce the effectiveness of this approach include an in-depth analysis of the contribution of building services and their sanitisation and disinfection, taking into account their energy efficiency. This potential development could also take advantage of the installation of sensors in the school rooms, that allow a continuous monitoring of internal conditions (in terms of physical indicators, such as temperature, humidity, and IAQ, and in terms of sensors detecting presence).

Another relevant aspect that could find an application in the proposed tool is the integration of timetables and their consequent optimisation, to reduce students' movements during school times and to rethink internal layout with underused spaces.

Referencias

- AGARWAL, A., NAGI, N., CHATTERJEE, P., SARKAR, S., MOURYA, D., SAHAY, R. R., & BHATIA, R. (2020). "Guidance for building a dedicated health facility to contain the spread of the 2019 novel coronavirus outbreak." in *Indian Journal of Medical Research*, vol. 151, issue 2–3, p. 177–183.
- ALMEIDA, J. E., ROSSETI, R. J. F., & COELHO, A. L. (2013). *Crowd Simulation Modeling Applied to Emergency and Evacuation Simulations using Multi-Agent Systems*. <http://arxiv.org/abs/1303.4692>
- ANCE. (2013). *Audizione dell'Ance sulla situazione dell'edilizia scolastica in Italia*. p. 16.
- BAYHAM, J., & FENICHEL, E. P. (2020). "Impact of school closures for COVID-19 on the US health-care workforce and net mortality: a modelling study." in *The Lancet Public Health*, vol. 5, issue 5, p. e271–e278. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(20\)30082-7](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(20)30082-7)
- BRADLEY, E. H., AN, M. W., & FOX, E. (2020). "Reopening Colleges during the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic - One Size Does Not Fit All." in *JAMA Network Open*, vol. 3, issue 7, p. 2020–2022. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.17838>
- BUOITE STELLA, A., MANGANOTTI, P., FURLANIS, G., ACCARDO, A., & AJČEVIĆ, M. (2020). "Return to school in the COVID-19 era: considerations for temperature measurement." in *Journal of Medical Engineering and Technology*, vol. 44, issue 8, p. 468–471. <https://doi.org/10.1080/03091902.2020.1822941>
- CAFFO, E., SCANDROGLIO, F., & ASTA, L. (2020). "Debate: COVID-19 and psychological well-being of children and adolescents in Italy." in *Child and Adolescent Mental Health*, vol. 25, issue 3, p. 167–168. <https://doi.org/10.1111/camh.12405>
- CAO, W., FANG, Z., HOU, G., HAN, M., XU, X., DONG, J., & ZHENG, J. (2020). "The psychological impact of the COVID-19 epidemic on college students in China." in *Psychiatry Research*, vol. 287, issue March, p. 112934. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2020.112934>
- CAPOLONGO, S., REBECCHI, A., BUFFOLI, M., APPOLLONI, L., SIGNORELLI, C., FARA, G. M., & D'ALESSANDRO, D. (2020). "COVID-19 and cities: From urban health strategies to the pandemic challenge. a decalogue of public health opportunities." in *Acta Biomedica*, vol. 91, issue 2, p. 13–22. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i2.9515>
- CRISTINA, M., ABBÀ, A., BERTANZA, G., PEDRAZZANI, R., RICCIARDI, P., & CARNEVALE, M. (2020). "Lockdown for CoViD-2019 in Milan: What are the effects on air quality?" in *Science of the Total Environment*, vol. 732, , p. 1–10.
- D'ALESSANDRO, D., GOLA, M., APPOLLONI, L., DETTORI, M., FARA, G. M., REBECCHI, A., SETTIMO, G., & CAPOLONGO, S. (2020). "COVID-19 and living space challenge. Well-being and public health recommendations for a healthy, safe, and sustainable housing." in *Acta Biomedica*, vol. 91, issue 1, p. 61–75. <https://doi.org/10.23750/abm.v91i9-S.10115>
- DI GIUDA, G. M., SEGHEZZI, E., SCHIEVANO, M., & PALEARI, F. (2020). "A digital workflow for building assessment and renovation." in *EUBIM 2020 - BIM International Conference / 9° Encuentro de Usuarios BIM*, p. 23–31.
- DIETZ, L., HORVE, P. F., COIL, D. A., FRETZ, M., EISEN, J. A., & VAN DEN WYMELENBERG, K. (2020). "2019 Novel Coronavirus (COVID-19) Pandemic: Built Environment Considerations To Reduce Transmission Leslie." in *MSystems*, April, p. 1–13.
- ESPOSITO, S., COTUGNO, N., & PRINCIPI, N. (2021). "Comprehensive and safe school strategy during COVID-19 pandemic." in *Italian Journal of Pediatrics*, vol. 47, issue 1, p. 4–7. <https://doi.org/10.1186/s13052-021-00960-6>
- ESPOSITO, S., & PRINCIPI, N. (2020a). "School Closure during Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) Pandemic An Effective Intervention at the Global Level?" in *JAMA Pediatrics*. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa344>
- ESPOSITO, S., & PRINCIPI, N. (2020b). "To mask or not to mask children to overcome COVID-19." in *European Journal of Pediatrics*, vol. 179, issue 8, p. 1267–1270. <https://doi.org/10.1007/s00431-020-03674-9>
- FEZI, B. A. (2020). "Health engaged architecture in the context of COVID-19." in *Journal of Green Building*, vol. 15, issue 2, p. 185–212. <https://doi.org/10.3992/1943-4618.15.2.185>
- FONTANESI, L., MARCHETTI, D., MAZZA, C., DI GIANDOMENICO, S. D., ROMA, P., & VERROCCHIO, M. C. (2020). "The Effect of the COVID-19 Lockdown on Parents: A Call to Adopt Urgent Measures." in *Psychological Trauma: Theory, Research, Practice, and Policy*, June. <https://doi.org/10.1037/tra0000672>
- KRISHNARATNE, S., PFADENHAUER, L. M., COENEN, M., GEFFERT, K., JUNG-SIEVERS, C., KLINGER, C., KRATZER, S., LITTLECOTT, H., MOVSISYAN, A., RABE, J. E., REHFUESS, E., SELL, K., STRAHWALD, B., STRATIL, J. M., VOSS, S., WABNITZ, K., & BURNS, J. (2020). "Measures implemented in the school setting to contain the COVID-19 pandemic: a rapid scoping

review.” in *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 12.

- LO MORO, G., SINIGAGLIA, T., BERT, F., SAVATTERI, A., GUALANO, M. R., & SILIQUINI, R. (2020). “Reopening schools during the COVID-19 pandemic: Overview and rapid systematic review of guidelines and recommendations on preventive measures and the management of cases.” in *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, issue 23, p. 1–21. <https://doi.org/10.3390/ijerph17238839>
- MEGAHED, N. A., & GHONEIM, E. M. (2020). “Antivirus-built environment: Lessons learned from Covid-19 pandemic.” in *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, issue May, p. 102350. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102350>
- MINISTERO DELL’ISTRUZIONE. (2021). *Rientriamo a Scuola*. <https://www.istruzione.it/rientriamoascuola/index.html>
- MORAWSKA, L., TANG, J. W., BAHNFLETH, W., BLUYSSSEN, P. M., BOERSTRA, A., BUONANNO, G., CAO, J., DANCER, S., FLOTO, A., FRANCHIMON, F., HAWORTH, C., HOGELING, J., ISAXON, C., JIMENEZ, J. L., KURNITSKI, J., LI, Y., LOOMANS, M., MARKS, G., MARR, L. C., ... YAO, M. (2020). “How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised?” in *Environment International*, vol. 142, issue May. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>
- NICOLA, M., ALSAFI, Z., SOHRABI, C., KERWAN, A., AL-JABIR, A., IOSIFIDIS, C., AGHA, M., & AGHA, R. (2020). “The socio-economic implications of the coronavirus pandemic (COVID-19): A review.” in *International Journal of Surgery*, vol. 78, issue March, p. 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.ijso.2020.04.018>
- ROZHNova, G., VAN DORP, C. H., BRUIJNING-VERHAGEN, P., BOOTSMA, M. C. J., VAN DE WIJGERT, J. H. H. M., BONTEN, M. J. M., & KRETZSCHMAR, M. E. (2021). “Model-based evaluation of school- and non-school-related measures to control the COVID-19 pandemic.” in *Nature Communications*, vol. 12, issue 1, p. 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21899-6>
- SCHAUMANN, D., BRESLAV, S., GOLDSTEIN, R., KHAN, A., & KALAY, Y. E. (2017). “Simulating use scenarios in hospitals using multi-agent narratives.” in *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 10, issue 5–6, p. 636–652. <https://doi.org/10.1080/19401493.2017.1332687>
- SCHIBUOLA, L., & TAMBANI, C. (2021a). “High energy efficiency ventilation to limit COVID-19 contagion in school environments.” in *Energy and Buildings*, vol. 240, , p. 110882. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110882>
- SCHIBUOLA, L., & TAMBANI, C. (2021b). “High energy efficiency ventilation to limit COVID-19 contagion in school environments.” in *Energy and Buildings*, vol. 240, , p. 110882. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110882>
- Spazio alla Scuola*. (n.d.). Retrieved June 11, 2021, from <https://www.spazioallascuola.it/#/>
- TAGLIABUE, L. C., & VILLA, V. (2017). *Il BIM per le scuole* (Editore UI).
- UNESCO. (n.d.). *Education: from disruption to recovery*.
- VINER, R. M., RUSSELL, S. J., CROKER, H., PACKER, J., WARD, J., STANSFIELD, C., MYTTON, O., BONELL, C., & BOOY, R. (2020). “School closure and management practices during coronavirus outbreaks including COVID-19: a rapid systematic review.” in *The Lancet Child and Adolescent Health*, vol. 4, issue 5, p. 397–404. [https://doi.org/10.1016/S2352-4642\(20\)30095-X](https://doi.org/10.1016/S2352-4642(20)30095-X)
- ZHENG, X., ZHONG, T., & LIU, M. (2009). “Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches.” in *Building and Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.04.002>



HOW FAR ARE WE FROM CIM?

Moreno-Bazán, Ángela^a; García-Alberti, Marcos^b y Arcos-Álvarez, Antonio.A^a; ^aDepartamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, España - angela.moreno@upm.es, ^bDepartamento de Ingeniería Civil: Construcción, E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, España - marcos.garcia@upm.es, ^cDepartamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid, España - antonio.arcos@upm.es.

Abstract

BIM is gradually changing the way we design, construct, and manage construction facilities. Industry and Academia are increasingly putting effort into BIM study and implementation. However, the majority refer to successful case studies using the usual methods and technology of building construction but rarely bring up the real problems for implementing BIM methodology to the field of civil infrastructure (CIM). It must be also considered that the construction activity is only a part of the infrastructure lifespan and the stakeholder must consider the works of rehabilitation or maintenance of the infrastructure, though so far from the full implementation. The results revealed by this study are useful for both researchers and professionals because the purpose of this paper is not only to show a mere review of the existing literature but also present a rational analysis for the use of CIM. For that purpose, the gathered experience for three consecutive years in the use of CIM in the final course of Civil Engineering Master Studies has been used and contrasted with the reported literature. Among the main problems needing to be addressed are the following: handling of big data files, the integration of new data and interchange of data without losing information.

Keywords: *Building information modeling (BIM); Civil infrastructure; BIM data management; Facility Management; Civil information modeling (CIM); 3D heritage modeling.*

Resumen

BIM está cambiando la forma en que diseñamos, construimos y administramos instalaciones en construcción. La industria y el mundo académico se esfuerzan cada vez más en el estudio y la implementación de BIM. Sin embargo, la mayoría hacen referencia a casos concretos de éxito utilizando los métodos y tecnologías establecidos en edificación, pero no evidencian los problemas que existen para implementar completamente esta metodología en Ingeniería Civil (CIM). Además, la construcción de obra nueva representa solo un pequeño porcentaje de la vida útil de la obra civil por lo que esta metodología debe estar enfocada principalmente a acciones de rehabilitación o mantenimiento de la infraestructura. Los resultados mostrados en esta investigación son útiles tanto para investigadores como profesionales ya que no se ha realizado una mera revisión de la literatura existente sino un análisis crítico de la implementación de CIM. Para ello hemos contrastado nuestra propia experiencia por tres años en proyectos CIM en el último curso del Máster en ICCP, con las experiencias de la literatura existente en los distintos ámbitos. Entre los problemas generales más importantes a solucionar, se incluye la gestión de archivos de gran dimensión, la incorporación de información o el intercambio sin pérdidas de información.

Palabras clave: *Modelado de información en edificación (BIM); Ingeniería civil; Gestión de datos BIM; Gestión de instalaciones; Modelado de información Civil (CIM); Modelado patrimonial 3D.*

Introducción

El sector de la construcción está caracterizado por ser un sector impredecible. Es algo común ver proyectos de construcción que duplican los presupuestos o duraciones estimadas inicialmente, contando con cada vez más litigios entre las diferentes partes del sector, no solo por los sobrecostes o retrasos anteriormente mencionados, sino también por los resultados insatisfactorios (Creedy, 2010). La metodología BIM nace como solución a estos problemas, siendo la colaboración entre las partes y el modelado 3D los pilares básicos en los que se sustenta (Sidani, 2021). Sin embargo, el mayor ahorro en costes no se produce en el diseño y construcción de las infraestructuras, sino en la gestión de éstas una vez construidas (Cortés-Pérez, 2020). La construcción de obra nueva representa solo un pequeño porcentaje de la vida útil de la obra civil. Sin embargo, como se puede ver en la Figura 1, los proyectos licitados en BIM no abarcan el total de su vida útil y, por tanto, carecen de muchas de las ventajas que podría suponer BIM sobre las infraestructuras más allá del modelado tridimensional en fase de diseño.



Fig. 1 Distribución del número de licitaciones en infraestructuras y el objeto de contrato (2020)
Fuente: <https://cbim.mitma.es/observatorio-bim-en-espana/datos-cuantitativos-generales>

En los últimos años, hemos presenciado un impulso significativo para el desarrollo y utilización de tecnologías innovadoras en este ámbito (Figura 2). Las universidades no somos ajenas a esta realidad y hemos empezado a implantar programas de formación en BIM para mejorar significativamente las oportunidades laborales de los egresados (Moreno et al., 2020). Lo primero que hay que tener en cuenta es que las metodologías BIM utilizada para infraestructuras, como obras hidráulicas, carreteras, ferrocarriles, estructuras complejas, cimentaciones o incluso obras históricas presentan características muy diferentes a las ya utilizadas para arquitectura, diferencias que deben resolverse con herramientas y soluciones específicas.



Fig. 2 Experiencias en el ámbito estatal (2020) Fuente: <https://cbim.mitma.es/experiencias>

En la actualidad, el uso de BIM en el ámbito de la Ingeniería Civil está enfocado al uso de herramientas BIM, en cuanto a la metodología de trabajo, la manera de integrar la información obtenida, interrelacionarla y transferirla a terceros. Sin embargo, adaptarlo a estructuras como puentes o carreteras es un proceso mucho más complejo. El propósito de este documento es proporcionar un análisis crítico de la aplicación y

uso de BIM en las diferentes infraestructuras civiles y detectar las lagunas para poder así sacar el máximo potencial de las tecnologías y aplicaciones informáticas que se han utilizado en la industria de la construcción.

1. Conservación de infraestructuras

1.1. Carreteras

Actualmente, la conservación de carreteras en España se puede calificar como deficiente según la Asociación Española de la Carretera (Asociación Española de Carreteras, 2018). Tan importante es la construcción de infraestructuras como destinar los fondos suficientes para su conservación en los años siguientes. Es por ello que la irrupción de la metodología BIM puede contribuir enormemente al suponer un ahorro en costes en la gestión de los activos. Recientemente un consorcio de empresas españolas ha iniciado un proyecto en este sentido llamado ROADBIM (ITC-20161077) financiado por el programa estatal de I+D+i del Gobierno de España para unificar criterios al diseñar una carretera (Moya et al., 2017). El proyecto tiene como objetivo lograr un desarrollo más eficiente de los proyectos constructivos de carreteras durante toda su vida útil mediante la aplicación de la tecnología BIM. Como el sector público gestiona la mayoría de las carreteras y sistemas de transporte la administración y las empresas del sector serían la parte más beneficiadas al implementar BIM en estos proyectos.

Esta necesidad de mejorar, o al menos conservar, las carreteras en España, así como los elementos que la componen, hace necesario buscar nuevas fórmulas que faciliten el mantenimiento de éstas, siendo las metodologías BIM y Realidad Aumentada algunas de estas nuevas formas de conseguir un mayor rendimiento en la conservación y gestión de carreteras (García et al., 2019)

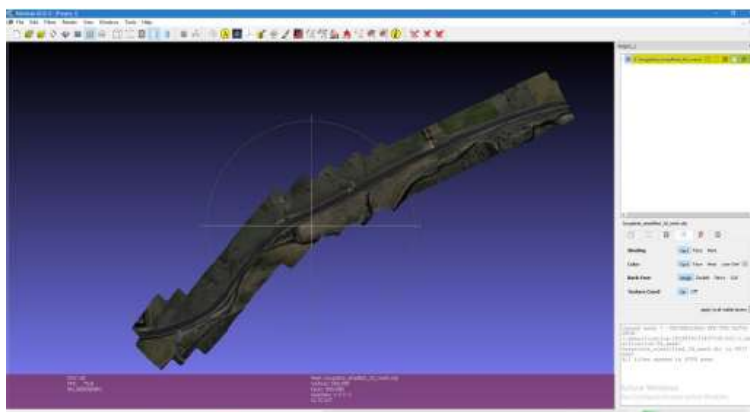


Fig. 3 Modelo de Superficie Digital (DSM) importado en Meshlab

Como se puede ver en la Figura 3, para aplicar la metodología BIM a la conservación de carreteras, una opción es generar previamente una malla por fotogrametría mediante el vuelo de un dron. Sin embargo, la operabilidad con el software Revit de la marca Autodesk, referente para modelar en 3D, es muy limitado en modelos lineales de gran dimensión. En estos casos se suele recurrir a software intermediarios como Meshlab, Inventor o FormIt que utilizan formatos amigables como *.obj, *.dgn o *.skp aunque siguen produciendo grandes pérdidas de información. Una alternativa es utilizar Infracore, que cuenta con la posibilidad de introducir de información y con la ayuda de SketchUP (Figura 4) se puede introducir también los elementos verticales.

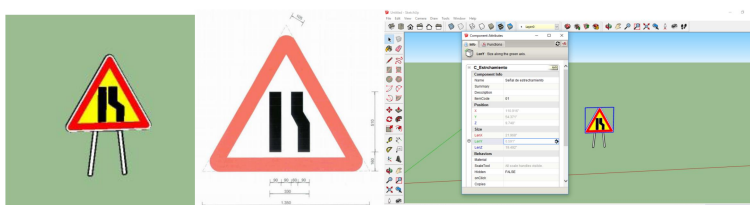


Fig. 4 Señal de estrechamiento y modelización en SketchUp

Uno de los aspectos más interesantes del modelado con SketchUp es el modelado paramétrico a partir de componente dinámicos y la posibilidad de incorporar sobre los objetos que se realizan atributos que se actualicen de forma automática gracias a la vinculación que se permite hacer de los mismos a, por ejemplo, una hoja de Excel a través de una dirección URL. Con Infracore se puede modelar la carretera mediante la introducción de puntos con sus coordenadas exactas. Sin embargo, al estar sujeto el diseño de la carretera a normativa AASHTO (norma americana) y debido a la irregularidad de los radios de curvas, es imposible modelar la carretera con los radios de curvas originales. Por lo tanto, el modelo generado finalmente es una aproximación al tramo de carretera real.

Otra alternativa es utilizar Openroads ConceptStation de la casa comercial Bentley y como software intermediario ContextCapture. Sin embargo, para reconstruir el modelo virtual en 3D este programa presenta limitaciones ya que está orientado a estudios preliminares, por lo que hay que utilizar Openroads Designer para mayor detalle como marcas viales. Este software incluye servicios de GeoCoordinación para buscar, descargar e importar datos geoespaciales y convertirlos en modelos 3D para obtener una mejor visualización de la información.

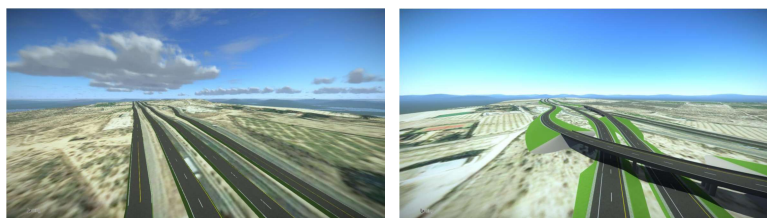


Fig.5 Enlace del Arco Noroeste y la A-30 en sentido Albacete a partir de los datos de GeoCoordinación desde ConceptStation

La señalización que no se encuentra en la biblioteca de ConceptStation puede importarse en formato .obj, es decir objetos con los atributos dinámicos especificados previamente. En relación con esta tarea, hay que considerar la notación anglosajona de este tipo de programas y la necesidad de establecer una medición clara para el intercambio de información entre los diferentes programas, dado que, en caso de que el objeto exportase parámetros que no se leyesen correctamente podríamos, por ejemplo, encontrarnos con un cono sobre el modelo de dimensión tal que ocupase toda la carretera o una disposición incorrecta de los ejes.

Del mismo modo, los materiales creados en SketchUp no son siempre reconocidos por ConceptStation y por tanto, lo más útil es asociar como atributo dinámico directamente una dirección URL capaz de contener un .xml que incorpore tablas a modo de ficha técnica de la señalización o un diagrama de Gant asociado a la vida útil tanto del objeto como de la obra, posibilitando la advertencia en relación a necesidades de revisión, caducidad o pérdida de reflectancia de las mismas. Para establecer la distancia relativa entre la señalización, ConceptStation permite la geolocalización de los puntos y la distancia acumulada en el trazado, discerniendo entre recorridos sobre el terreno o carreteras existentes, así como sobre las nuevas obras, permitiendo establecer el inicio de estas.

1.2. Pasos elevados

Los puentes también juegan un papel importante en el sistema de transporte apoyando el desarrollo económico y social, siendo una de las infraestructuras más importantes e indispensables. Según las estadísticas, hay actualmente más de 25000 obras de paso en España (Menéndez, 2012). Esto hace que se incremente de manera significativa sus acciones de mantenimiento y gestión estructural.

Para planificar el ciclo de vida de un puente, el modelo debería establecerse durante las fases de diseño y construcción. Sin embargo, la mayoría de los puentes existentes no aplicaron esta tecnología durante la fase de diseño y construcción. Como resultado, se debe reconstruir el modelo del puente en la mayoría de los casos (Rávana, 2019).

De nuevo, los métodos basados en imágenes, como la fotogrametría terrestre o aérea (Figura 6), o los métodos basados en el rango, como el escaneo láser estático o dinámico, gracias a su potente capacidad

para la generación de documentación tridimensional, son bastantes populares. Se trata de un método muy sencillo de emplear sobre campo abierto, con unos costes realmente bajos en comparación a los escáneres láser 3D, los cuales tienen unas ciertas virtudes, pero sus costes los hacen muy poco asequibles en este tipo de procesos.



Fig.6 Malla texturizada del Puente de Canencia en ContextCapture

En este sentido, BIM puede permitir desarrollar un sistema de gestión y mantenimiento de puentes eficiente, con el cual se incremente su seguridad. Para ello es necesario aplicar un método estándar de modelado estructural, donde consigamos realizar rápidamente el modelado del puente con toda la información necesaria. Si además se incluye información relativa al ciclo de vida de los activos del proyecto, por ejemplo, al incorporar alertas con fechas específicas de revisión y mantenimiento, podríamos prolongar el tiempo de vida del puente además de planificar futuros desembolsos, mejorando el control de costos del proyecto. Como ya hemos visto anteriormente, los niveles LOD y LOI son los criterios más importantes e influyen significativamente a la hora de gestionar el ciclo de vida (Brumana, 2018). En edificios, LOD está generalmente enfocado en las especificaciones interiores, pero en infraestructura civiles, se enfoca en especificaciones exteriores incluyendo detalles geométricos e información semántica.

Son estructuras con características únicas y elementos muy complejos (Figura 7) que hacen necesaria su parametrización previa Inventor o Rhino antes de su unificación en Infracworks o Civil 3D.

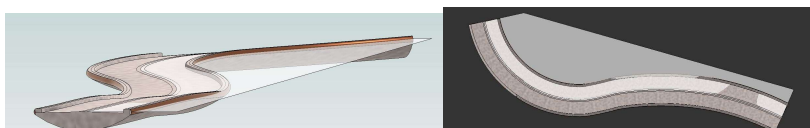


Fig.7 Torsión en barrido solucionado a partir de Spline por la directriz del barrido importado de Civil 3D

En una segunda fase, con herramientas como Infracworks o Civil 3D, se pueden plantear las distintas alternativas y fijar parámetros básicos que posteriormente se puede exportar a Revit para completar su diseño. Se demuestra así que, combinando los distintos software, se puede implementar con éxito en la fase de diseño y construcción. La aplicación en la fase de mantenimiento es aún incipiente. De hecho, en España, el sistema de gestión del ciclo de vida en el puente basado en BIM sigue estando aún en desarrollo. El objetivo principal es establecer una conexión entre las Fichas de Inspección Básica (BIS) en Excel que utiliza actualmente el Ministerio de Fomento (INECO) y el modelo BIM.

Para ello, ya se tiene una idea clara de los pasos a completar para obtener una gestión 100% adecuada del mismo:

- Clasificar las posibles patologías según su categoría, asignarle un ID y elaborar plantillas en formato digital (Microsoft Excel) para su inspección acompañado de una base de precios que establezca el coste de reparación de cada patología (BIS).
- Vincular las BIS incorporando la información recogida en campo con la estructura tridimensional. Para ello se crea un código de programación en Dynamo que se repite para cada posible daño de cada elemento de la estructura

- Visualización gráfica del estado de los elementos de la estructura tridimensional junto con la estimación de costes de reparación en función de los deterioros detectados.

Independientemente del software, y a pesar de la escasa implementación de BIM en la gestión de activos de infraestructuras, y menos aún en la gestión de infraestructuras, se vislumbra un futuro prometedor en esta área. El hecho de que un mismo modelo contenga toda la información histórica relativa a los elementos presentes en la carretera supone una ventaja enorme respecto a los métodos tradicionales. Desde el punto de vista técnico, pueden detectarse las patologías que aparecen con excesiva frecuencia y plantear soluciones alternativas. Desde el punto de vista económico, pueden compararse los costes entre campañas sucesivas y así estimar futuros costes, optimizando los recursos.

2. Conservación de Patrimonio de Obra Pública

Los enfoques de conservación preventiva están ganando atención en contraposición a las estrategias tradicionales de conservación curativa en el intento de sistematizar las inspecciones y las rutinas de monitoreo para abordar directamente las causas de los daños y minimizar los procesos de deterioro (Mora et al., 2021).

La implementación de un enfoque de conservación preventiva para la obra pública implica varios desafíos, como el desarrollo de protocolos estandarizados e integrados para documentar y administrar toda la información necesaria para preservar la construcción (Santagati, 2021). En este contexto, las estrategias basadas en la tecnología BIM son prometedoras ya que establecen un flujo de trabajo colaborativo e interdisciplinar entre los agentes del sector, abarcando todo el ciclo de vida y apoyándose en las nuevas tecnologías de software y comunicación (Linares, 2019). La parte del BIM encargada del mantenimiento y funcionamiento de una estructura se conoce como "Facility Management", basada en los modelos "As built" generados al finalizar la obra que aportan información referente a este propósito (Pavón, 2020). Entre sus utilidades principales se puede destacar las siguientes: la gestión de los servicios de limpieza, de los técnicos, de los residuos del edificio, así como el mantenimiento, rehabilitación, generación de documentos, presupuestos, etc. Para ello es fundamental que las fases de diseño y modelado se hayan llevado a cabo correctamente y en consecuencia tener el modelo virtual bien construido con la adecuada información, que permitirá la transferencia de datos de una fase a otra. De esta forma se tendrá el presupuesto y coste de cualquier reparación o proyecto de rehabilitación, así como las condiciones de seguridad y salud en la zona de intervención.

Dentro de la implantación de la metodología BIM al patrimonio de obra pública podemos encontrar distintas alternativas de trabajo. En primer lugar, se puede realizar un diagnóstico sobre el estado de la estructura con una clara definición de objetivos, planificación y análisis interdisciplinar complementado todo ello con la generación de un modelo. Adicionalmente, permite el desarrollo de propuestas de intervención, así como el desarrollo de la misma que finalizaría en un modelo "As built" donde se especifica el estado final tras la intervención. Y, por último, ofrece la posibilidad de establecer una conservación preventiva o la difusión cultural.

Todo ello ha derivado en la creación de un nuevo concepto denominado "Heritage Building Information Modeling (H-BIM)", cuyo principal objetivo es la comprensión, documentación, reconstrucción y conservación del patrimonio histórico y que ha puesto de manifiesto las limitaciones del software BIM, como la falta de disponibilidad de bibliotecas históricas, falta de herramientas para la gestión de formas complejas e irregulares, e incertidumbre de las nubes de puntos.

Si bien se asume la relevancia del BIM en el contexto del patrimonio de obra pública (HBIM), la metodología BIM se ha orientado principalmente a las nuevas construcciones, por lo que aún no se tiene un consenso estándar para los históricos. Esta cuestión hace que algunos aspectos, como el nivel de detalle (LOD) o el nivel de información (LOI), deban considerarse críticos. El LOD determina el aspecto gráfico de los activos, como geometría, ubicación en el edificio, tamaño u orientación; mientras que el LOI almacena información relevante pero no gráfica de los activos, como datos de mantenimiento, datos de monitoreo, información del

fabricante, períodos de inspección o imágenes adicionales (Azenha et al., 2018). Un enfoque de LOD mixto complejo, capaz de implicar la riqueza, la unicidad y multiplicidad de cada componente para obtener el máximo grado de conocimiento, se ha experimentado con el fin de obtener información decisiva en materia de conservación, restauración y gestión desde las fases iniciales del diseño arquitectónico. Con este fin, se modeló el Mercado de Algeciras, también conocido como Mercado Ingeniero Torroja, donde se integra la simplicidad sobre la complejidad, la fusión técnica-arte y, por supuesto, requiere una comprensión profunda de cómo trabaja la estructura. Fue declarado Bien de interés Cultural (BIC) por la Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía el 25 de octubre de 2001 como el mejor ejemplo del Movimiento Modernista en la región, cuya cúpula fue la más grande de la historia durante 30 años (1935-1965).

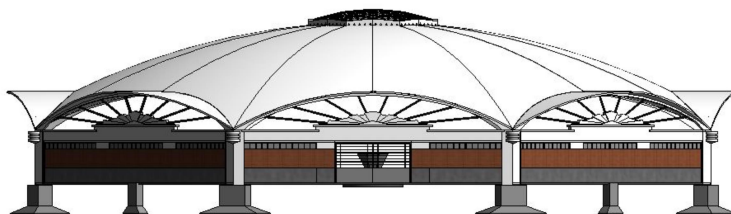


Fig.8 Alzado con acceso del Mercado de Algeciras.

Para la realización del modelo 3D del Mercado de Algeciras (Figura 8) se utilizaron dos fuentes de datos distintas, fotografías actuales y la unidad documental ETM-093-001 disponible en la web oficial del Centro de Estudios y experimentación de Obras Públicas (CEDEX), en la que se incluyen documentos originales tales como memoria o planos, y planos actuales proporcionados por el Ayuntamiento de Algeciras. La modelización no detalla las estancias del Mercado de Algeciras, si no una definición de los elementos estructurales y arquitectónicos de la estructura que permiten la asignación de las propiedades pertinentes para su aplicación a la conservación, por lo que el nivel de detalle se establece en LOD300.

La principal aportación de este trabajo reside en la incorporación de la metodología BIM a la gestión de la conservación y el mantenimiento del patrimonio de obra pública, con el desarrollo de una herramienta que permite vincular el modelo 3D de las estructuras con la información requerida para ello (González, 2020). En cuanto al LOI, existen seis categorías de parámetros que abarcan no solo datos geométricos y de construcción, sino también otros tipos de datos cruciales para fines de gestión de HBIM (Masciotta et al., 2019). Los daños más importantes que llevaron a la ejecución de este proyecto se encontraban en la cubierta, los arcos de rigidez de las bóvedas y el anillo perimetral de tracción, En todos ellos existen zonas exteriores con desprendimientos del hormigón y armadura vista fuertemente corroída, estando más acusada en aquellos elementos orientados hacia la costa. Para incorporar toda la información relativa a las inspecciones y otros datos de conservación se generó un archivo que incluya todos los posibles daños y patologías, las reparaciones asociadas a cada una de ellas y su coste. Antes de realizar la programación para el traspaso de datos, en Dynamo es necesario crear en el modelo los parámetros de proyecto asociados a las cuatro categorías de familia con las que se va a trabajar (anillos de tracción, arcos de rigidez, cubierta y pilares estructurales), de tal forma que la información codificada se introduzca en los mismos y se pueda consultar en las propiedades de los elementos.

Como se observa en la Figura 9, se distinguen tres clases de parámetros de proyecto: texto (gravedad e índice del daño, observaciones y reparaciones), números (medición y coste) e imágenes. Por último, se crearon filtros que permitan la visualización rápida del estado global de la estructura según su LOI.

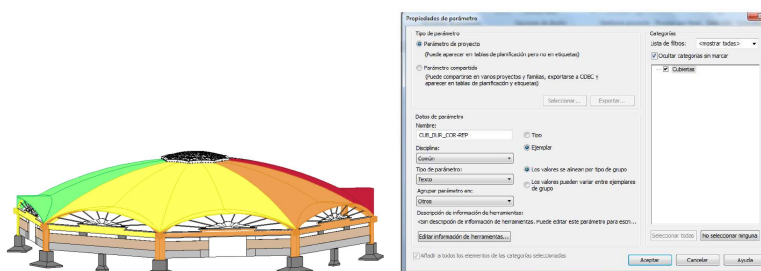


Fig.9 Creación de parámetros de proyecto y ejemplo de visualización del estado de daños del Mercado de Algeciras

El proceso de transferencia de información recabada en las inspecciones entre la base de datos y el modelo se realiza con la herramienta de gestión: Dynamo. Gracias a ella, se puede incorporar y exportar los daños y las patologías localizadas durante la inspección al modelo de la estructura, así como el coste de reparación de estas.

Como se puede ver, la implantación de HBIM, solo es posible si se crea una base de datos correcta y completa de cada uno de los elementos de la estructura, teniendo en cuenta tanto las características geométricas y funcionales, como el historial de daños y rehabilitaciones que se hayan llevado a cabo. Por lo tanto, es indispensable recabar toda la información disponible para que los datos incluidos en el modelo sean lo más exactos y fiables posibles. La creación de una plataforma donde se analicen y almacenen todas las actuaciones proporcionaría un ahorro económico y de tiempo, así como un historial de los gastos de conservación a lo largo de la vida útil de la estructura.

3. Conclusiones

El envejecimiento y deterioro de las infraestructuras es un problema de gran importancia que supone un desembolso económico muy elevado anualmente dado el enorme patrimonio de infraestructuras que tienen los países. Esto hace que los sistemas tradicionales de inspección y gestión sean ineficientes. En este documento hemos aportado varios casos de éxito donde por medio de la metodología BIM se ha conseguido gestionar la infraestructura de una manera óptima, segura y sostenible.

Sin embargo, la aplicación de esta metodología sigue siendo compleja en infraestructuras y más aún en el patrimonio de obra pública. Por un lado, hay que tener en cuenta que esta implantación solo es posible si se crea una base de datos correcta y completa de cada uno de los elementos de la estructura, teniendo en cuenta tanto las características geométricas y funcionales como el historial de daños y rehabilitaciones que se hayan llevado a cabo. Por lo tanto, es indispensable recabar toda la información disponible para que los datos incluidos en el modelo sean lo más exactos y fiables posibles. Por otro lado, no existen programas o guías de trabajo especializadas en conservación del patrimonio, como es el caso del mantenimiento de puentes, por lo cual se ha tenido que adaptar su aplicación a las pocas pautas de trabajo de las que se disponen.

A pesar de todo ello, son más las ventajas que los inconvenientes que presenta esta metodología y se prevé un futuro exitoso en la gestión de activos de la mayoría de los proyectos de infraestructuras. La más importante, la creación de un inventario e historial digitalizado dentro de un modelo totalmente idéntico a la realidad que facilita el proceso de conservación.

Referencias

- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE CARRETERAS (2018). "Estudio sobre Necesidades de Inversión en Conservación". <<https://www.aecarretera.com/sala-de-prensa/comunicados/comunicados-2018/2888-las-carreteras-espanolas-a-examen>> [Consulta: 22 de abril de 2020]
- AZENHA, Miguel et al. (2018) "Aplicación integrada de técnicas topográficas avanzadas y BIM para la inspección y gestión de activos de puentes de hormigón armado".
- BRUMANA, R., et al. (2018). "Generative HBIM modelling to embody complexity (LOD, LOG, LOA, LOI): surveying, preservation, site intervention—the Basilica di Collemaggio (L'Aquila)". Applied geomatics, vol. 10, no 4, p. 545-567.
- CORTÉS-PÉREZ, J. P., Cortés-Pérez, A., and Prieto-Muriel, P. (2020). "BIM-integrated management of occupational hazards in building construction and maintenance". Automation in Construction, 113, 103115.
- CREEDY, G. D., Skitmore, M., and Wong, J. K. (2010). "Evaluation of risk factors leading to cost overrun in delivery of highway construction projects". Journal of construction engineering and management, 136(5), 528-537.
- GARCÍA, Marcos et al. (2019) "Aplicación de BIM metodología to the operation and maintenance of roads "III Congreso Internacional de Innovación Educativa en Edificación. CINIE, pp 43-44, Madrid, Spain
- GONZÁLEZ, Adela. (2020) "Aplicación de la metodología BIM a la conservación y el mantenimiento del patrimonio de la obra pública" Trabajo Final de Máster. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

- LINARES JÁQUEZ, Yira Maribel. (2019) "Protocolo HBIM para la restitución histórica del patrimonio cultural y arquitectónico: Reconstrucción virtual del Foro Romano de Sagunto".
- MASCIOTTA, Maria Giovanna, et al. (2019) "A digital-based integrated methodology for the preventive conservation of cultural heritage: the experience of HeritageCare project". *International Journal of Architectural Heritage*, p. 1-20.
- MENÉNDEZ, A., et al. (2012) "Guía para la realización de inspecciones principales de obras de paso en la Red de Carreteras del Estado". Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento. pp. 335.
- MORA, Rocio, et al. (2021). "An historical building information modelling approach for the preventive conservation of historical constructions: Application to the Historical Library of Salamanca". *Automation in Construction*, vol. 121, p. 103449.
- MORENO BAZÁN, Ángela, et al. (2020). "New Perspectives for BIM Usage in Transportation Infrastructure Projects". *Applied Sciences*, vol. 10, no 20, p. 7072.
- MOYA SALA, Quim, et al. (2017) "BIM para infraestructuras de carreteras: Verificación de la normativa de diseño geométrico". *Spanish journal of BIM*, vol. 17, no 1, p. 10-18.
- PAVÓN, Rubén Muñoz et al. (2020) "Possibilities of BIM-FM for the Management of COVID in Public Buildings". *Sustainability*, vol. 12, no 23, p. 9974.
- RÁVENA, Rafael Blanco, et al. (2019) "Uso de la metodología BIM en la remodelación de un puente existente= Use of BIM methodology in the re-modelling of an existing bridge". *Anales de Edificación*, vol. 5, no 3, p. 100-106.
- SANTAGATI, Cettina, et al. (2021). "HBIM approach for the knowledge and documentation of the St. John the Theologian cathedral in Nicosia (Cyprus)". *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2021, vol. 36, p. 102804.
- SIDANI, A., Dinis, F. M., Sanhudo, L., Duarte, J., Baptista, J. S., Martins, J. P., and Soeiro, A. (2021). "Recent tools and techniques of BIM-based virtual reality: A systematic review". *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28(2), 449-462.



LA UTILIZACIÓN DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN LA GESTIÓN TURÍSTICO-TERRITORIAL DEL PATRIMONIO CULTURAL. ESTADO DE LA CUESTIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN SIG Y BIM

García-Valldecabres, Jorge Luis^a; Viñals-Blasco, María José López-González, María. Concepción^c;

^aDpto. Expresión Gráfica Arquitectónica, Centro de Investigación PEGASO, Universitat Politècnica de València, España - jgvalde@ega.upv, ^bDpto. Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría, Centro de Investigación PEGASO, Universitat Politècnica de València, España- mvinals@upv.es, ^cDpto. Expresión Gráfica Arquitectónica, Centro de Investigación PEGASO, Universitat Politècnica de València, España - mlopezg@ega.upv.es

Abstract

The current pandemic situation caused by the SARS-CoV-2 virus has led to the practical paralysis of the cultural tourism sector. Cultural heritage management is carried out by interdisciplinary teams in a collaborative way. The situation prior to the pandemic showed important deficiencies derived from overcrowding and poor planning, with few exceptions. There is no preventive coordination and organization of urban tourist routes, by areas and themes that anticipates possible risks and favours the sustainable management of public use. The GIS (Geographic Information System) and BIM (Building Information Modelling) methodologies are presented as an aid to respond to these problems. The first of the methodologies, GIS, allows the analysis of the different layers of cartographic information, facilitating the incorporation in the geographical and territorial information (location, topography, spatial features, etc.) of buildings and buffer areas as well as the different touring patterns and possible alternative itineraries. The second, BIM, facilitates having virtual models as twins for the design of proposals and alternatives, faithfully systematizing the information that the cultural management of architectural heritage implies. This contribution presents the first results on the state of the art of scientific production in research and the degree of implementation of these two methodologies around the management of public use of cultural heritage.

Keywords: Heritage, Management, Tourism, GIS, BIM, Smart Cities.

Resumen

La actual situación de pandemia originada por el virus SARS-CoV-2 ha supuesto la práctica paralización del preventiva de las rutas turísticas urbanas, tipificándolas por áreas y temas, que adelante posibles riesgos y favorezca la gestión sostenible del uso público. Las metodologías SIG (Sistema de Información Geográfica) y BIM (Building Information Modeling) se presentan como una ayuda para dar respuesta a estos problemas. La primera de las metodologías, SIG, permite realizar el análisis de las diferentes capas de información cartográfica facilitando la incorporación de las características geográficas y territoriales (localización, topografía, características espaciales, etc.) de los edificios y las áreas del entorno, así como los diferentes patrones de la visita y los itinerarios alternativos. La segunda, BIM, facilita disponer de modelos virtuales como gemelos para el diseño de propuestas y alternativas, sistemizando fielmente la información que implica la gestión cultural del patrimonio arquitectónico. En la presente contribución se exponen los primeros resultados sobre el estado de la cuestión de la producción científica en las investigaciones y el grado de implantación de estas dos metodologías entorno a la gestión del uso público del patrimonio cultural.

Palabras clave: Patrimonio, Gestión, Turismo, SIG, BIM, Ciudad inteligente.

Introducción

La presente aportación forma parte de los primeros estudios realizados en el marco del proyecto de I+D+i de la convocatoria 2020, orientada a los Retos de la Sociedad, del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020, con la referencia PID2020-119088RB-I00, cuyo título es: *Análisis y desarrollo de la integración BHIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino* y, cuyo acrónimo es *HBIMSIG-TURISMO*.

La conservación de los Bienes Patrimoniales es un hecho que está presente, como una de las manifestaciones del nivel de implantación de la cultura sostenible en el sector del Turismo Cultural, no solo, por parte de las administraciones públicas y de la comunidad científica, sino también en la sociedad en general. El aumento del acervo cultural en las personas y en la población, así como, el acceso mayoritario de esta a los bienes patrimoniales supone, unido a una falta de planificación coordinada del uso público de los bienes, un riesgo añadido a la degradación de por sí de estos recursos.

En la actualidad, existen metodologías colaborativas para que todos los agentes involucrados en la conservación de un Bien Patrimonial puedan trabajar de forma coordinada, compartiendo entre sí la información del bien con una visión holística del conjunto de las actuaciones que se desarrollan a lo largo del tiempo. De esta manera, se facilita una gestión racional y sinérgica del bien que redundará en un beneficio tanto para los gestores como para el bien y el público que lo disfruta.

Las investigaciones realizadas por la doctora y gestora cultural Elena Salvador-García (2020) y la aplicación de estos conocimientos a experiencias prácticas de gestión han demostrado que es posible llevar a cabo la gestión del uso público de un monumento a través de HBIM.

Por otra parte, hay que recordar que la actual situación de pandemia ha supuesto la paralización total del sector del turismo cultural, salvo entidades con gran capacidad de recursos humanos y tecnológicos para la innovación y la creatividad que han mantenido cierta actividad. De esta forma, se ha puesto de relieve que la situación previa a esta paralización presentaba importantes deficiencias. Estas carencias derivaban, en su mayoría, de la escasa planificación y coordinación entre los distintos actores del sector (patrimonial, urbanístico, turístico, etc.) y también por la falta de la inclusión de medios tecnológicos en la gestión del uso público. Por ello, la calidad de los resultados derivados de la gestión no alcanza los estándares deseados, tanto los que se corresponden con el receptor final de la visita pública, como con respecto a los esperados en el ámbito de la conservación preventiva del propio monumento y del área urbana próxima al monumento.

El objetivo del presente trabajo trata de dar a conocer los primeros avances sobre la revisión de la producción científica acerca de la implementación integrada de las metodologías HBIM y GIS adaptadas a la gestión del uso público del patrimonio cultural de un destino. Con la finalidad de conocer las investigaciones, los equipos de trabajo, aprender los principios, las cuestiones abordadas, las hipótesis en las que se apoyan los planteamientos, las metodologías y las estrategias seguidas con el objetivo de localizar las necesidades y los retos del sector. Y todo ello, en el marco de los conceptos emanados de la definición de ciudades inteligentes (*Smart City*) que se definen como “*aquellas ciudades que usan soluciones tecnológicas para mejorar la gestión y la eficiencia de los ambientes urbanos*” (*European Commission, n.d.*). Es decir, se trata de sistemas de personas que interactúan y usan flujos de energía, materiales, servicios y financiación para catalizar el desarrollo económico sostenible, la resiliencia, y una alta calidad de vida. Estos flujos e interacciones se hacen “inteligentes” mediante el uso estratégico de infraestructuras y servicios de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TICs) en un proceso de planificación urbana y gestión transparentes que responde a las necesidades sociales y económicas de la sociedad (*European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities, n.d.*). El estudio de Deloitte (2015) además añade que la ciudad inteligente exige una relación con ciudadanos, turistas, proveedores y trabajadores públicos basada en la transparencia, la rendición de cuentas, el adecuado uso y consumo de los recursos y la identificación temprana de necesidades.

1. Metodología

El grupo de investigadores que presentan esta contribución posee experiencia previa en el ámbito de la gestión del uso público del patrimonio, así como sobre la implementación de modelos HBIM. Asimismo, son conocedores de las posibilidades conjuntas de las metodologías BIM y GIS nacidas en los años '80 y '90 del siglo pasado, para implantar la gestión tecnológica de las infraestructuras y edificios en un determinado ámbito urbano o área territorial, según las tres escalas a partir de las cuales se abordan los estudios de los edificios:

- a) El propio edificio o sitio, que se analiza gracias a la metodología BIM;
- b) El ámbito territorial en el que se inscribe el edificio o sitio, que se estudia a partir de la metodología SIG; y
- c) Un espacio intermedio que resulta de la interacción de los dos anteriores entornos. Se trata de un espacio amplio y diferenciado en el que se analiza las relaciones de confluencias entre ambos.

De esta manera, se observa que no se concibe un análisis de un ámbito territorial sin los estudios de detalle, y viceversa. BIM se caracteriza por implementar la información de los edificios con el máximo detalle propio de la construcción para un sitio o lugar concreto, y SIG se caracteriza por facilitar la información sobre el territorio e infraestructuras del entorno del edificio o sitio tal como propone Mangón (2018).

Aria y Cuccurullo (2017), de la Università degli studi di Napoli Federico II, exponen la situación en la que se encuentra la producción científica de este tema. Así, relatan que el número de publicaciones se ha visto incrementado de manera exponencial en años recientes, haciendo imposible estar al día de las nuevas aportaciones que se generan al momento. Esto, unido con el impacto que estas contribuciones producen en el ámbito de diversos campos del conocimiento, hace que resulte difícil recopilar y sistematizar las nuevas contribuciones según exponen Briner y Denyer (2012). Por ello, se considera cada vez más necesario, realizar una revisión de la literatura científica como punto de partida de una investigación que permita conocer el estado de la cuestión y los estudios previos generados en la materia y así poder centrar el enfoque en determinados aspectos más específicos, para no dispersar la atención y poder lograr resultados más certeros, tanto de índole cualitativo, como cuantitativo.

Con el fin de revisar la literatura científica en la que se expone el desarrollo y grado de aplicación de los sistemas HBIM y SIG en la gestión del uso público de los bienes patrimoniales se ha seguido el esquema de Zupic y Čater (2015) que presenta los siguientes pasos (fig. 1): 1. Diseño del estado y del proceso de búsqueda; 2. Recopilación del estado; 3. Análisis de los datos; 4. Visualización de los datos; y 5. Interpretación de los resultados (discusión y conclusión).



Fig. 1 Metodología empleada basada en la planificación de Zupic y Čater. Elaboración propia

2. Resultados

De esta manera, el esquema secuencial antes propuesto se ha aplicado a los estudios que tratan sobre la integración de las plataformas HBIM y SIG en torno al patrimonio, la conservación, el diseño y la gestión del uso público de los monumentos y los lugares e itinerarios turísticos de un destino cultural. Los resultados comentados se presentan a continuación.

2.1. Diseño del estado y del proceso de búsqueda

El diseño del estado para abordar la revisión de la producción científica se planteó en tres fases definidas por las palabras clave utilizadas en la búsqueda de las contribuciones. En la primera fase, se utilizaron las siguientes palabras clave: BIM, HBIM, GIS. En la segunda fase de búsqueda, se utilizó las palabras clave: SIG, Turismo, Cultura, Gestión, Sostenibilidad. Y en la tercera fase, se introdujeron las palabras clave: HBIM, Patrimonio, Gestión, Turismo.

2.2. Recopilación del estado

Para localizar estudios previos relacionados con este tema de investigación, se ha examinado revistas científicas, actas de congresos, libros y tesis doctorales.

La revisión de la literatura se realizó en buscadores científicos como Google Scholar, Dialnet Plus, RiuNet, Science Research, ProQuest, Scopus y Thomson Reuters Web of Science, en catálogos científicos como OCLC Research y CrossRef, en bases de datos como Springer Link, SAGE revistas, Taylor & Francis Online, Science Direct, en bibliotecas digitales como IEEE Xplore Digital Library, ASCE Library, y en revistas científicas como Virtual Archaeology Review, International Journal of Heritage in the Digital Age, Journal of Cultural Heritage, Journal Building Research & Información, Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Automatización en Construcción International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS).

Después de estas búsquedas, se identificó más de contribuciones entre artículos, aportaciones a congresos y capítulos de libros que agrupamos en diversos bloques temáticos a tenor de las palabras clave que habían guiado las fases de búsqueda:

- Bloque 1: Incluye contribuciones que tratan sobre BIM, HBIM, GIS y sobre la integración de las dos metodologías GIS y BIM.
- Bloque 2: Lo constituye publicaciones sobre GIS, Turismo, Cultura, Gestión y Sostenibilidad dedicadas a los sistemas relacionados con la gestión sostenible de destino, la regionalización y la cultura ecología y el paisaje, itinerarios y rutas, los riesgos medioambientales, así como cuestiones relacionadas con la demografía. Todo ello implementado a través de técnicas de información georreferenciadas.
- Bloque 3: Trabajos que versan conjuntamente sobre HBIM, Patrimonio, Gestión, Turismo.

De entre estas, se destaca, a continuación, las que versaron sobre aspectos que se consideraron de mayor interés para las cuestiones planteadas.

2.3. Análisis de los datos

En relación con los trabajos identificados en el Bloque 1 (BIM, HBIM, SIG), se destaca:

a) La aportación realizada por el Instituto Tecnológico de Costa Rica (Bulgarelli-Bolaños *et al.*, 2020) sobre la evolución de la producción científica entorno a HBIM y SIG en la que se presenta un análisis bibliométrico descriptivo y retrospectivo suministrado a partir del registro de las contribuciones halladas en la base de datos Elsevier-Scopus.

b) En España, destaca el trabajo investigador de Francisco Pinto (Pinto-Puerto, 2016) de la Universidad de Sevilla, quien está haciendo importantes avances de la aplicación de modelos digitales basados en BIM y SIG en la gestión integral y sostenible de la tutela patrimonial tal como se observa en el Proyecto HAR2016 78113-R "Tutela sostenible del patrimonio cultural a través de modelos digitales BIM y SIG. Contribución al conocimiento e innovación social (TUTSOSMOD)" (Ferreira-Lopes y Pinto-Puerto, 2018).

c) En Italia, Grazia Tucci *et al.* (2017) han investigado, en diversos casos de estudio, la integración de nubes de puntos en la conservación del patrimonio arquitectónico; y, en el Politécnico di Torino

(POLITO), Colugi *et al.* (2020) estudian la integración de HBIM en SIG utilizando como caso de estudio la iglesia de San Lorenzo Norcia (Italia), con el fin de obtener un modelo único y un vocabulario para el proyecto SIG 3D, destinado a la conservación del monumento. Por su parte, Salvatore Barba, de la Università di Salerno, ha coordinado proyectos de investigación internacionales destinados a la digitalización de activos patrimoniales y su integración en un ámbito urbano.

d) Por su parte, Abellán Alemán (2018) desarrolló la interconexión de la plataforma API AUTODESK® REVIT™ de modelos BIM con otras plataformas y datos gubernamentales como los de la Dirección General del Catastro o el Instituto Geográfico Nacional, para automatizar tareas relacionadas con la georreferenciación, obtención de datos catastrales, inserción de mapas e imágenes aéreas y creación automática de topografías a partir de los Modelos Digitales del Terreno existentes en España.

e) El equipo BIM de C95 Creative, presentó en el año 2018 en EUBIM 2018 - BIM International Conference / 7º València, los resultados de cómo crear una estrategia para regenerar el casco histórico de la ciudad de Ayacucho en Perú (Ibsate-Domínguez *et al.*, 2018). Este artículo pretende demostrar cómo esta metodología se ha asimilado a nuestra práctica habitual. Durante el levantamiento BIM de Ayacucho, se desarrolló un proceso de digitalización de la ciudad, que actualmente sirve como base para estos objetivos. La importancia de la toma de datos inicial se basa en procesamientos de nubes de puntos y en la creación de un catálogo urbano en BIM de los elementos de la ciudad. Como resultado, en 6 meses se generó una base de datos del estado actual y se levantaron digitalmente 150 manzanas de la ciudad de Ayacucho, sirviendo como base para las actuales intervenciones urbanas que se están desarrollando de restauración, rehabilitación y mejora del espacio urbano.

f) Asimismo, bajo el título “URBIM: ciudades digitales. BIM en intervenciones urbanas” (Ibsate *et al.*, 2018), se elaboró un trabajo para dar respuesta a la necesidad de actualizar la información urbana y poner en valor el patrimonio histórico de la ciudad de Berlín, georreferenciando la información de sus edificios a través de formatos cityGML y combinando información urbana con modelos geométricos sencillos.

g) Otro trabajo relevante son las aplicaciones digitales en arqueología y patrimonio cultural, modelos SIG y gráficos para el análisis digital social, temporal y espacial en el patrimonio. Tal es el caso del estudio de la producción del gótico tardío del antiguo Reino de Sevilla (Wanderley Ferreira-Lopes, 2018). La reutilización, la interoperabilidad, la terminología estándar y la usabilidad se tuvieron en cuenta en el desarrollo de los modelos. La base de datos fue desarrollada en el marco de la Red Internacional del Gótico Tardío e involucró a un equipo interdisciplinar de arquitectos, historiadores, geógrafos e informáticos para asegurar la máxima adaptabilidad de la metodología a otros casos de estudio. El resultado es un DBMS, un modelo SIG y un modelo gráfico, que proporcionan herramientas útiles para comprender, analizar y difundir el patrimonio. Esta aportación tiene como objetivo demostrar el alcance de la aplicación de la fotogrametría digital 3D en la práctica arqueológica.

Otro ejemplo arqueológico es la excavación del Pago del Jarafi (Lanteira, Granada) realizada durante el período 2014-2017 en el marco del proyecto europeo MEMOLA, coordinado por la Universidad de Granada (Romero y Martín, 2017). El desarrollo de nuevo software, algoritmos y técnicas de modelado 3D como Structure from Motion (SfM) ha facilitado a los arqueólogos el acceso a documentación de mayor calidad y precisión.

h) Por último, la aportación de Hidalgo Sánchez (2018) brinda un interesante resultado en el que explora las posibilidades subyacentes de la interoperabilidad entre las metodologías BIM y SIG aplicada a un caso como prototipo: la Antigua Iglesia de Santa Lucía (Sevilla), actual Centro Documental de las Artes Escénicas de Andalucía.

Los trabajos del Bloque 2 establecen un análisis integrado de las técnicas de información georreferenciadas SIG, Turismo cultural, y Sostenibilidad. Destaca en este grupo los estudios que son susceptibles de establecer las bases sistémicas de protección del patrimonio al aglutinar el conjunto de aspectos desde una perspectiva holística y con suministros de la información interoperativa para los agentes interesados en cada uno de los procesos.

a) La contribución de Mamat et al. (2017) establece que la protección del patrimonio histórico y cultural y sus entornos circundantes es mucho más importante que cualquier otro esfuerzo preventivo realizado por humanos. Por ello, proponen la regionalización como herramienta eficiente y sostenible para gestionar las áreas protegidas. El estudio utiliza técnicas de análisis de sensibilidad para comprender cómo puede variar el resultado en respuesta a cambios de los diferentes parámetros. Agrupan los sitios patrimoniales a partir de una serie de factores para el control y la observación como son: la topografía, los entornos ecológicos, la actividad humana y los recursos del paisaje. El resultado que alcanzan es un esquema de regionalización y un método de gestión que equilibra los flujos en torno al turismo cultural y la protección del patrimonio utilizando un registro SIG de la información.

b) Calle Lamelas et al. (2017) presentan un estudio titulado “Las ciudades Patrimonio de la Humanidad ante el paradigma Smart”, en el que manifiestan cómo la revolución digital está generando un conjunto de desarrollos tecnológicos que afectan a la experiencia turística y la transforman. Este fenómeno ha sido conceptualizado por la literatura en inglés como Smart Tourism. A pesar de su importancia, es necesaria una mayor atención a su desarrollo teórico. En la literatura en español han recibido más atención otros conceptos como Smart Destinación o Destino turístico inteligente, a su vez derivado de Smart City, antes mencionado. Con el foco puesto en la gestión pública del turismo en las ciudades Patrimonio de la Humanidad, este trabajo analiza la experiencia española de los destinos turísticos inteligentes. El proyecto Smart Heritage City coordinado por la Fundación Santa María la Real que, por primera vez, aborda la gestión integral del patrimonio y los flujos de visitantes en una ciudad histórica (Ávila), aúna estas dos disciplinas normalmente distanciadas a pesar de su mutua dependencia.

c) La aportación titulada “Desarrollo turístico de los sitios del Patrimonio Mundial en China: una perspectiva geográfica” propuesto por Mimi et al. (2008) reconoce que existe un conflicto entre la conservación y protección del patrimonio y el desarrollo del turismo que subyace, especialmente, en los países en desarrollo en el marco de la explotación generalizada de los sitios del Patrimonio Mundial para atraer turistas. La investigación aborda el tema de la sostenibilidad del desarrollo turístico en esos sitios. El estudio aplica herramientas SIG en un examen de la distribución geográfica de los sitios y su relación espacial con las ciudades turísticas. El trabajo identifica tres fuentes principales de amenaza que pueden comprometer la protección de los sitios del patrimonio, a saber: 1) la presión demográfica; 2) las políticas de desarrollo de las economías locales; y, 3) la falta de apoyo financiero para los sitios del patrimonio. Presenta además una reflexión sobre el papel que representan los sitios del Patrimonio Mundial en la cultura del país donde se encuentran y cómo simbolizan a su país internacionalmente. Sin embargo, entre la población mundial, que está en continuo crecimiento, llaman la atención sobre el aumento del interés por el turismo patrimonial. Por lo tanto, en este trabajo proponen que, a través de las aplicaciones de geo-matemáticas y SIG, se defina la presión poblacional impuesta sobre los Sitios del Patrimonio Mundial en China. Los resultados del estudio revelaron que los sitios del Patrimonio Mundial en China exhiben una distribución por conglomerados-patrón, y destacan que todos los indicios apuntan a que la presión demográfica es, y seguirá siendo, el principal desafío a la sostenibilidad de estos sitios.

Los trabajos del Bloque 3 obtenidos de la revisión con las palabras clave HBIM, Patrimonio, Gestión, Turismo trataron de manera mayoritaria la necesidad de establecer un entorno común de datos.

a) La aportación de Roque Angulo (2012) expone cómo uno de los desafíos al que se enfrenta la documentación y gestión del patrimonio cultural es la gran cantidad de información dispersa (en

distintos repositorios y archivos físicos), a veces incompleta y desordenada, además de la elaborada por los diferentes actores interdisciplinarios que concurren en el estudio del bien. Incide en que la falta de fuentes fiables puede perjudicar la conservación del edificio e incluso crear problemas de ineficiencia a lo largo de todo su ciclo de vida. Para subsanar esta dificultad, apunta que se precisa de la creación de un Common Data Environment (CDE) o un “Entorno de datos común” como solución al problema. El CDE implica una única fuente de información para recopilar, gestionar, interpretar y difundir datos de un proyecto. En 2013, English Heritage ya propugnaba la necesidad de crear un CDE para el estudio del patrimonio e incluso comenzó a considerar BIM en su estrategia para la conservación del patrimonio creando un Grupo de Interés especial BIM-SIG. En 2017, Historic England, heredera de English Heritage, estableció el andamiaje sobre el que debería sustentarse un CDE destinado a gestionar activos patrimoniales incluyendo estudios de caso.

b) Asimismo, con el fin de establecer la integración de modelos HBIM con bases de datos externas de disciplinas interesadas, Pinto-Puerto (2011) se muestra pionero en la investigación de la metodología BIM aplicada al patrimonio arquitectónico. Este trabajo queda desarrollado en el marco del proyecto “Un Modelo Digital de Información para el Conocimiento y Gestión de Bienes Inmuebles del Patrimonio Cultural” (HAR2012-34571). Posteriormente, en esta línea, se realizaron estudios para incorporar información relativa a los diferentes ámbitos disciplinares que concurren en el estudio y gestión de un bien patrimonial.

Por su parte, Castellano-Roman (2015) ha investigado la capacidad de HBIM para ofrecer una gestión integral del bien patrimonial en torno a los aspectos de su protección jurídica. También se ha constatado el gran potencial de HBIM para gestionar las labores de mantenimiento de los edificios a lo largo de su ciclo de vida (Fassi et al., 2016). Nik Umar Solihin (2019) insiste en la novedad y gran potencial de la incorporación de BIM en entornos construidos históricos conducentes a la mejora del rendimiento de los edificios a través de la gestión de las instalaciones en el patrimonio cultural de Malasia.

2.4. Visualización de los resultados

Una vez establecido el inventario de artículos relacionados con cada uno de los tres bloques que inicialmente se propusieron en la metodología de trabajo, se ha realizado una catalogación de las aportaciones atendiendo a los temas de estudio tratados. Esta catalogación queda resumida de forma esquemática en el siguiente gráfico (fig. 2).

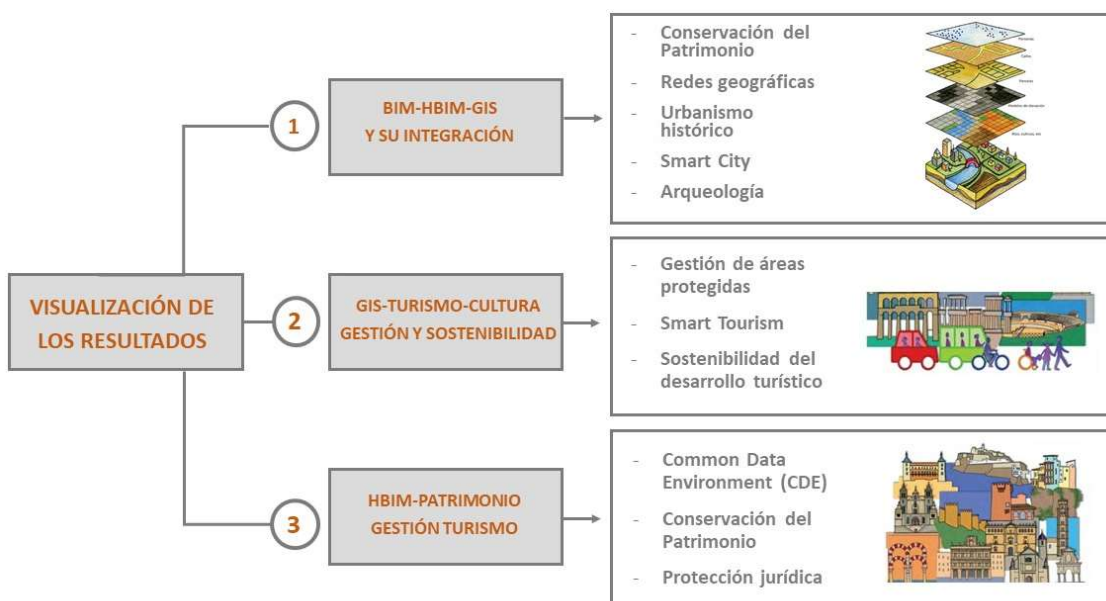


Fig. 2 Esquema de los resultados obtenidos en cada uno de los tres bloques temáticos

2.5. Interpretación de los resultados

Tras la revisión de la literatura científica se ha corroborado la falta de un método y una herramienta metodológica tecnológica que desarrolle la planificación de los procesos para la gestión sostenible del turismo cultural de los bienes patrimoniales referente al uso público en un entorno determinado. A ello hay que unir la falta de un instrumento para generar productos de calidad que facilite el acceso al conocimiento y estimule el aprecio de los valores culturales que los bienes poseen y transmiten.

Desde el punto de vista de las aplicaciones tecnológicas, las plataformas y el software, hay que destacar que se está abordando el estudio de los enlaces entre las aplicaciones que gestionan cada una de las bases de información, SIG y BIM, mediante un plug-in que interrelaciona una a una las tablas de propiedades de cada una de ellas. En este sentido, los grandes operadores de softwares están trabajando para implementar en una misma plataforma toda la información que integre las posibilidades de SIG y BIM. Los ámbitos donde estos adelantos están siendo implementados por los investigadores son muy diversos. En el marco de la gestión turístico-territorial, la integración BIM-SIG está siendo implementada fundamentalmente en la conservación y mantenimiento del patrimonio arquitectónico y de los sitios y entornos protegidos. También en el ámbito urbanístico aplicando la interoperatividad de estos softwares a la gestión inteligente de las ciudades (*smart Cities*), y más concretamente, en la difusión del patrimonio a través de redes geográficas. Por otra parte, se observa que se está abordando de forma incipiente la gestión sostenible del turismo, sobre todo en países como China, donde existe un riesgo extremo de falta de sostenibilidad en la gestión del patrimonio, debido a la presión demográfica. Sin embargo, el gran potencial que implica la integración de SIG y BIM en los temas relacionados con una gestión sostenible del turismo cultural en el entorno de redes geográficas y, en paralelo, a los sistemas de conservación de edificios y entornos patrimoniales todavía no ha sido desarrollado plenamente; solamente, por el momento, los SIG han sido implementados en la gestión turística de algunos destinos para abordar temas concretos.

3. Conclusiones

La gran capacidad gestora que se puede conseguir con la interoperabilidad entre BIM y SIG no está siendo explotada en toda su dimensión en la gestión turístico-territorial del patrimonio cultural porque, por el momento no ha sido plenamente investigada. Ejemplo de ello es que aún no ha sido ensayada para la gestión del uso público y el turismo cultural en ninguna ciudad. No se han encontrado estudios sobre las capacidades de HBIM-SIG para la gestión de visitantes ni para la interpretación del patrimonio, y tampoco se ha desarrollado metodológicamente protocolos HBIM-SIG específicos para la gestión del uso público desde un enfoque holístico e interdisciplinar.

No obstante, la utilización de estas herramientas está demostrando una gran eficiencia en la gestión sostenible de las infraestructuras y en aspectos del medio ambiente, entre otros. Cuando estas herramientas se han aplicado a la gestión de determinadas facetas de control y seguridad que afectan al turismo cultural, no dejan de ser casos aislados o mejoras puntuales. Se hace necesaria pues un desarrollo de investigaciones que aborden la integración de todo el conjunto de aspectos y necesidades gestoras, para que se produzca su incorporación en la gestión ordinaria del turismo en las ciudades. Sin duda, ello redundará en una más eficiente conservación de los monumentos y su entorno próximo y en una disponibilidad inmediata de información para los visitantes.

Referencias

- ABELLÁN ALEMÁN, J.M., (2018). Geolocalización y generación automática de emplazamientos a través de servicios y datos de plataformas gubernamentales mediante la API AUTODESK® REVIT™– BIM. *International Conference / 7º Encuentro de Usuarios BIM València*, 17,18 y 19 de mayo 2018.
- ANGULO FORNOS, R. (2012) Construcción de la base gráfica para un sistema de información y gestión del patrimonio arquitectónico: Casa de Hylas. *Arqueología de la Arquitectura*, 9: 11-25

- ARIA, M. Y CUCCURULLO C. (2017). Bibliometrix: An R-tool for compressive science. Mapping analysis. *Journal of Informatices*, 9-11: 959-975
- BRINER, R.B., Y DENYER, D. (2012). Systematic review and evidence synthesis as a practice and scholarship tool. In *Handbook of evidence-based management: Companies, classrooms and research*. pp. 112–129.
- BULGARELLI-BOLAÑOS, J.P., HERNÁNDEZ-SALAZAR, I., Y PINTO-PUERTO, F. (2020). Evolución de la producción científica sobre los conceptos HBIM y modelado 3D en la gestión de obras patrimoniales. *Revista Tecnología En Marcha*, 33(8): 89–101. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i8.5512>
- CALLE LAMELAS, J.V., GARCÍA HERNÁNDEZ, M., Y GARCÍA MUIÑA, F. (2017). Las ciudades Patrimonio de la Humanidad ante el paradigma Smart. *Libro de Actas del Seminario Internacional Destinos Turísticos Inteligentes: nuevos horizontes en la investigación y gestión del turismo*. Alicante, 2017. DOI: 10.14198/Destinos-Turisticos-Inteligentes.2017.01
- CASTELLANO-ROMÁN, M. (2015). Generación de un modelo de información del patrimonio inmueble en el momento de su protección jurídica. *EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica*, 20(26): 266-277.
- COLUCCI, E., DE RUVO, V., LINGUA, A., MATRONE, F., RIZZO, G. (2020). HBIM-GIS Integration: From IFC to CityGML Standard for Damaged Cultural Heritage in a Multiscale 3D GIS. *Applied Sciences*, 10.
- Deloitte (2015). *Estudio y Guía Metodológica sobre Ciudades Inteligentes*. Deloitte Consulting /ONTSI. https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/es/Documents/sector-publico/Deloitt_ES_Sector_Publico_Estudio-sobre-ciudades-inteligentes.pdf (Consulta: 10 abril 2021)
- European Commission (n.d.). *Smart cities*. https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en (Consulta: 11 marzo 2021)
- European Commission (n.d.). *European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities*. <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/european-innovation-partnership-smart-cities-and-communities#:~:text=The%20European%20Innovation%20Partnership%20on,Europe's%20industry%20and%20innovative%20SMEs> (Consulta: 11 marzo 2021).
- FASSI, F., MANDELLI A., TERUGGI S., RECHICHI F., FIORILLO F. Y ACHILLE, C. (2016). VR for Cultural Heritage A VR-WEB-BIM for the Future Maintenance of Milan's Cathedral. En: L.T. De Paolis and A. Mongelli (ed.), *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*. Springer International Publishing Switzerland, 139-157.
- FERREIRA-LOPES P. Y PINTO-PUERTO, F., (2018). Modelos SIG y gráficos para el análisis digital social, temporal y espacial en el patrimonio: el estudio de caso de la producción del gótico tardío del antiguo Reino de Sevilla. *Rev. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 9, <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.e00074>
- HIDALGO SÁNCHEZ, F.M. (2018). *Interoperabilidad entre SIG y BIM aplicada al patrimonio arquitectónico, exploración de posibilidades mediante la realización de un modelo digitalizado de la Antigua Iglesia de Santa Lucía y posterior análisis*. TFG, Universidad de Sevilla.
- IBISATE-DOMÍNGUEZ, I., OYA-SALAS, T., TORRES-MARRADES, R. Y PASCUAL-SÁEZ, M., (2018). URBIM: ciudades digitales. BIM en intervenciones urbanas. *EUBIM 2018 - BIM International Conference / 7º València*, 17,18 y 19 de mayo 2018.
- MANSSON U. (2015). BIM & GIS connectivity paves the way for really Smartcities. *Perspektiv*, 25: 20-23.
- MAMAT, K., DU, P. Y DING, J. (2017). Regionalización de la función ecológica de los sitios del patrimonio cultural en Turpan, China, basada en SIG. *Arabian Journal of Geosciences*, 10: 90. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2892-5>
- MIMI, L, BIHU W., Y LIPING C. (2008). *Tourism Development of World Heritage Sites in China: A Geographical Perspective*. Ed. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2007.03.013>
- NIK UMAR SOLIHIN KAMARUZAMAN. (2019). Historic building information modelling (HBIM): a review. *ICRP 4 th International Conference on Rebuilding Place*.
- PINTO-PUERTO F. (2011). *Modelo Digital de Información para el Conocimiento y Gestión de Bienes Inmuebles del Patrimonio Cultural"* (HAR2012-34571). Proyecto Nacional I+D+i, modalidad de Retos de Investigación (convocatoria 2011) Un.

PINTO-PUERTO F. (2016). *Tutela sostenible del patrimonio cultural a través de modelos digitales BIM y SIG. Contribución al conocimiento e innovación social TUTSOSMOD (HAR2016 78113-R)*. Proyecto de I+D+i, modalidad de Retos de Investigación en (convocatoria 2016).

ROMERO PELLITERO, P. Y MARTÍN CIVANTOS (2017). From 3D to GIS. A comprehensive methodology for recordingstratigraphy and its application in the MEMOLA Project. *Rev. Disegnarecon*, 10(9).

SALVADOR-GARCÍA, E. (2020). *Protocolo HBIM para una gestión eficiente del uso público del patrimonio arquitectónico*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València.

TUCCI, G., BONORA, V., CONTI, A. Y FIORINI, L. (2017) High-quality 3d models and their use in a cultural heritage conservation project. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42: 687

WANDERLEY FERREIRA LOPES, P. (2018). *Modelos digitales de información-sig y grafos- aplicados en el patrimonio: la fábrica edilicia en el antiguo reino de Sevilla en el tránsito a la edad moderna*. (Tesis Doctoral Inédita). Universidad de Sevilla, Sevilla.

ZUPIC I. Y ČATER, T. (2015). Métodos bibliométricos en gestión y organización. *Métodos de investigación organizacional*, 18(3): 429-472.



APROXIMACIÓN AL DISEÑO DE UN PROTOCOLO PARA LA PLANIFICACIÓN DE ITINERARIOS CULTURALES MEDIANTE LA INTEGRACION DE MODELOS HBIM EN SIG

Salvador-García, Elena^a; Teruel-Serrano, María Dolores^b y Marqués-Mateu, Ángel^c; ^aFundación C.V. Conjunto San Juan del Hospital de Valencia, España - salvadorgarcia.elena@gmail.com, ^bDpto. de Economía y Ciencias Sociales / Centro de Investigación PEGASO, Universitat Politècnica de València, España - dteruel@upvnet.upv.es, ^cDpto. de Ingeniería Cartográfica Geodesia y Fotogrametría Universitat Politècnica de València, España - amarques@cgf.upv.es

Abstract

The design of protocols is based on a deep knowledge of the needs of the responses to which it is intended to respond, as well as the means and instruments to be used. The pandemic that we are currently suffering from the SARS-CoV-2 infection and its suffering, Covid-19, has led us to a profound rethinking of the way to design and plan itinerary tourism, both urban and territorial. The working principles of the Social Sciences together with the Artificial Design Sciences allow us to recognize the models and hypotheses on which we will rely for the implementation of GIS (Geographic Information System) and BIM (Building Information Modelling) are presented as an aid in responding to these new strategy planning responses. GIS, allows access to the location and analysis of the different areas, environments, itineraries and buildings through layers of cartographic information. On the other hand, BIM provides virtual models for planning the strategies of the proposals and alternatives. The present contribution presents the hypotheses for the design of the protocols that will allow the planning and implementation of tourist itineraries using GIS and BIM.

Keywords: Heritage, Management, Itinerary, Territory, Tourism, GIS, BIM.

Resumen

El diseño de protocolos se fundamenta en el conocimiento profundo de las necesidades a las que se aspira dar respuesta, así como de los medios e instrumentos a utilizar. La pandemia que actualmente estamos sufriendo por la infección SARS-CoV-2 y su padecimiento, Covid-19 ha conducido a un profundo replanteamiento del modo de diseñar y planificar los itinerarios turísticos, tanto de carácter urbano como territorial. Los principios de trabajo de las Ciencias de lo Social junto con las Ciencias del Diseño de lo Artificial permiten reconocer los modelos e hipótesis que serán la base para la implantación de SIG (Sistema de Información Geográfica) y BIM (Building Information Modelling). Se presentan como una ayuda para dar respuesta a este nuevo escenario de planificación de las estrategias. SIG, permite el acceso a la localización y el análisis de las diferentes áreas, entornos, itinerarios y edificios mediante capas de información cartográfica. Por otro lado, BIM, proporciona modelos virtuales para la planificación de las estrategias de las propuestas y alternativas. En la presente aportación se presentan las hipótesis para el diseño de los protocolos que permitirán la planificación y la implementación de los itinerarios turísticos mediante SIG y BIM.

Palabras clave: Patrimonio, Gestión, Itinerario, Territorio, Turismo, SIG, BIM.

Introducción

Esta comunicación presenta parte de los trabajos iniciales relativos al proyecto de I+D+i de la convocatoria 2020 orientada a los Retos de la Sociedad del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020 con la referencia PID2020-119088RB-I00, cuyo título es Análisis y desarrollo de la integración HBIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino, siendo el acrónimo HBIMSIG-TURISMO.

Si bien la Carta Internacional de Turismo Cultural (ICOMOS, 1999), señala que el turismo favorece la conservación de la cultura, por contribuir a dar vida al patrimonio, reforzar los vínculos entre la sociedad y el monumento y promover actitudes de aprecio e interés por su conservación, también advierte que el turismo excesivo o mal gestionado puede poner en peligro la naturaleza física del patrimonio natural y cultural, su integridad y sus características identificativas.

El diseño de itinerarios turístico-culturales constituye una vía para impulsar mecanismos de intervención sobre el territorio y evitar efectos indeseables como es la saturación turística de determinadas zonas urbanas (Ruiz et al., 2014; Doctor, 2011). La planificación de los itinerarios culturales persigue facilitar la accesibilidad física y una adecuada accesibilidad intelectual de los visitantes a los bienes patrimoniales que lo componen (Hernández, 2011). Desde la década de los años '90 del siglo XX, profesionales e instituciones en materia de conservación están desarrollando técnicas y herramientas con esta finalidad (Viñals et al., 2017). En relación con la accesibilidad física, la Capacidad de Carga Recreativa es una técnica que determina el número máximo de visitantes que puede admitir un espacio patrimonial sin poner en riesgo su conservación (Manning y Lawson, 2002). Por otro lado, la gestión de los flujos de los visitantes persigue distribuir las presiones turísticas en el espacio patrimonial (Troitiño-Vinuesa, 2000). La accesibilidad intelectual va dirigida a comunicar y divulgar el significado del patrimonio con el fin de que los visitantes desarrollen actitudes de respeto, aprecio y protección por el patrimonio. La técnica de comunicación estratégica que se emplea para lograr este objetivo es la interpretación del patrimonio basada en Ham (1992) y cuyas soluciones, adaptadas, se dedican a la aplicación de herramientas cognitivas basadas en el storytelling, creación de relatos interpretativos claros, identificación de emociones y conexión con hechos históricos a través de anécdotas, entre otros.

Durante los últimos años se ha identificado una falta de eficiencia en la gestión tradicional de la información del patrimonio arquitectónico debido a que la información generada por los equipos multidisciplinares que participan se encuentra generalmente dispersa, desactualizada y con restricciones de acceso (Historic England, 2017). En relación con la gestión turística de los bienes patrimoniales, Salvador-García (2020) ha evidenciado que este sistema de trabajo tradicional genera bajos niveles de eficiencia, dificulta la toma de decisiones y reduce el rigor y la calidad de la visita. Este hecho unido a la actual pandemia producida por el SARS-CoV-2 (Covid-19) ha conducido a un profundo replanteamiento en el modo de abordar la gestión turística de los bienes patrimoniales y la planificación de los itinerarios culturales fundamentada en las medidas de protección y distanciamiento entre grupos de visitantes (Zecca et al., 2020). En este sentido la Secretaria de Turismo de España insta a las administraciones públicas a “coordinarse con los proveedores de servicios para realizar las actividades sin riesgos ni aglomeraciones”. Ante este nuevo paradigma, los actuales sistemas de información que se apoyan en nuevas tecnologías pueden dar respuesta a las nuevas necesidades en la planificación de los itinerarios turísticos.

Así, Building Information Modelling (BIM) es una metodología de trabajo colaborativa, que apoyada por tecnologías digitales, genera métodos más eficientes para el diseño, ejecución y mantenimiento de la edificación (HM Government, 2015). La aplicación de BIM para los bienes patrimoniales, denominado con el término de Heritage o Historic BIM (HBIM) ha demostrado que mejora la accesibilidad al conocimiento de las distintas disciplinas involucradas, la toma de decisiones y la gestión eficiente del bien a lo largo de todo su ciclo de vida (Historic England, 2017). Por otro lado, el Sistema de Información Geográfica, denominado comúnmente con el término SIG, es un conjunto de herramientas que permiten integrar, almacenar, analizar, compartir y mostrar información geográficamente referenciada e incorporar de forma sencilla otros aspectos

socio-culturales, económicos, y ambientales que facilitan la toma de decisiones de una manera más eficaz (Burrough y McDonnell, 1998).

1. Estado de la cuestión

Si bien HBIM es un campo de investigación relativamente reciente, un estudio desarrollado por Bulgarelli-Bolaños et al. (2020) ha evidenciado un notable aumento en la producción científica en materia de HBIM durante los últimos cuatro años, especialmente en países como Italia, España y Reino Unido. Algunos autores han explorado diferentes vías para documentar el patrimonio arquitectónico mediante HBIM (García-Valldecabres et al., 2018; Castellano-Román y Pinto-Puerto, 2019). Otras líneas de investigación se han centrado en estudiar la aplicación de HBIM como soporte para las acciones de conservación preventiva (Angulo-Fornos y Castellano-Román, 2020) y para el diagnóstico y monitorización de los daños como base para mejorar las labores de restauración (Bruno et al. 2018). Además, los estudios de Salvador-García et al. (2019) han demostrado por primera vez que HBIM, y en particular el software REVIT de Autodesk, resulta una herramienta útil para analizar, planificar y gestionar más eficientemente las visitas públicas de los bienes patrimoniales (figura 1).

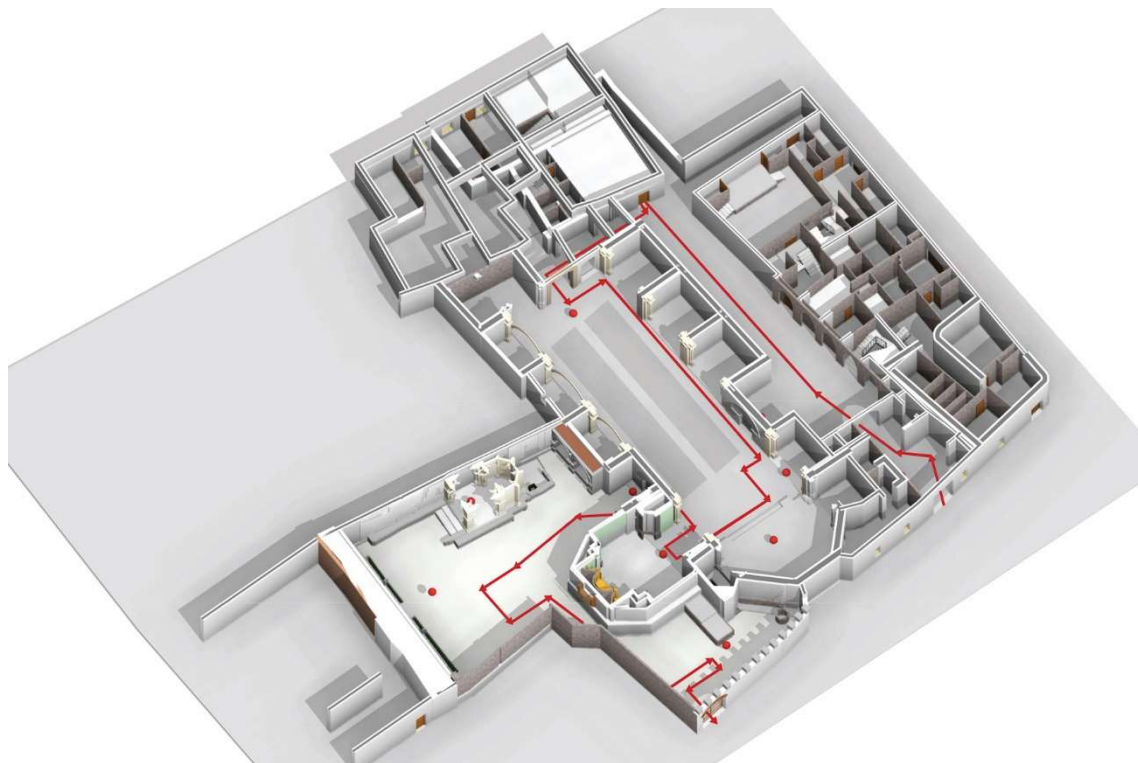


Fig. 1. Modelo HBIM de San Juan del Hospital con el recorrido de la visita turística. Fuente: (Salvador-García et al., 2019)

Por otro lado, los beneficios de este sistema de trabajo está motivando el desarrollo de documentos directrices como protocolos y guías que ayuden a los profesionales del sector de la conservación del patrimonio a implementar de forma exitosa HBIM. Así, la institución Historic England (2017) publicó la guía BIM for Heritage y recientemente ha publicado la guía para el desarrollo del modelo de información para la gestión de los bienes patrimoniales (Hull, J., y Bryan, P., 2019). En el ámbito español BuildingSMART Spanish Chapter (2018) redactó el documento 14 de la Guía uBIM que hace referencia al Patrimonio Cultural. Por otro lado, Jordán (2019) propuso el primer Protocolo HBIM que engloba el ciclo completo de un proyecto patrimonial y Salvador-García (2020) desarrolló por primera vez un Protocolo HBIM específico para el uso público del patrimonio que incorpora sus cuatro aspectos: conservación preventiva, gestión de visitantes, interpretación del patrimonio y divulgación.

En cuanto a la integración SIG/BIM, actualmente existe un importante esfuerzo en el desarrollo de softwares con el fin de combinar conjuntos de datos procedentes de ambas tecnologías. Este impulso se enmarca en el contexto de conceptos recientes como las ciudades inteligentes o el Internet de las cosas (Ma and Ren, 2017) y presenta como uno de los principales desafíos la compatibilidad y unificación de los formatos de datos. Algunos autores proponen incluso una extensión al concepto BIM que han denominado Urban Information Modelling (UIM) para llevar a cabo un alto nivel de integración (de Laat y van Berlo, 2011; Mignard y Nicolle, 2014; ISO, 2018).

Los resultados de la revisión de la literatura científica revelan que HBIM genera métodos más eficientes para documentar, proyectar, mantener y gestionar el patrimonio arquitectónico. Su aplicación específica para la gestión turística de los bienes patrimoniales ha demostrado que esta fuente de información unificada y fiable facilita la toma de decisiones para el diseño del itinerario turístico, la gestión de los flujos de visitantes y el cálculo de la Capacidad de Carga Recreativa de manera más integral. Del mismo modo, la producción científica relativa a la integración de SIG/BIM ha evidenciado que existe un gran interés por combinar la información de ambas bases de datos para facilitar la toma de decisiones relativas a diferentes aspectos de las ciudades. Sin embargo, no se han encontrado estudios específicos que exploren la integración de modelos HBIM en SIG para planificar los itinerarios turísticos urbanos ni ningún documento directriz que ayude a los profesionales a implementarlo con éxito.

2. Objetivos de la investigación

Por todo lo anteriormente expuesto, esta investigación plantea la hipótesis de que la integración de modelos HBIM en SIG puede mejorar la eficiencia en la planificación de los itinerarios turísticos en un entorno geográfico específico.

Este artículo forma parte de una investigación más amplia cuya finalidad es desarrollar un protocolo para diseñar y planificar los itinerarios turísticos mediante la integración de modelos HBIM en SIG. Dado que el diseño de protocolos se fundamenta en el conocimiento profundo de las necesidades a las que aspira dar respuesta, el objetivo específico de este artículo es identificar las necesidades actuales en la planificación de los itinerarios turísticos como primera fase para el futuro desarrollo del protocolo.

3. Metodología de investigación

Como se ha nombrado anteriormente, este artículo se centra en la identificación de las necesidades actuales en la planificación de los itinerarios turísticos, es decir, los agentes que intervienen, los documentos entregables que desarrollan y las dificultades que se derivan del sistema de trabajo tradicional y de la pandemia actual.

Para identificar estas necesidades se ha empleado la metodología del Estudio de Casos. Según Ragin (2000) el Estudio de Casos es una estrategia de investigación empírica de uno o de unos pocos casos, cuya finalidad es analizar su configuración y la de casos similares para desarrollar explicaciones teóricas.

El caso de estudio analizado ha sido la “Ruta del Grial y arte religioso” que se desarrolla en la ciudad de Valencia y que recorre tres monumentos de primera jerarquía: la Catedral de Valencia, el Conjunto Histórico de San Juan del Hospital y la Iglesia de San Nicolás de Bari.

Las técnicas que se han empleado para recoger datos del caso de estudio han sido: la observación directa y participante a partir de visitas públicas y el análisis de documentación técnica específica en la planificación de itinerarios turísticos y gestión turística de los monumentos.

4. Resultados

El apartado de resultados presenta, en primer lugar, la “Ruta del Grial y arte religioso”, así como los monumentos que conforman esta ruta, y en segundo lugar, expone las necesidades en la planificación de los itinerarios turísticos como resultado de la observación directa y participante, el análisis de

documentación técnica específica y de la experiencia profesional de los autores. Además, considerando las capacidades de HBIM y SIG, identifica las potencialidades de la integración de ambas bases de datos para mejorar la eficiencia en la planificación de los itinerarios turísticos.

4.1. Caso de estudio

La Ruta del Grial y arte religioso es el nombre que identifica el itinerario cultural urbano en la ciudad de Valencia y que parte de un diseño propuesto por la Fundación Visit Valencia (2021) como institución responsable de la gestión turística de la ciudad. Según las fuentes consultadas, la ruta parte de la oficina de Turismo de la Calle de la Paz para alcanzar la iglesia de San Juan del Hospital. A continuación, se dirige a la Catedral de Valencia, y por último, finaliza en la iglesia de San Nicolás. No obstante, cabe apuntar que este recorrido no es único y se observa que cada empresa turística confecciona su itinerario atendiendo a su propia interpretación o conveniencia. En la figura 2 se muestra el recorrido lineal que hemos propuesto para este estudio. Este recorrido se ha realizado usando datos públicos y software libre. Se han creado dos capas de información, una de ellas con los puntos de interés que representan los monumentos y la otra con una polilínea que marca el recorrido. La cartografía de fondo es OpenStreetMap, un mapa colaborativo que en la mayoría de ciudades tiene un nivel de detalle adecuado a las necesidades de representación de una ruta turística.

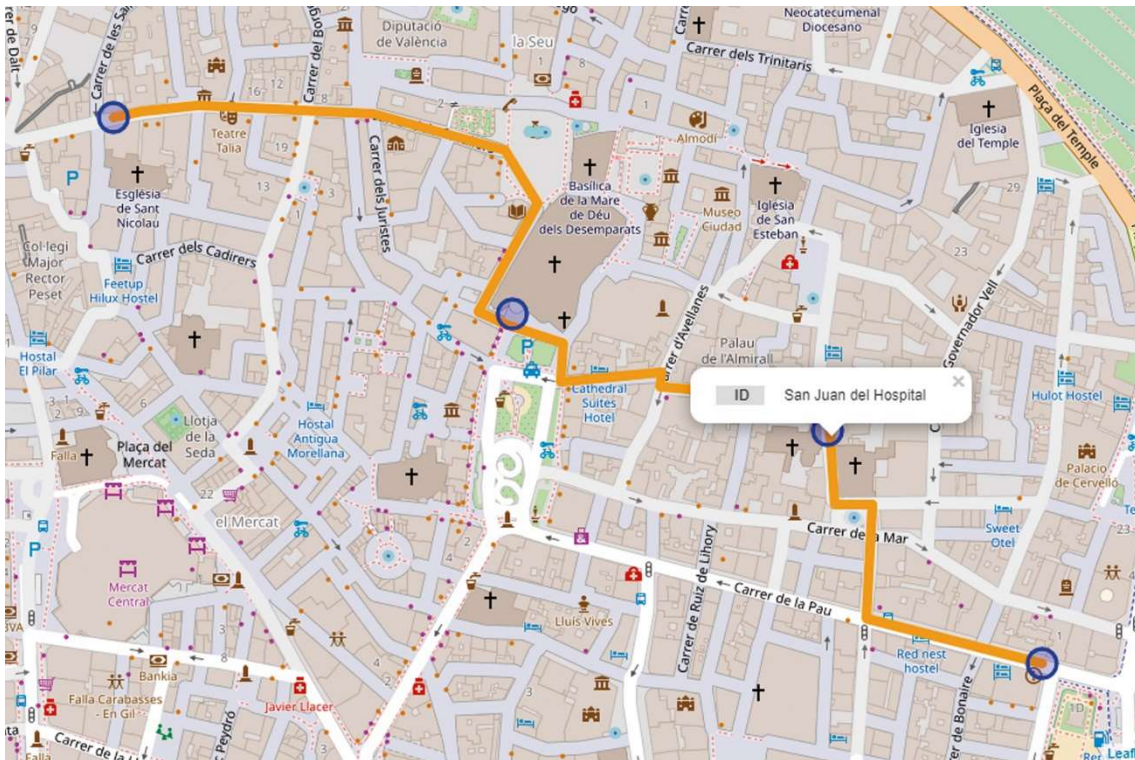


Fig. 2. Recorrido propuesto para la "Ruta del Grial y arte religioso". Fuente: propia

Una vez descrito el recorrido, pasamos a presentar brevemente los monumentos que forman parte del mismo (figura 3).

El conjunto histórico de San Juan del Hospital se sitúa en la calle Trinquete Caballeros nº 5 de Valencia. Fue fundado a mediados del siglo XIII por la Orden religioso-militar de San Juan del Hospital de Valencia, tras la reconquista de la ciudad. En origen el conjunto estuvo formado por la iglesia, el hospital, el cementerio y los espacios residenciales. En la actualidad conserva la iglesia, un patio por su lado norte y otro recayente al lado sur donde se encuentra el antiguo cementerio medieval. Está declarado Bien de Interés Cultural (BIC) con la categoría de Monumento (Ayuntamiento de Valencia, 2010) y Museo (Consellería de Cultura, Educación y Ciencia de la Comunidad Valenciana, 1997). Actualmente comparte el uso religioso y el uso público. Es de titularidad privada y la Fundación de la Comunidad Valenciana conjunto de San Juan del Hospital de Valencia es la responsable de la gestión del Monumento.

La Catedral de Valencia está situada en la Plaza de la Virgen, nº 10. Tiene la declaración de BIC con la categoría de Monumento. Según el Catálogo de Bienes y Espacios Protegidos (Ayuntamiento de Valencia, 2015a) data de los siglos XIII-XIV, aunque ha sufrido diferentes intervenciones a lo largo del tiempo. En la actualidad el templo consta de tres naves con capillas entre contrafuertes con crucero, tiene tres portadas y adosadas una torre campanario y la capilla del santo Cáliz. A finales del siglo XX se recuperó la estructura gótica a excepción del presbiterio que conserva el estilo barroco, y la cabecera y capillas laterales que conservan la remodelación clasicista del XVIII. En la actualidad la Catedral compagina el uso religioso y el uso público.

La iglesia de San Nicolás de Bari y San Pedro Mártir está situada en la Plaza de Nicolás, nº 8 de Valencia. Tiene la declaración de BIC con la categoría de Monumento (Ayuntamiento de Valencia, 2015b). Su actual construcción data de mitad del siglo XV, siendo de estilo gótico tardío. Consta de una única nave rectangular cubierta por bóvedas de crucería, capillas entre contrafuertes y ábside poligonal. Actualmente se conserva la reforma barroca del siglo XVIII realizada por Juan Pérez Castiel y las pinturas al fresco diseñadas por Antonio Palomino y ejecutadas por su discípulo Dionís Vidal. La iglesia pertenece al Arzobispado de Valencia y actualmente la gestión cultural del monumento la realiza una empresa privada.



Fig. 3. San Juan del Hospital (izquierda), Catedral de Valencia (centro) y San Nicolás (derecha). Fuente: propia

4.2. Necesidades en la planificación de los itinerarios turísticos

4.2.1. Agentes involucrados

Tal como queda ilustrado en la figura 4, los agentes que intervienen en la gestión turística de los bienes patrimoniales individuales son: la Institución gestora, que puede ser pública o privada, el arquitecto conservador, arqueólogo, historiador, restaurador gestor cultural y turístico, sociólogo, experto en interpretación, copy-editor, guía intérprete, experto en comunicación estratégica, diseñador gráfico-multimedia, vigilante de sala, conserje, personal de seguridad, personal de mantenimiento y personal de administración. Cabe destacar que la participación de estos profesionales dependerá, en todo caso de las necesidades del monumento y de los recursos disponibles.

Por otro lado, los agentes involucrados en la planificación y gestión de los itinerarios culturales si bien son básicamente los mismos que intervienen en la gestión de un bien patrimonial, existen ligeras diferencias. En términos generales, la administración pública promueve la creación de estos itinerarios turísticos y encarga el diseño del mismo a un sistema experto (consultoras, universidades, en ocasiones los propios técnicos de turismo o culturales). Además, en el recorrido se deben considerar la presencia de servicios de oferta turística como restaurantes, comercios, etc. que dan soporte a la ruta. La participación activa de las empresas prestatarias de servicios turísticos es fundamental, tanto en la co-creación y mejora de estos itinerarios culturales en un afán de diferenciarse de la competencia y orientarse a otros segmentos de demanda más especializados, como en la capacidad de obtener información sobre los usuarios.

El usuario final al que van dirigidas las rutas turísticas, es decir, el visitante, es un agente fundamental que hay que tener en cuenta en ambos casos.

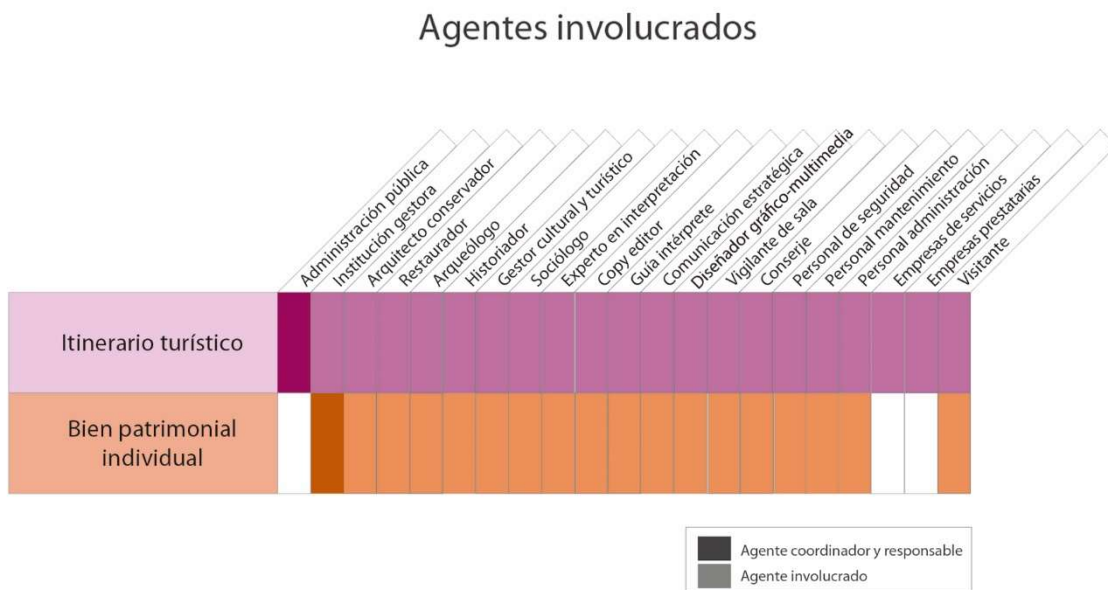


Fig. 4. Agentes involucrados en la planificación de los itinerarios turísticos y de las visitas públicas de los bienes patrimoniales individuales. Fuente:propia

4.2.2. Documentos entregables

Los documentos entregables que se desarrollan y los formatos que se emplean mediante el sistema de trabajo tradicional para planificar la accesibilidad física e intelectual de los visitantes tanto en itinerarios turísticos como en los bienes patrimoniales que los componen, se han representado en la tabla 1 y tabla 2.

Tabla 1. Documentos entregables para planificar la accesibilidad física de los visitantes. Fuente: propia

ACCESIBILIDAD FÍSICA DE LOS VISITANTES	
ENTREGABLES	FORMATO
Estudio del perfil del visitante	Doc, Pdf, Xls,
Identificación de los puntos problemáticos	Doc, dwg, Pdf
Zonificación de usos	Doc, dwg, Pdf
Planimetría de unidades espaciales	Doc, dwg, Pdf
Planimetría de superficies útiles de recreación	Doc, dwg, Pdf

Planimetría de superficies no útiles de recreación	Doc, dwg, Pdf
Cálculo de la Capacidad de Carga Recreativa	Doc, Xls
Determinación del flujo de visitantes	Doc, Pdf
Diseño del itinerario turístico	Dwg, Pdf
Diseño señalización	Jpg, Pdf

Tabla 2. Documentos entregables para planificar la accesibilidad intelectual de los visitantes. Fuente: propia

ACCESIBILIDAD INTELECTUAL DE LOS VISITANTES	
ENTREGABLES	FORMATO
Análisis del uso y gestión previo	Doc, Pdf
Identificación de los valores intrínsecos	Dwg, Doc, Odbc
Desarrollo del programa de interpretación	Doc, dwg, Pdf

4.2.3. Dificultades

Las principales dificultades con las que se encuentran actualmente los agentes involucrados en la planificación y gestión del acceso físico de los visitantes en un espacio patrimonial son: dificultades para disponer de planimetría digitalizada actualizada del bien, adquirir datos de la movilidad de los visitantes en tiempo real, representar los puntos problemáticos de saturación e infrautilización de los espacios, planificar la coordinación de itinerarios simultáneos y anticipar los problemas derivados de ellos. En relación con la accesibilidad intelectual de los visitantes, la dispersión de la información técnica del bien provoca un aumento en el tiempo requerido para identificar y evaluar los valores intrínsecos y turísticos de los recursos como base para el desarrollo del programa de interpretación del patrimonio. Además, la limitación de acceso a la información actualizada de los recursos visitables por parte del guía-intérprete, puede dar lugar a improvisaciones en el relato cuando algunos bienes muebles se han reubicado o algunos espacios están cerrado temporalmente. Con respecto a los materiales divulgativos, la no reutilización para fines divulgativos de los modelos 3D que se desarrollaron para documentar el bien, provoca sobrecostes y afecta al rigor en la divulgación.

4.3. Potencialidades de la integración de HBIM en SIG para la planificación de itinerarios culturales

Considerando las capacidades de la integración de HBIM en SIG se cree que podría optimizar la planificación de los itinerarios turísticos en un entorno geográfico determinado. Una de las ventajas principales de la integración de ambas bases de datos es que permite la combinación de información a diferente escala, tanto a escala de edificio como a escala territorial.

A escala territorial, una vez localizados todos los elementos de interés del itinerario y los servicios de oferta turística en la trama urbana se podría diseñar el itinerario turístico en base a los principios de accesibilidad física e intelectual reseñados anteriormente. Además, se podría:

- Valorar distintas alternativas de itinerarios temáticos en base a las características comunes de los monumentos.
- Coordinar varios itinerarios simultáneos.
- Compatibilizar el uso turístico con el residencial teniendo en cuenta los picos de uso intensivo del tráfico, ocio, ocupación de las aceras y la existencia de eventos temporales masivos como Fallas, Navidad o mercadillos, puestos itinerantes de venta de comida, souvenirs, etc.
- Identificar virtualmente los problemas de los flujos de visitantes considerando el perfil del visitante y su confort físico y psicológico así como las visitas destinadas a personas con diversidad funcional.
- Planificar los recursos personales necesarios y estimar los costes.

A escala de edificio, HBIM permitiría recalcular la Capacidad de Carga Recreativa según la distancia social recomendada en función del nivel de riesgo de cada momento, diseñar el patrón de la visita, transmitir con

mayor rigor el relato interpretativo a los visitantes y facilitar su comprensión mediante el apoyo de materiales divulgativos.

El análisis posterior de una ruta ya implementada permitiría disponer de la información espacial y temporal de los visitantes y detectar preferencias que se podrían incorporar al diseño de la ruta. Aunque este aspecto tiene implicaciones de privacidad de datos que habría que estudiar con detalle para respetar normativas fundamentales hoy en día como el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD), se cree que podría ser viable técnicamente mediante el uso de una app móvil proporcionada por el promotor privado que garantice la anonimidad de los datos de los usuarios.

Por otro lado, se ha detectado algunas limitaciones para la integración del binomio HBIM en SIG ya que el tratamiento masivo de datos requiere una potencia de computación adecuada. En este sentido existen varios productos de reciente aparición con capacidades de alto grado de integración SIG-BIM como ArcGIS Pro que incluye un mecanismo de integración consistente en la importación de formatos de datos BIM al entorno de trabajo SIG.

5. Discusión

Los resultados relativos a las necesidades de planificación revelan que los agentes involucrados en la gestión turística de los bienes patrimoniales individuales y de los itinerarios culturales provienen de muy distintas disciplinas y se requiere una colaboración más integrada entre ellos. Por otro lado, se han detallado los documentos entregables necesarios para planificar la accesibilidad física e intelectual de los visitantes y los formatos que se emplean en el sistema de trabajo tradicional, así como las principales dificultades detectadas. Por último, se han identificado las potencialidades más importantes de la integración de HBIM en SIG para optimizar la planificación de itinerarios culturales a escala urbana.

6. Conclusiones

Los resultados de este estudio representan un importante avance en la identificación de las necesidades actuales en la planificación de los itinerarios turísticos en un entorno urbano. Otra de las principales contribuciones de este trabajo ha sido reconocer las potencialidades de la integración de modelos de información HBIM y SIG para un uso totalmente innovador. En relación con las implicaciones prácticas de este estudio, se cree que la integración de HBIM en SIG puede ser especialmente útil para la gestión de ciudades monumentales que cuentan con una elevada afluencia de visitantes y exigentes medidas de conservación. En relación con las limitaciones de la investigación, considerando los recursos y tiempo limitado para su desarrollo, se cree que la elaboración de entrevistas a los agentes involucrados permitiría refinar los documentos entregables, las dificultades y potencialidades de la integración de HBIM en SIG. No obstante, esta fase ha sido fundamental y sienta las bases para el desarrollo futuro de una propuesta de protocolo para la planificación de itinerarios turísticos mediante la integración de HBIM en SIG, y su implementación a diferentes casos de estudio que permita evaluar y mejorar este protocolo.

Referencias

ANGULO-FORNOS, R., y CASTELLANO-ROMÁN, M. (2020). "HBIM as support of preventive conservation actions in heritage architecture. Experience of the renaissance quadrant facade of the cathedral of Seville" en *Applied Sciences*, vol 10, nº 7, p. 2428.

AYUNTAMIENTO DE VALENCIA (2010). *Catálogo de bienes y espacios protegidos. Templo y dependencias de San Juan del Hospital*. https://www.valencia.es/revisiionpgou/catalogo/urbano/1.37_BIC_TEMPLO_Y_DEPENDENCIAS_DE_SAN_JUAN_DEL_HOSPITAL_firmado.pdf [Consulta: 02 de abril de 2021].

AYUNTAMIENTO DE VALENCIA (2015a). *Catálogo de bienes y espacios protegidos. Santa Iglesia Catedral basilica metropolitana de Santa María*. [http://www.valencia.es/ayuntamiento/urbanismo2.nsf/0/57C924A010DED965C1257E740039E0B7/\\$FILE/01-40%20Santa%20Iglesia%20Catedral%20Basilica%20Metropolitana%20de%20Santa%20Maria_firmado.pdf?OpenElement](http://www.valencia.es/ayuntamiento/urbanismo2.nsf/0/57C924A010DED965C1257E740039E0B7/$FILE/01-40%20Santa%20Iglesia%20Catedral%20Basilica%20Metropolitana%20de%20Santa%20Maria_firmado.pdf?OpenElement). [Consulta: 03 de abril de 2021].

- AYUNTAMIENTO DE VALENCIA (2015b). *Catálogo de bienes y espacios protegidos. Iglesia de San Nicolás de Bari y San Pedro Mártir*.
[http://www.valencia.es/ayuntamiento/urbanismo2.nsf/0/57C924A010DED965C1257E740039E0B7/\\$FILE/01-30%20Iglesia%20de%20San%20Nicolas%20de%20Bari%20y%20San%20Pedro%20M%C3%A1rtir_firmado.pdf?OpenElement](http://www.valencia.es/ayuntamiento/urbanismo2.nsf/0/57C924A010DED965C1257E740039E0B7/$FILE/01-30%20Iglesia%20de%20San%20Nicolas%20de%20Bari%20y%20San%20Pedro%20M%C3%A1rtir_firmado.pdf?OpenElement). [Consulta: 03 de abril de 2021].
- BRUNO, S., DE FINO, M. y FATIGUSO, F. (2018). "Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management" en *Automation in Construction*, vol. 86, p. 256-276.
- BUILDINGSMART SPANISH CHAPTER (2018). *Guía de usuarios BIM aplicado al Patrimonio Cultural*.
<https://www.buildingsmart.es/bim/guías-ubim/> [Consulta: 20 de marzo de 2021].
- BULGARELLI-BOLAÑOS, J. P., HERNÁNDEZ-SALAZAR, I., y PINTO-PUERTO, F. (2020). "Evolución de la producción científica sobre los conceptos HBIM y modelado 3D en la gestión de obras patrimoniales" en *Revista Tecnología en Marcha*, p. 89.
- BURROUGH, P.A. y MCDONNELL, R.A. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford: Oxford University Press.
- CASTELLANO-ROMÁN, M. y PINTO-PUERTO F. (2019). "Dimensions and Levels of Knowledge in Heritage Building Information Modelling, HBIM: The model of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain)" en *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, vol. 14, n.º. mayo, p. 1-12.
- CONSELLERÍA DE CULTURA, EDUCACIÓN Y CIENCIA DE LA COMUNIDAD VALENCIANA (1997). *Museo Conjunto Hospitalario de San Juan del Hospital*. http://www.dogv.gva.es/datos/1997/04/16/pdf/1997_6350.pdf [Consulta: 10 de abril de 2021].
- DE LAAT R. y VAN BERLO L. (2011). "Integration of BIM and GIS: The Development of the CityGML GeoBIM Extension" en: Kolbe T., König G., Nagel C. (eds) *Advances in 3D Geo-Information Sciences. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Berlin: Springer.
- DOCTOR A.M. (2011): "El itinerario como herramienta para la puesta en valor turístico del patrimonio territorial" en *Cuadernos de Turismo*, 27, p. 273-289.
- Fundación Visit Valencia (2021). <https://www.visitvalencia.com/shop/visitas-guiadas/visitas-guiadas-centro-historico/visita-guiada-ruta-santo-grial>. [Consulta: 22 de febrero de 2021].
- GARCÍA-VALLDECABRES, J.L., LÓPEZ-GONZÁLEZ, M.C. y JORDÁN-PALOMAR, I. (2018). "The Study of Architectural Heritage with HBIM Methodology. A Medieval Case Study". En: E. Castaño Perea y Echeverría Valiente E. (eds.), *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*. Springer, Cham, p. 945-955.
- HAM, S. (1992). *Environmental Interpretation. A practical guide for people with big ideas and small budgets*, Golden, Colorado (USA): Fulcrum Publishing. p. 456.
- HERNÁNDEZ RAMIREZ, J. (2011): "Los caminos del patrimonio. Rutas turísticas e itinerarios culturales" en *Pasos: Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, vol. 9, n.º 2, p. 225-236.
- HISTORIC ENGLAND (2017). *BIM for Heritage. Developing a Historic Building Information Model*. Swindon: Historic England.
- HM GOVERNMENT (2015). *Digital Built Britain. level 3 Building Information Modelling-Strategic Plan*. UK Government, n.º. febrero, p. 1-47.
- HULL, J., y BRYAN, P. (2019). *BIM for Heritage: Developing the Asset Information Model*. Historic England: Swindon, UK.
- ICOMOS (1999). *Carta Internacional sobre Turismo Cultural*. https://www.icomos.org/charters/tourism_sp.pdf. [Consulta: 13 diciembre 2020].
- ISO (2018). *Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Part 1: Data schema*. ISO 16739-1:2018. Geneva: ISO.
- Jordán Palomar, I. (2019). Protocol to manage heritage-building interventions using Heritage Building Information Modelling (HBIM). Tesis Doctoral. Valencia: Universitat Politècnica de València. <https://riUNET.upv.es/handle/10251/128416>. [Consulta: 7 de febrero de 2021].
- MA Z. y REN, Y. (2017). "Integrated Application of BIM and GIS: An Overview" en *Procedia Engineering*, vol. 196, p. 1072-1079.
- MANNING, R.E. y LAWSON, S.R. (2002). "Carrying Capacity as "Informed Judgment": The Values of Science and the Science of Values" en *An International Journal for Decision Makers, Scientists and Environmental Auditors*, vol. 30, n.º. 2, p. 157-168.
- MIGNARD C. y NICOLLE C. (2014). "Merging BIM and GIS using ontologies application to urban facility management in ACTIVE3D" en *Computers in Industry*, vol. 65, issue 9, p. 1276-1290.
- RAGIN, C.C. (2000). *Fuzzy-Set Social Science*. Chicago y Londres: The University of Chicago Press.

Ruiz, J. M., Serrano, M. L. T., & Serrano, V. G. (2014). "Potenciación del patrimonio natural, cultural y paisajístico con el diseño de itinerarios turísticos" en *Cuadernos de turismo*, vol 34, p. 189-211.

SALVADOR-GARCÍA, E. (2020). *Protocolo HBIM para una gestión eficiente del uso público del patrimonio arquitectónico*. Tesis Doctoral. Valencia: Universitat Politècnica de València, <https://riunet.upv.es/handle/10251/146811>. [Consulta: 15 de abril de 2021].

SALVADOR-GARCÍA, E., GARCÍA-VALLDECABRES, J.L., VIÑALS, M.J. Y MORET, S. (2019). "Heritage Building Information Modelling (HBIM) como herramienta para la gestión del uso público del patrimonio arquitectónico" en: B. Fuentes Giner y I. Oliver Faubel (eds.), *EUBIM 2019*. València: Editorial Universitat Politècnica de València, p. 35-46.

TROITIÑO-VINUESA, M.Á. (2000). "Turismo y sostenibilidad: la Alhambra y Granada" en *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, vol. 20, p. 377-396.

VIÑALS, M., MAYOR, M., MARTÍNEZ-SANCHIS, I., ALONSO-MONASTERIO, P. y MORANT, M. (2017). *Turismo Sostenible y Patrimonio. Herramientas para la puesta en valor y planificación*. València: Universitat Politècnica de València.

Zecca, C., Gaglione, F., Laing, R., & Gargiulo, C. (2020). "Pedestrian routes and accessibility to urban services: An urban rhythmic analysis on people's behaviour before and during the Covid-19" en *TeMA - Journal of Land Use, Mobility and Environment*, vol 13, nº 2, p. 241-256. <https://doi.org/10.6092/1970-9870/7051>.



LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA DEL PATRIMONIO CULTURAL. EL ESTADO DE LA CUESTIÓN EN LA ADAPTACIÓN A LA METODOLOGÍA BIM

García-Valdecabres, Jorge-Luis^a; López-González, M.^a Concepción^b; Cortes-Meseguer, Luis^c;
^aDpto. de Expresión Gráfica Arquitectónica / Centro de Investigación PEGASO, Universitat Politècnica de València, España - jgvalde@ega.upv.es, ^b Dpto. de Expresión Gráfica Arquitectónica / Centro de Investigación PEGASO, Universitat Politècnica de València, España - mlopezg@ega.upv.es, ^c Dpto. de Construcciones Arquitectónicas/ Centro de Investigación de Tecnología de la Edificación, Universitat Politècnica de València, España - luicorme@upv.es

Abstract

The preventive conservation of the architectural heritage is an essential work so that it allows the development of the own cultural activity for which the property is intended without affecting the indemnity conditions. It is also a good tool to save costs by preventing risks. There are different types of maintenance: corrective, preventive, and predictive maintenance. In this contribution we will develop the status of the implementation of the BIM methodology for this type of activity. The management of cultural heritage maintenance is carried out by multidisciplinary teams, although in many cases there are dysfunctions and lack of foresight. The BIM methodology is shown as an assistance to provide the solution to these difficulties. The methodology, BIM, is presented as a solution by proposing a common data environment from the generation of digital models of buildings, in which the different states and pathological manifestations can be recorded.

This contribution presents the progress of the state of the research question and the degree of implementation relative to the management of preventive maintenance in the architectural cultural heritage.

Keywords: preventive conservation, management, culture, heritage, architectural and HBIM.

Resumen

La conservación preventiva del patrimonio arquitectónico es un trabajo indispensable para para que permita el desarrollo de la actividad cultural propia a la que se destina el inmueble sin que afecte a las condiciones de indemnidad. Es también una buena herramienta para ahorrar costes mediante la prevención de riesgos. Existen distintos tipos de mantenimiento: el mantenimiento correctivo, el preventivo y el predictivo. En la presente aportación desarrollaremos el estado en que encuentra la implantación de la metodología BIM para este tipo de actividad. La gestión del mantenimiento cultural del patrimonio se lleva a cabo por equipos multidisciplinares, si bien, en muchos casos se producen disfunciones y falta de previsión. La metodología BIM se muestra como una asistencia para proporcionar la solución a estas dificultades. La metodología, BIM, se presenta como solución al proponer un entorno común de datos a partir de la generación de modelos digitales de los edificios, en los que se pueden registrar los diferentes estados y las manifestaciones patológicas

En la presente aportación se presenta el avance de cómo se encuentra el estado de la cuestión de las investigaciones y el grado de implantación relativo a la gestión del mantenimiento preventivo en el patrimonio cultural arquitectónico.

Palabras clave: conservación preventiva, gestión, cultura, patrimonio, arquitectónico y HBIM.

Introducción

La contribución que a continuación se expone, representa un parte de los trabajos iniciales elaborados entorno del proyecto de I+D+i de la convocatoria 2020 orientada a los Retos de la Sociedad, del Plan Estatal de Investigación Científica y Técnica y de Innovación 2017-2020 con la referencia PID2020-119088RB-I00, cuyo título es *Análisis y desarrollo de la integración BHIM en SIG para la creación de un protocolo de planificación turística del patrimonio cultural de un destino* y lleva por acrónimo; *HBIMSIG-TURISMO*.

La protección, y la conservación del patrimonio cultural se han convertido en un reto necesario para los pueblos y las naciones (ICOMOS, 1999). La Carta de Atenas de 1931 es clara y determinante al afirmar que la mejor garantía para la conservación de los monumentos viene del afecto y el respeto por parte de las personas. A la vez, aconseja destinar los bienes patrimoniales a una función útil para la sociedad. Asimismo, otras cartas internacionales confirman esta propuesta al afirmar que el uso público refuerza los vínculos entre la sociedad y el monumento promoviendo el interés social por su conservación.

El grado de aplicación de los procesos para llevar a cabo la Conservación Preventiva (CP) manifiesta la madurez que los agentes responsables del patrimonio cultural están avanzando en aras a lograr los hábitos propios de una gestión sostenible. Preservar el patrimonio engrandece a las personas. El Plan Nacional de (CP) se propone entre otros objetivos, lograr entre las personas y en el conjunto de la sociedad la adquisición de hábitos culturales que, a su vez, son la expresión manifiesta del modo en el que ejercen la tutela de los bienes declarados patrimonio cultural.

Conservación-restauración se define por parte del profesor Gaël de Guichen (Guichen, 2013): *... como todos aquellos medios o acciones, que como objetivo tiene la salvaguarda del patrimonio cultural tangible, que asegura la accesibilidad al mismo, de las generaciones futuras. La conservación preventiva se corresponde con la conservación curativa y la restauración. Todas estas medidas y acciones deberán respetar el significado y las propiedades físicas del bien cultural en cuestión.*

Gómez González, M. (Gómez, 2009), en la entrevista que realiza con motivo de la celebración del medio siglo de la publicación del libro titulado "Conservación de Antigüedades y Obras de arte" escrito por Plenderleith, J.H., 1957, resalta que se trata de una *estrategia que necesita un calendario y unos objetivos a corto, medio y largo plazo.*

De Guichen, G. (Guichen, 2013), define la CP como *... todas aquellas medidas y acciones que tengan como objetivo evitar o minimizar futuros deterioros o pérdidas. Se realizan sobre el contexto o el área circundante al bien, o más frecuentemente sobre un grupo de bienes sin tener en cuenta su edad o condición. Estas medidas y acciones son indirectas, pues no interfieren con los materiales y las estructuras de los bienes. No modifican, pues, la apreciación.*

Al dar a conocer el patrimonio, se motiva el aprecio social por su preservación, a la vez, que conlleva, el cuidado, también, por los recursos bienes muebles, pinturas murales, esculturas, etc. De tal forma, que se promueve e innova en técnicas y herramientas para mejorar la gestión sostenible entre el binomio patrimonio y turismo.

Sin embargo, el turismo cultural puede ser también una fuente de deterioro de los bienes muebles e inmuebles. Es por ello por lo que se hace imprescindible considerar en la CP la gestión de visitantes.

La gestión de visitantes va dirigida a proteger los recursos patrimoniales de los daños de estos y lograr la satisfacción de estos. Para alcanzar ambos objetivos, surge la necesidad de definir los estándares de control para planificar el número y cantidad de visitas y personas. García-Hernández, M. (García-Hernández, 2004).

La CP está encaminada a mantener las condiciones o estándares de indemnidad, la estabilidad, estanqueidad y la funcionalidad. Estas condiciones se pierden cuando se abandonan las tareas propias de la CP, precipitando la caducidad de las distintas garantías que soportan la integridad del bien. A ello hay que añadir que, con el paso del tiempo, o ante acontecer de unas circunstancias sobrevenidas, aparecen

vicios ocultos. La naturaleza evolutiva se documenta mediante el resultado de un minucioso estudio estratigráfico murario en el que se considera al edificio histórico como el conjunto de construcciones y transformaciones que se han ido produciendo a lo largo de su historia. Ello permite entender el carácter del patrimonio cultural a lo largo de los distintos periodos (Guía nº 14, 2018).

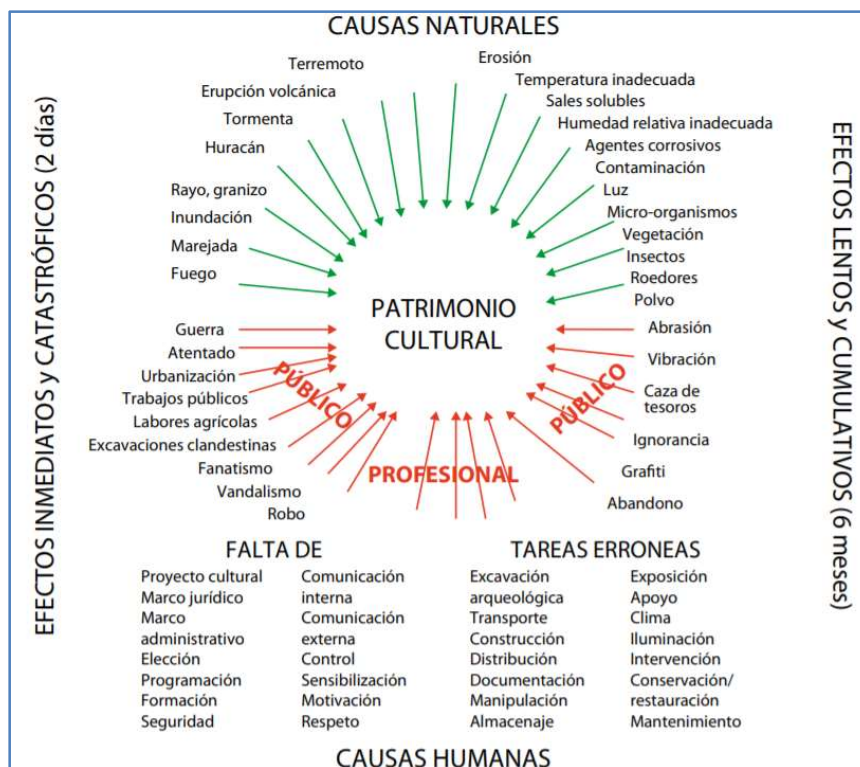


Fig. 1 Causas del deterioro de los bienes culturales. Fuente: De Guichen, G. (2013)

Se puede concluir que el deterioro suele proceder por una concatenación o suma de varias causas o, por no disponer de los recursos necesarios para las mejoras en la funcionalidad, en la falta de estanqueidad o en la inestabilidad estructural, que conducirán al colapso del bien de manera total o parcial.

El Plan Nacional de Conservación Preventiva propuesto por Herráez Ferreiro, *et al.*, (Herráez *et al.*, 2013) posee como objetivos las acciones de investigación para identificar y analizar los riesgos, los métodos y las técnicas de conservación, identificar los criterios y métodos de trabajo, la coordinación de las acciones, la optimización de los recursos y la forma de acceso a la información, así como la revisión de colecciones y fondos.

Así mismo, Almagro Gorbea, A. (2019) propone como el primer paso para la conservación el conocimiento y la interpretación a través del levantamiento o *relieve* del bien mediante la técnica de la fotogrametría arquitectónica. A partir de estos resultados ir incorporando el conjunto de las actividades encaminadas a la recuperación y conservación.

En los últimos años, el uso de modelos de información de edificios históricos (HBIM) se ha vuelto predominante y, por lo tanto, ha brindado una oportunidad de investigación. A diferencia de los edificios recién construidos, los componentes estructurales de los edificios históricos poseen unas configuraciones físicas únicas y han acumulado una gran cantidad de datos debidos a las diversas restauraciones sufridas, todos los cuales deben tenerse en cuenta al incorporar el proceso de modelado de información de la construcción del patrimonio edilicio.

Gestión de Riesgos (ISO 31000)

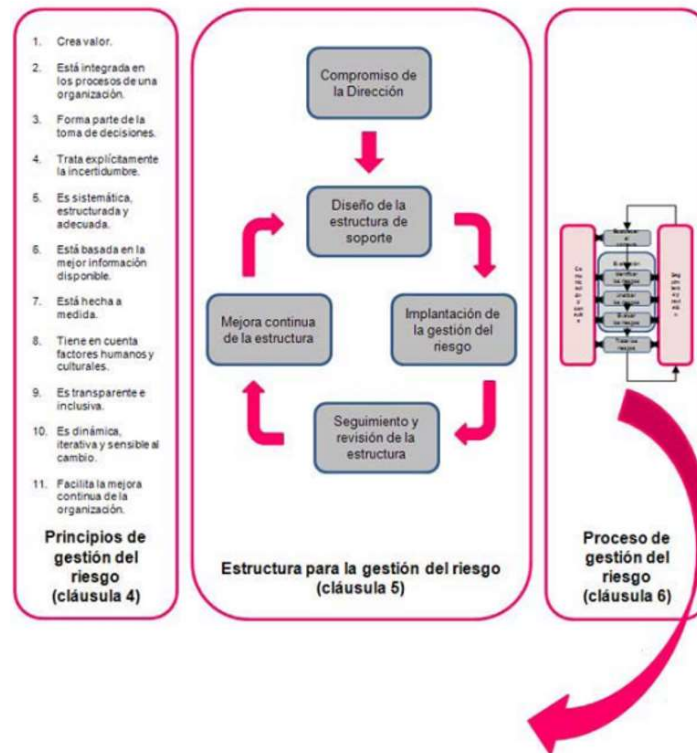


Fig. 2 Relación entre los Principios, la Estructura y los Procesos en la gestión del riesgo. Fuente: Plan Nacional de CP, (2017)

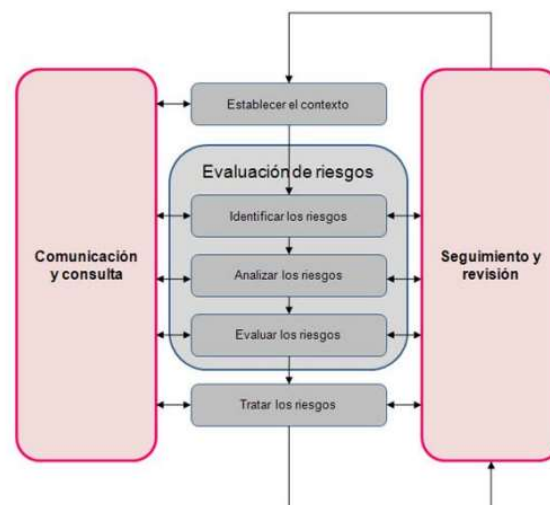


Fig. 3 Proceso de gestión del riesgo. Fuente: Plan Nacional de CP, (2017)

La eficacia del PC no se puede contrastar hasta que no se implanta en la institución y se verifica el resultado en los propios bienes culturales. El PCP de una institución no es simplemente un informe o un documento estático e inamovible, sino que debe ser una herramienta dinámica de gestión sometida al principio de mejora continua, aplicando la sistemática PDCA (PHVA, Planificar, Hacer, Verificar y Actuar, en español) o círculo de Deming (Herráez *et al.*, 2017).



Fig. 4 Ciclo de aplicación de la Sistemática PDCA o círculo de Deming. Fuente: Plan Nacional de CP, (2017)

Un problema añadido a la conservación y mantenimiento de edificios con valor patrimonial viene asociado a la visita turística. Se trata de un factor que debe ser tenido en consideración a la hora de elaborar el Plan de Conservación Preventiva (PCP). Conocidos el número de visitantes y la caracterización de su perfil, resulta necesario analizar la movilidad y el uso que hace el visitante del espacio patrimonial dado que estos se encuentran afectados por una sobrepresión o carga turística. La gestión del mantenimiento, la conservación preventiva y la explotación de bienes culturales puede ser llevada a cabo mediante metodología BIM de acuerdo con las características específicas del patrimonio histórico construido (Salvador-García, 2020).

1. Objetivos y metodología

La presente aportación tiene por objetivo principal establecer una aproximación a una revisión más sistemática de la literatura científica en torno a la gestión pública del patrimonio cultural arquitectónico enfocada a la CP, mediante las herramientas HBIM.

Para ello se han seguido los siguientes pasos: 1/ Diseño de la estrategia de búsqueda. 2/ Selección y sistematización por afinidad con los objetivos relacionados con la gestión pública del patrimonio cultural arquitectónico. 3/ Los resultados. 4/ Análisis e interpretación. 5/ Conclusiones.

Expondremos a continuación el diseño estratégico seguido para la obtención de resultados y el análisis de estos a partir de los datos obtenidos mediante la sistematización y segregación de materias.

2. Diseño de la estrategia de búsqueda

El diseño de la estrategia de búsqueda se plantea en dos bloques mediante la selección de artículos, manuales y estudios a través de palabras claves:

Bloque nº 1; Conservación Preventiva, Gestión Pública y HBIM.

Bloque nº 2; Patrimonio, Cultura, Sostenibilidad, Turismo y BIM.

Esta estrategia se plantea con la finalidad de conocer las personas y equipos, el marco teórico y los principios y métodos sobre los que se fundamentan las hipótesis de trabajo relativos a la CP y de la gestión pública del patrimonio para su adaptación a la metodología BIM, a partir de las aportaciones científicas consultadas. Las plataformas de búsqueda han sido: Google Scholar, Dialnet Plus, RiuNet, Science Research, ProQuest y Scopus.

3. Selección y sistematización por afinidad a los conceptos relacionados con la CP y la gestión pública del patrimonio cultural arquitectónico

3.1. Bloque nº 1: Conservación Preventiva, Gestión y HBIM

Los resultados del análisis de la literatura científica en este bloque se han dividido en cuatro apartados:

a) Las primeras aportaciones encontradas se corresponden con la gestión documental de los periodos constructivos y la manifestación patológica directamente relacionada con los mismos. En relación con estos aspectos los estudios estratigráficos son una fuente documental de inestimable valor y de obligado estudio para la arquitectura patrimonial.

La contribución de Martín Talaverano, R., *et al.*, (Martín Talaverano, R., *et al.*, 2018) presenta el marco, a partir del cual, se propone abordar la gestión documental atendiendo a la idiosincrasia propia de este tipo de edificación patrimonial. Esta, trata de cómo abordar los estudios sobre la secuencialidad y causalidad de cómo se encuentra el estado actual el edificio y su manifestación patológica. Se atiende, principalmente, sobre el estado en el que se encuentran las estructuras, punto de partida para redactar el proyecto de conservación. El artículo pone de relieve, entre otras cuestiones, la potencialidad de los análisis estratigráficos para el reconocimiento de la secuencialidad evolutiva del edificio y el estudio de la patología inherente a cada una de las etapas, lográndose, de este modo, un mayor conocimiento y, consecuentemente una mayor precisión del problema encaminado a plantear una mejora de la CP.

b) Otras aportaciones se centran en los aspectos relativos a la gestión de la información en aras a la CP

Los profesores Angulo-Fornos, R. y Castellano-Román, M. (Angulo y Castellano, 2020) analizan la generación de modelos de Información de Edificación Histórica (HBIM) para la gestión de la información patrimonial orientada a la conservación preventiva de bienes de interés cultural, a través de su experimentación en un caso de estudio específico: la fachada del cuadrante renacentista de la Catedral de Sevilla.

c) El tercer grupo de aportaciones a resaltar, concierne a temas relativos al diseño y al desarrollo de los modelos 3D vinculadas a las plataformas de gestión de la información.

La plataforma virtual PetroBIM fue el primer gran repositorio de información en el ámbito español, donde se pueden volcar y consultar todos los datos obtenidos en el ciclo de vida de un bien histórico, vinculada a un modelo 3D, (Armisen-Fernández, 2018). Asimismo, PetroBIM es capaz de integrar, en ambientes visuales navegables, toda la información disponible, haciendo que cualquier proyecto de intervención, planificación de la conservación, gestión o divulgación de un bien cultural pueda convertirse en un modelo-maqueta virtual. Y, que así, se pueda caminar, navegar e interactuar por él en tiempo real, crear secciones virtuales e incluso generar filtros para consultas gráficas.

A partir de PetroBIM, Rechichi, F., *et al.* (Rechichi, *et al.* 2016) proponen un sistema con nuevas soluciones relacionadas con el uso de BIM sobre la administración de los modelos 3D. Ofrece soluciones prácticas para la interoperabilidad de la información, concretamente sobre cómo analizar la documentación del patrimonio arquitectónico almacenada y procesada en formatos diferentes.

d) El bloque nº 1, se termina, con la reseña de los temas relativos a la Conservación, Mantenimiento y el uso de explotación.

Maggiolo G., *et al.* (Maggiolo *et al.*, 2018), parten del modelo 3D para implementar el modelo 3D-HBIM, de tal forma, que ofrecen la posibilidad de organizar toda la información relacionada con un bien cultural (planimetrías de archivo, fotografías e impresiones históricas, fuentes escritas, grabaciones o cualquier otro tipo de archivo digitalizado) basada en una jerarquía espacial.

Así mismo, la información se puede vincular a espacios o componentes, que juntos a estos, constituyen el modelo 3D-HBIM completo de un edificio. Antonopoulou, S. y Bryan, P. (Antonopoulou y Bryan, 2017). Este, se convierte entonces en el centro de toda la información relacionada con el edificio patrimonial, que se

puede consultar de forma inteligente y podrá utilizarse para la investigación, la conservación, la gestión y la administración, tal y como propone la profesora Daniela Besana, (Besana, 2019) de la Universidad de Pavía propone para el modelo HBIM del complejo de la Certosina de Pavía en Italia.

3.2. Bloque nº2; Patrimonio, Cultura, Sostenibilidad, Turismo, Visitantes y BIM

Los resultados del análisis de la literatura científica incluida en este segundo bloque han sido divididos en tres apartados:

a) La tutela y la gestión del conocimiento, la historia clínica en el modelo HBIM

Francisco Pinto de la Universidad de Sevilla lidera un equipo que posee una larga tradición sobre cómo implementar modelos digitales basados en las metodologías BIM y SIG para la gestión integral y sostenible de la tutela, ya sea de un elemento o de un conjunto, hasta llegar a las figuras de escala territorial. (*Proyecto HAR2016 78113-R. Tutela sostenible del patrimonio cultural a través de modelos digitales BIM y SIG. Contribución al conocimiento e innovación social. TUTSOSMOD*). Este proyecto ha tenido una gran desarrollo y repercusión. Las jornadas de presentación de las conclusiones celebradas en el mes de noviembre del año 2020 con la participación de un concurrido número de representantes tanto de investigadores y expertos españoles como de ámbito internacional lo manifestó.

Se trata de un proyecto con retos muy ambiciosos consistentes en el estudio para la implantación de los modelos digitales basados en BIM (Building Information Modelling) y SIG (Sistemas de Información Geográfica) en torno a la gestión integral y sostenible de la tutela patrimonial. Les interesa, tanto un elemento o conjunto, hasta figuras de escala territorial. Desde este planteamiento integral, centran la atención en el ámbito del conocimiento del patrimonio, como germen de las demás acciones de tutela, y en su transferencia a las diversas disciplinas implicadas. No únicamente les interesó el modelado geométrico, sino que primariamente se investigó sobre la generación de una sistemática de información organizada a partir de las materias o áreas del conocimiento implicadas (Arquitectura, Arqueología, Historia...).

Así mismo, Patricia Ferreira-Lopes y Francisco Pinto-Puerto (Ferreira y Pinto, 2018) establecen de manera sugerente, que el diseño del proceso para desarrollar el método espacial y dinámico, para administración de las bases de datos (DBMS) que, deberá estar sustentado en un sistema de información geográfica e histórica a la vez (HGIS). Consideran la historia documental del bien patrimonial, del mismo modo, que el de la historia clínica de un paciente en el área de la medicina patológica.

b) La Sostenibilidad el ahorro energético y el aprovechamiento de los recursos

El profesor de la Universidad de Alicante, Antonio Galiano-Garrigós (Galiano-Garrigós, 2019) presenta una singular aportación sobre la restauración de edificios históricos, en la que afirma que, a menudo, cuando se decide intervenir, a la vez se modifica el uso principal del edificio. Entre las intervenciones necesarias para adecuar los edificios a su nueva finalidad, la mejora del rendimiento energético es siempre un reto por sus particulares soluciones constructivas y la influencia que estas mejoras pueden tener en sus elementos protegidos. *...la rehabilitación de edificios siempre se considera una oportunidad, porque permite que el edificio vuelva a ser útil para la sociedad y desempeñe un papel importante en la vida de las personas...*

c) La legislación en el ámbito autonómico en España

La comunidad autónoma de Cataluña se convierte en la primera región de España en la que BIM es obligatorio para proyectos y obras de un determinado tamaño, mediante la aprobación del decreto del Govern de Catalunya del 11 de diciembre de 2018. En el cual, se pretende mejorar e incrementar la calidad en el proceso constructivo y mejorar la eficiencia en el uso de los recursos. Además, el decreto contiene una serie de aspectos de gran relevancia como son entre otros el interés en el ámbito del patrimonio cultural, por el cual, se plantea como objetivo el disponer de una base de datos de geo-información de Cataluña actualizada, y se obliga a entregar una copia de los modelos BIM *as-build* al Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña. Así mismo, para facilitar esta implementación, se propone la colaboración del Instituto de Tecnología de la Construcción, ITeC, que publica el Libro Blanco sobre la Definición Estratégica

de la Implementación del BIM en la Generalitat de Catalunya. Por último, para facilitar la inclusión de requerimientos BIM en licitaciones públicas, se ha publicado una Guía BIM y un Manual de BIM que sirven de referencia.

4. Resultados

Los resultados alcanzados los hemos clasificados en dos bloques: El primer Bloque se definió los temas relativos a la Conservación Preventiva, la Gestión y Patrimonio y BIM (HBIM) en él, se han distinguido los cuatro aspectos siguientes; a/ Los periodos históricos y la estratigrafía, b/ los Modelos HBIM para la CP, c/ las Plataformas e intervención y d/ las Plataformas y conservación. Y el segundo Bloque se corresponde con los temas relativos al Patrimonio, al Turismo Cultural, la Sostenibilidad en la gestión de los Visitantes y BIM en él, se han distinguido los tres aspectos siguientes; a/ el Conocimiento y la tutela, b/ la Sostenibilidad y c) la legislación en el ámbito autonómico.

4.1. Visualización de los resultados

La visualización de los resultados se plasma a través del siguiente diagrama:

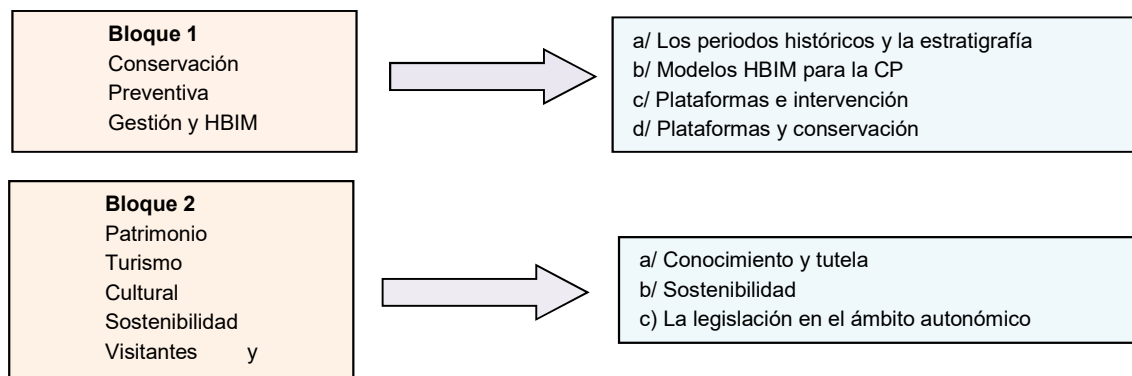


Fig. 5 Esquema de la Visualización de los resultados. Fuente: Propia, (2021)

5. Análisis de los resultados

5.1. Bloque 1: Conservación preventiva, Gestión Pública y HBIM

a) El equipo de Martín Talaverano, R., et, al. (2018) nos remite a considerar las aportaciones doctrinales del arqueólogo del CSIC Luis Caballero Zoreda, (Caballero, 2010) en el que plantea como la secuencia evolutiva del edificio histórico se basa en el marco metodológico de la Arqueología de la Arquitectura. Será, el análisis estratigráfico, el que aporte el marco teórico adecuado para conocer la secuencia evolutiva de los edificios existentes y facilitar el diagnóstico integrado en el que se encuentran los restos del edificio. La combinación de los dos análisis, uno de tipo diacrónico-evolutivo, y otro de tipo sincrónico en su contextualización. (Martín Talaverano, R., et, al. 2018)

Una vez identificadas y registradas las principales lesiones en el edificio, se debe proceder a su análisis en un doble sentido. Por un lado, deduciendo las causas que las producen y, por otro, estudiando el estado actual activo o detenido de las mismas.

Asimismo, una de las innovaciones de la metodología propuesta radica en abordar el estudio de la estructura desde una perspectiva diacrónica, analizando sus procesos patológicos con una perspectiva evolutiva mediante la integración con el análisis estratigráfico adaptándolo al BIM. En esta fase del análisis se trata, por lo tanto, de conectar la secuencia de actuaciones históricas con los movimientos de la estructura a lo largo del tiempo. Como es bien conocido, la metodología arqueológica de análisis estratigráfico comienza con la descomposición del objeto de estudio en sus Unidades Estratigráficas (UE).

b) En cuanto a la gestión de la CP, Angulo-Fornos y Castellano-Román (2020) se plantean una serie de imágenes y tablas de datos como resultado de la aplicación de estos métodos para la representación de los procesos de introducción de información relacionada con la documentación del estado de conservación actual y el registro de los tratamientos incluidos en los trabajos de conservación preventiva desarrollados recientemente por una empresa especializada. La implementación del modelo digital se valida, como una opción de capacidad, facilitada por el medio infográfico, ante la necesidad de contener, gestionar y visualizar toda la información generada en las acciones correspondientes a la CP sobre arquitectura patrimonial, facilitando, a su vez, relaciones transversales entre los diferentes análisis que dan como resultado un conocimiento más profundo de este tipo de edificación.

c) En relación con el tercer grupo, Alberto Armisén-Fernández (2018) con PetroBIM establece un hito en la gestión de la implementación de BIM al patrimonio cultural. Se trata de una herramienta de trabajo visual y colaborativo para que el conjunto de los agentes. Se basa en un modelo 3D del bien histórico para incorporar sobre distintas capas de información sobre el estado de conservación del bien, las intervenciones y periodos históricos en los que se han llevado a cabo etc. Es capaz de integrar en ambientes visuales navegables toda la información disponible, haciendo que cualquier proyecto de intervención, conservación preventiva, gestión o divulgación de un bien cultural pueda convertirse en un modelo-maqueta virtual que permita caminar, navegar e interactuar por él en tiempo real, crear secciones virtuales, generar filtros para consultas gráficas y realizar búsquedas. Por tanto, también se considera PetroBIM como un repositorio de información para consultar los datos que se van logrando a lo largo del ciclo de vida del bien histórico al desarrollar las funciones propias de la actividad cultural, el estudio, la conservación, la restauración y la difusión.

d) Termina este primer bloque con los temas relativos a la Conservación, Mantenimiento y el uso propiamente. Las aportaciones analizadas están encaminadas a la implementación del modelo HBIM en el ámbito del CP mediante la organización jerarquizada de la información convirtiéndose, de este modo, en un repositorio destinado a la consulta inteligente en aras de la conservación y gestión del edificio.

5.2. Bloque 2: Patrimonio, Cultura, Sostenibilidad, Turismo, y BIM

a) La tutela y la gestión del conocimiento, la historia clínica en el modelo HBIM

Las aportaciones en este campo están encaminadas a la necesaria implementación de metodologías digitales BIM y SIG para el conocimiento y gestión administrativa del patrimonio cultural, tanto a escala edilicia como a escala territorial. (Pinto-Puerto, 2016)

b) La Sostenibilidad el ahorro energético y el aprovechamiento de los recursos

Los estudios en este ámbito se centran en la necesidad de la adaptabilidad de los edificios patrimoniales a las exigencias energéticas y de sostenibilidad. Se hace necesario vincular las intervenciones y cambios de uso a la gestión sostenible de los edificios.

c) La legislación en el ámbito autonómico de España

A la vez que obliga la gestión de los proyectos en cuanto al patrimonio cultural se plantea como objetivo disponer de una base de datos de geo-información de Cataluña actualizada, y obliga a entregar una copia de los modelos BIM *as-build*.

6. Conclusiones

Una primera consideración se refiere a las características y a los condicionantes específicos que poseen los edificios históricos. No son objetos producidos en una única fase o periodo de construcción. El ciclo de vida se prolonga durante siglos. Por ello, no responden a procesos y circunstancias sistematizados, sino que se presentan como modelos de edificios únicos, que, si bien parten de una propuesta de trazado regular, la secuencialidad de las fases constructivas a lo largo del tiempo ha conducido a determinadas alteraciones y manifestaciones patológicas.

En un segundo lugar, tal y como afirma el profesor Antonio Galiano-Garrigós (Antonio Galiano-Garrigós, 2019) los edificios antiguos utilizados se convierten en puntos de anclaje para quienes viven cerca y refuerzan la necesidad de mantener la historia y la tradición creando un entorno urbano saludable. El legado histórico es necesario para la vida de los ciudadanos y les permite afrontar retos en el futuro.

En tercer lugar, la pérdida de un edificio con valor histórico, cultural y artístico no es solo un hecho material, sino que, lo que es más importante, se traduce en la pérdida de la identidad colectiva, que nunca se restaurará. Cuando estos edificios llegan al final de su vida útil, en ocasiones es necesario volver a integrar un cambio de uso en la red urbana. La adecuación del edificio al nuevo propósito implica el mantenimiento del valor cultural del edificio, así como la introducción de sistemas constructivos y acondicionados que antes no se utilizaban. La evaluación de la viabilidad de estas mejoras constructivas debe realizarse desde dos puntos de vista: la viabilidad económica y el impacto en los elementos arquitectónicamente protegidos. Galiano-Garrigós, A. (2019)

En cuarto lugar, se establece que la metodología apropiada para conseguir el pleno conocimiento del edificio, proponer soluciones de CP y gestionar su mantenimiento y administración es HBIM. Esta tecnología queda reforzada y enriquecida en el ámbito territorial cuando se integra con la metodología SIG.

Referencias

- ALMAGRO GORBEA, A. (2019). "Half a century documenting the Architectural Heritage with photogrammetry", *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, N° 11, Valencia: Universitat Politècnica de València. pp. 4-30. <https://doi.org/10.4995/ege.2019.12863>.
- ANGULO-FORNOS, R.; CASTELLANO-ROMÁN, M. (2020). "HBIM as Support of Preventive Conservation Actions in Heritage Architecture. Experience of the Renaissance Quadrant Façade of the Cathedral of Seville". *Appl. Sci.* 2020, 10 (7) 2428. <https://doi.org/10.3390/app10072428>
- ANTONOPOULOU, S. Y BRYAN, P. (2017). *BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model*. Londres. <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage/heag-154-bim-for-heritage/>
- ARMISÉN-FERNÁNDEZ, A. (2018); *Caso de éxito de BIM aplicado al patrimonio*. https://www.clubdeinnovacion.es/bim/Alberto_Arrmisen_PetroBIM_Gijón.pdf
- BESANA, D. (2019). "Cultural Heritage design: theories and methods for the project complexity management", *EGE Revista de Expresión Gráfica en la Edificación*, N° 11, Valencia: Universitat Politècnica de València. pp. 31-43. <https://doi.org/10.4995/ege.2019.12864>.
- BULGARELLI-BOLAÑOS, J. P., HERNÁNDEZ-SALAZAR, I., Y PINTO-PUERTO, F. (2020). "Evolución de la producción científica sobre los conceptos HBIM y modelado 3D en la gestión de obras patrimoniales". *Revista Tecnología En Marcha*, 33(8), Pág. 89–101. <https://doi.org/10.18845/tm.v33i8.5512>
- CABALLERO ZOREDA, L. (2010). "Experiencia metodológica en Arqueología de la Arquitectura de un grupo de investigación", en C. M. Morales y E. de Vega García (eds.), *Arqueología aplicada al estudio e intervención de edificios históricos. Últimas tendencias metodológicas*, pp. 103-119. Ministerio de Cultura, Madrid. <http://www.calameo.com/read/000075335b34985f34eff>
- DE GUICHEN, G. (2013). "Conservación preventiva: ¿en qué punto nos encontramos en 2013?" En *Conservación preventiva: revisión de una disciplina*; Ed. Patrimonio Cultural de España N.º7 2013. Pp.17-19 <http://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:26a66336-4e0c-4adc-b4d8-f2a89dde4998/conservacion-preventiva-revision-de-una-disciplina.pdf>
- FERREIRA-LOPES, P. Y PINTO-PUERTO, F. (2018). "GIS and graph models for social, temporal and spatial digital analysis in heritage: The case-study of ancient Kingdom of Seville Late Gothic production". *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, Volumen nº 9, e00074 <https://doi.org/10.1016/j.daach.2018.e00074>
- HERRÁEZ FERREIRO, J. A. (2013). "El Plan Nacional de Conservación Preventiva". En *Conservación preventiva, revisión de una disciplina*; Ed. Patrimonio Cultural de España N.º7. Pp. 39 <http://www.culturaydeporte.gob.es/planes-nacionales/dam/jcr:26a66336-4e0c-4adc-b4d8-f2a89dde4998/conservacion-preventiva-revision-de-una-disciplina.pdf>
- HERRÁEZ FERREIRO, J.A., DURÁN, D., GARCÍA MARTÍNEZ, E. (2017). *Fundamentos de Conservación preventiva. El Plan Nacional de Conservación Preventiva*. Ed. Instituto Nacional P.N. https://oibc.oei.es/uploads/attachments/184/CONSERVACION%20C3%93N_PREVENTIVA.pdf
- Historic England (2017). *BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model*. Swindon. Historic England. <https://historicengland.org.uk/advice/technical-advice/recording-heritage/>

- GALIANO-GARRIGÓS, A.; GONZÁLEZ-AVILÉS, Á.; RIZO-MAESTRE, C.; ANDÚJAR-MONTOYA, M. (2017). "Energy Efficiency and Economic Viability as Decision Factors in the Rehabilitation of Historic Buildings". *Sustainability* 2019, 11, 4946. <https://doi.org/10.3390/su11184946>
- GARCÍA HERNÁNDEZ, M. Y DE LA CALLE VAQUERO, M. (2004). "Geographic research of tourism in Spain". *Anales de geografía de la Universidad Complutense*, Nº 24, págs. 257-27
- GÓMEZ GONZÁLEZ, M., & DE TAPOL, B. (2011). "Medio siglo de Conservación Preventiva. Entrevista a Gaël de Guichen". *Ge-Conservacion*, 35-44. <https://doi.org/10.37558/gec.v0i0.62>
- Guía nº 14 de la asociación BuildingSmart. (2018). Adaptación del patrimonio cultural a la metodología de gestión BIM. <https://www.buildingsmart.es/actividades/grupos-de-trabajo/patrimonio-cultural/>
- MAGGIOLO G., CRISTALDO G., BERNAL R., Y OCAMPO A. (2018); "Historia y Tecnología, una relación posible. Nuevos métodos e instrumentos tecnológicos aplicados a la memoria construida". En *Encuentro internacional ciudades, territorio y patrimonio cultural*, Mar del Plata, Argentina, Junio de 2018
<https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2018ISPAr.422..715M/abstract>
- MARIO LA RUSSA, F. Y SANTAGATI C. (2021). "An AI-based DSS for preventive conservation of museum collections in historic buildings". *Journal of Archaeological Science: Reports*, Volume 35, 2021
<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102735>.
- MARTÍN TALAVERANO, R., CÁMARA MUÑOZ, L. Y MURILLO FRAGERO, J. I. (2018). "Análisis integrado de construcciones históricas: secuencia estratigráfica y diagnóstico patológico. Aplicación en la iglesia de Santa Clara (Córdoba)" *Arqueología de la Arquitectura*, 15, enero-diciembre, e067 Madrid. 2018
<https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2018.001>
- MOREIRA, A., QUATTRINI, R., MAGGIOLO, G. Y MAMMOLI, R. (2018). "Metodología HBIM como puente entre Italia y Argentina". *Int. Arco. Photogramm. Sens. Remoto Spatial Inf. Sci.*, XLII-2, 715–722, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-715-2018>, 2018.
<https://www.autodesk.com/autodesk-university/es/class/Digitalizacion-de-Ayacucho-De-un-monton-de-puntos-un-Gemelo-digital-2020#video>
- Generalitat de Catalunya Departamento de Territorio y Sostenibilidad. (2019). *Libro blanco sobre la definición estratégica de implementación del BIM en la Generalitat de Catalunya*.
- Pinto Puerto F. (2016). Proyecto de I+D+i, modalidad de Retos de Investigación en la convocatoria 2016 titulado; "Tutela sostenible del patrimonio cultural a través de modelos digitales BIM y SIG. Contribución al conocimiento e innovación social" TUTSOSMOD (HAR2016 78113-R). 2016
<https://andaluciatech.org/ecosistema-innovador/proyectos-singulares/turismo-cultura-y-ocio/desarrollo-de-modelos-bim-hbim-sig>
- Rechichi, F., Mandelli, A., Achille, C., y Fassi, F. (2016). "Compartiendo modelos de alta resolución e información en la web: el módulo web del sistema BIM3DSG". *Int. Arco. Photogramm. Sens. Remoto Spatial Inf. Sci.*, XLI-B5, 703–710; <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B5-703-2016>
- SALVADOR-GARCÍA, E. (2020). Protocolo HBIM para una gestión eficiente del uso público del patrimonio arquitectónico. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM



BIM DIGITAL TWIN: METODOLOGÍA BIM COMO BASE PARA EL DESARROLLO DEL GEMELO DIGITAL

Moreno-Cuellar, Pedro Ignacio^a; Osuna-Yévenes, Clara^b; Méndez-Flores, Francisco^c; Alcalde-Vicente, Gonzalo^d; ^aDigital Transformation Manager. Inforges Seidor - pimorenoc@inforges.es, ^bDigital Transformation Engineer. IDEA Ingeniería - cosuna@ideaingenieria.es, ^cDigital Transformation Engineer. IDEA Ingeniería - fmendez@ideaingenieria.es, ^dDigital Transformation Engineer. IDEA Ingeniería - galcalde@ideaingenieria.es

Abstract

The Digital Twin not only has to be based on software or electronic tools, but above all must be a collaborative and iterative work methodology, involving a digital revolution throughout the entire company.

Due to its idiosyncrasy, the Digital Twin is totally aligned with the BIM methodology. The synergy between both technologies is not a matter of dispute and the advantages of merging them are much more than the possibility of representing business information in a three-dimensional environment. Because all of this, we consider the BIM model as the Digital Twin backbone and the main work tool for the operational stage of industrial facilities.

In this article we will discuss what is the current state of development of the platform, the benefits brought by the digital twin weighted against traditional work methods and how the use of BIM methodology as a base boost all the BIM Digital Twin features.

Keywords: Digital, Twin, Collaborative, Platform, Model, Virtual, Industry, Technology, BIM, Methodology

Resumen

El Gemelo Digital no sólo debe basarse en herramientas electrónicas y software, debe ser, sobre todo, una metodología de trabajo colaborativa, iterativa y que implique una revolución digital a todos los niveles de una compañía.

Por su propia idiosincrasia, el Gemelo Digital está totalmente alineado con la metodología BIM. La sinergia entre ambas tecnologías es indiscutible y las ventajas de combinarlas van mucho más allá de poder representar información en un entorno tridimensional. Es por esto que consideramos el modelo BIM como eje vertebrador del Gemelo Digital y como herramienta de trabajo principal en la etapa de operaciones de unas instalaciones industriales.

En este artículo expondremos cuál es el estado actual de desarrollo la plataforma, qué beneficios aporta frente a los modelos de trabajo tradicionales y cómo el uso de la metodología BIM como base potencia todas las funcionalidades del BIM Digital Twin.

Palabras clave: Gemelo, Digital, Colaborativo, Plataforma, Modelo, Virtual, Industria, Tecnología, BIM, Metodología

Introducción

El Gemelo Digital está siendo una de las tendencias tecnológicas estratégicas desde el año 2019. No obstante, parece que aún estamos lejos de ver cómo despliega su pleno potencial. Tal y como predice la consultora tecnológica *Gartner* por medio de sus analistas, en los próximos cinco años la mitad de las compañías industriales utilizarán estos productos.

El Gemelo Digital es una tecnología que comúnmente se define como un modelo virtual de un proceso, producto o servicio, que utiliza sensores para proporcionar datos en tiempo real mediante la integración de Internet de las Cosas (IoT), Inteligencia Artificial y software de analítica de información. Los datos recopilados pueden entonces ser usados para crear una réplica que sea capaz de predecir de forma precisa cómo esos procesos, productos o servicios se comportan con el objetivo de evitar consecuencias negativas.

Tras el estudio de investigación llevado a cabo, se plantea que, a pesar de que esta definición destaca algunos de los aspectos claves sobre el concepto del Gemelo Digital, queda incompleta. En consecuencia, se propone incluir lo siguiente: un Gemelo Digital debe ser, además de lo anterior, una metodología de trabajo iterativo y colaborativo, de forma que se garantice la funcionalidad del resultado.

Bajo esta premisa surge *BIM Digital Twin*, un nuevo concepto que integra la metodología *Building Information Modeling* (BIM), para desarrollar un modelo disruptivo del Gemelo Digital.

1. La problemática actual de la implantación de los Gemelos Digitales basados en BIM

Los Gemelos Digitales basados en BIM aportan una serie de beneficios diferenciales respecto a aquellos que no se apoyan en estos entornos tridimensionales e inteligentes. Los primeros permiten, por un lado, poner en contexto gráfico los datos, de manera que cada sistema individual se pueda entender dentro del conjunto global al que pertenece, teniendo en cuenta una interrelación inherente que permita obtener conclusiones más precisas. Además, por otro lado, este concepto de Gemelo Digital basado en BIM proporciona continuidad al ciclo de vida de los modelos, aprovechando todos los datos generados en las fases de diseño y construcción para posteriormente integrarlos con la información asociada a operación y mantenimiento, lo que resulta en un modelo digital consistente que realmente abarca la vida útil del análogo real, centralizando toda la información en dicho modelo y permitiendo nuevas correlaciones entre los datos.

En este contexto, las soluciones comerciales que actualmente permiten generar un gemelo digital integrado en BIM son escasas y, por lo general, proponen un concepto rígido para la generación del gemelo, puesto que conciben una única plataforma para todo el proceso, es decir, la propia herramienta ha de servir tanto para modelar en BIM como para gestionar la instalación, infraestructura o activo en cuestión. Esto supone una complejidad añadida para la implantación de este tipo de soluciones que se debe, principalmente, a los siguientes motivos:

- Un cambio integral en la forma de trabajo y, por tanto, una larga curva de aprendizaje hasta que se le pueda sacar rendimiento.
- Limitaciones en el potencial del modelado BIM al no poder hacer uso de las bondades de otras herramientas de software BIM especializadas en cada una de las disciplinas.
- Una gran inversión inicial de recursos, tiempo y dinero. Inversión que ya podría incluso haberse hecho previamente si se ha modelado con otra herramienta de software y que no es aprovechable de ningún modo.
- Una dependencia absoluta del proveedor dado que, debido al esfuerzo que supone la implantación, es muy difícil cambiar a otro software similar incluso a largo plazo. Esto, además, implica otro riesgo, y es que la tecnología cambia muy rápido, por lo que, si el proveedor se queda obsoleto y/o abandona el proyecto, se corre el riesgo de quedarse con una solución sin soporte.
- Una inversión en software y licencias elevada al ser herramientas que, dado que abarcan todo el ciclo de vida, son complejas en su desarrollo, por lo que para poder comercializarse a precios superiores del de su propio coste, requieren un alto desembolso económico. Además, al ser escasas las actuales soluciones comerciales existentes, los proveedores se encuentran en una posición privilegiada mediante la cual pueden exigir el precio de venta que estiman oportuno.

Son problemáticas que resultan en que el usuario generalmente perciba como inviable llevar a cabo una implantación del gemelo digital en su entorno, al menos a corto o medio plazo. Como consecuencia, se repercute en el propio avance de la tecnología ya que, si no existen interacciones reales de la herramienta-usuario que puedan retroalimentar el resultado, será complicado poder detectar deficiencias para mejorarlas y seguir avanzando en el desarrollo de aplicaciones tecnológicas útiles para los usuarios.

2. Nacimiento de la idea

La propuesta del BIM Digital Twin nació a partir de las conclusiones obtenidas en otro desarrollo, al que se denominó Smart BIM: una herramienta que se concibió con el fin de optimizar los flujos de trabajo de intercambio BIM basados en *Industry Foundation Classes* (IFC). El IFC es el formato de intercambio que permite interoperar entre distintos softwares BIM. Es decir, si un usuario realiza el modelado BIM con un software particular y exporta el modelo a IFC podría importarlo con cualquier otro software distinto, así como consultar todas las propiedades sin perder información alguna. Sin embargo, lo que sucede en la práctica es que ocasionalmente puede darse cierta pérdida de información en los procesos de intercambio entre determinadas soluciones de software.

Este hecho puede suponer un problema ya que el concepto de BIM nace con un sentido propio de colaboración entre disciplinas y, por tanto, entre herramientas de software especializadas. Por ejemplo, la estructura puede provenir de *Trimble Tekla*, la topografía de *Autodesk Civil3D* y la tubería de *Bentley Open Plant / Intergraph SP3D* / o similar. Se presenta así un desafío cuando el usuario desea integrar su modelo en una plataforma única que garantice la conservación de todos los datos incluidos en las fuentes originales.

Si bien es cierto que mediante la aplicación de los protocolos de intercambio adecuados es posible minimizar la pérdida de información al integrar modelos provenientes de distintas herramientas de software, es también destacable el hecho de que estos procesos requieren de cierta complejidad y conocimientos específicos avanzados. Por ello, se propuso la idea de desarrollar un conector universal para un visor BIM capaz de importar rápidamente todas las propiedades de los elementos modelados sin importar el software del que provengan, de manera que cualquier usuario pudiera hacer uso del mismo, agilizando así el flujo de trabajo.

Como visor BIM se decidió utilizar un entorno basado en el software *Autodesk Navisworks*, puesto que es una de las herramientas más extendidas en el mercado y que, además, ofrece una versión gratuita, lo que garantiza accesibilidad. De esta manera, nació *Smart BIM*, una herramienta que consiste en un *plug-in* programado en *C#* para *Navisworks*, capaz de conectar las bases de datos provenientes de las fuentes originales con el modelo BIM. Como resultado, se obtiene un modelo inteligente que almacena toda la información original.

Partiendo de este concepto, surgió la oportunidad de llevar a cabo un proyecto aún más ambicioso: el *BIM Digital Twin*, resultante de la siguiente reflexión: dado que ha sido posible crear una herramienta capaz de conservar la información del modelo mediante bases de datos originales que se cruzaban, si estas bases de datos fueran reemplazadas por otras distintas, provenientes en este caso del gestor de operación y mantenimiento de un activo, el modelo también ha de ser capaz de conectarse a estas fuentes externas. Al igual que lo desarrollado con *Smart BIM*, siempre y cuando exista un identificador común para hacer coincidir las entradas, debe ser posible trabajar en la línea de crear un gemelo digital capaz de aprovechar el modelo BIM para integrarlo con datos generados durante la fase de operación y mantenimiento.

Además, a esta conclusión habría que añadir otra reflexión relevante: el desarrollo de nuevos experimentos nunca puede ser estático, sino que ha de pivotar y retroalimentarse constantemente mediante la experiencia de los usuarios hasta obtener una propuesta de valor sólida que cubra sus necesidades. Por ello, la perspectiva que se ha planteado para el *BIM Digital Twin* ha estado basada en una iteración continua hasta convertirse en una metodología propia que identifica las distintas fases que hay que alcanzar para desarrollar un gemelo digital útil y eficaz.

3. Metodología BIM Digital Twin

El resultado del proceso de investigación que ha implicado esta iniciativa ha sido la definición de un *funnel* que muestra las distintas etapas necesarias para obtener el *BIM Digital Twin*:

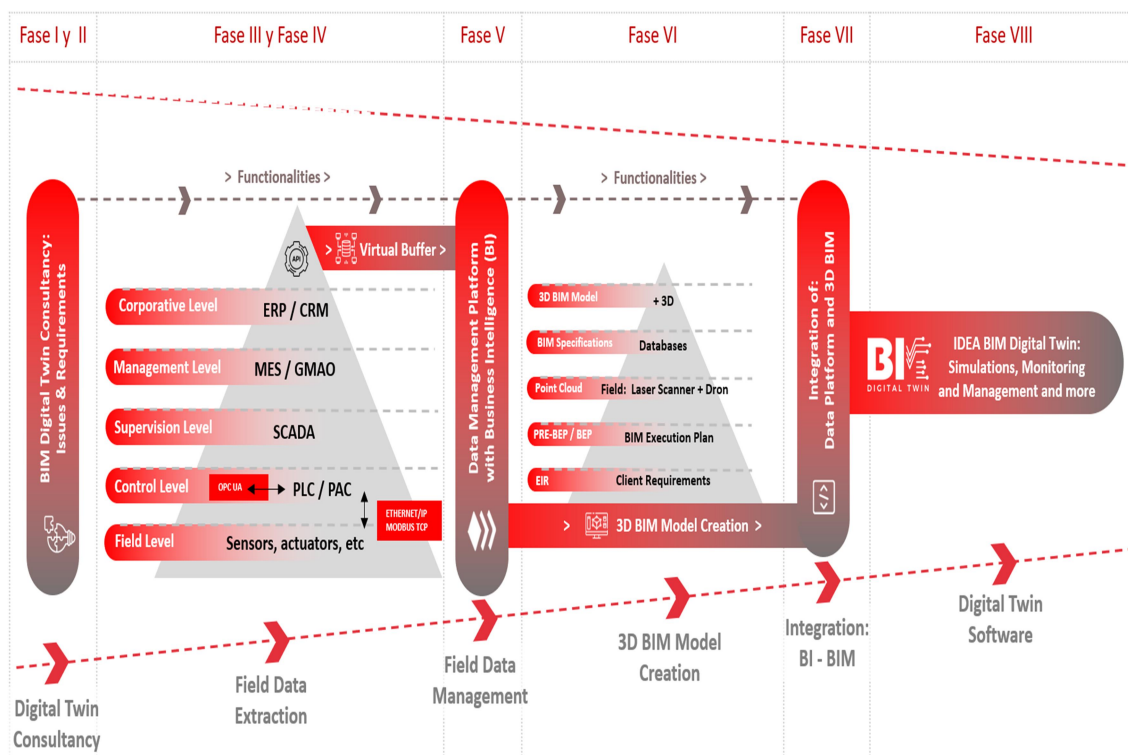


Fig. 1 Funnel 'BIM Digital Twin'. Fuente: Elaboración propia (2020)

3.1. Fase I: Evaluación Digital

El primer estadio es una evaluación exhaustiva sobre el grado de innovación y digitalización existente en la organización interesada en adoptar el gemelo digital. Se hace hincapié en esa fase, ya que es generalmente la más obviada y, sin embargo, las conclusiones que se obtengan de su análisis son clave para la definir la viabilidad durante la implantación.

El Gemelo Digital requiere de una arquitectura sólida de digitalización que será la que sustente el desarrollo de las posteriores fases de la metodología. En consecuencia, es esencial evaluar las capacidades de digitalización de la organización para, en caso de que sea necesario, determinar e implantar las acciones pertinentes que fortalezcan los procesos internos y externos, asegurando así los cimientos de un sistema digital robusto. En este sentido, existen distintas herramientas que facilitan esta evaluación, por ejemplo, el informe *HADA* o *IMP³OV*. Por otro lado, la consecución de la certificación *UNE 166002* también garantiza que la organización cuenta con procesos y protocolos aptos para implantación de un proyecto de innovación.

3.2. Fase II: Especificaciones Técnicas

Esta segunda fase se apoya en diversas técnicas de innovación como *Design Thinking* o *Lean Manufacturing* para definir los requisitos específicos que son aplicables a cada organización. Por un lado, es evidente que el gemelo digital es un concepto abierto que puede aplicarse a distintos sectores, sin embargo, no todos estos sectores van a tener los mismos objetivos ni necesidades. Por otro lado, existe además un error común a la hora de definir la estrategia de implantación de un producto tecnológico: una comunicación ineficiente basada en tecnicismos que alejan las expectativas del usuario de las utilidades prácticas del producto.

Para evitar esta situación, esta metodología plantea una labor previa de exploración e identificación de necesidades en todas las áreas o tipologías de usuarios que estarán en contacto con el producto final. Durante esta sesión y en base a las oportunidades de mejora detectadas, se elaborará una propuesta de plan de acción, primando aquellas características categorizadas como más críticas. El resultado por tanto es una estrategia única a cada contexto que pone en el centro a los usuarios del producto y que utiliza una gestión de expectativas realista y eficiente para garantizar la utilidad final del proyecto.

3.3. Fase III: Recopilación de datos

El siguiente estadio contempla la recopilación de las distintas fuentes de datos existentes en la planta, sistema o activo donde se pretende implementar el Gemelo Digital, cuyo objetivo es la centralización de la información para generar una base de datos íntegra, accesible y precisa.

Es posible integrar las fuentes de todos los niveles jerárquicos de la organización: nivel en campo como sensores o actuadores; nivel de control como Controladores Lógicos Programables (PLC) o Controladores de Automatización Programables (PAC); nivel de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA); nivel de gestión como el de Gestión de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO) o Sistemas de Ejecución de Fabricantes (MES); e incluso la incorporación de niveles corporativos como la Planificación de Recursos Empresariales (ERP) o la Gestor de Relaciones con los Clientes (CRM).

Una vez realizada esta recopilación, será necesario establecer la comunicación mediante una Interfaz de Programación de Aplicaciones (API) para desarrollar un buffer virtual que permita la creación de un almacén de datos que mantenga la información centralizada y accesible para su posterior exploración y análisis.

3.4. Fase IV: Sensórica

Una vez que se han revisado los datos recopilados, es momento de evaluar si existe información que debería estar incluida para alcanzar los objetivos previamente definidos y que, sin embargo, en ese momento no se está recogiendo. Para estos casos, la cuarta fase contempla un estadio de sensórica, que se aplicaría en el caso de que se hayan identificado fuentes de información que deban ser incluidos en el almacén común de datos.

3.5. Fase V: Plataforma web de Inteligencia de Negocio (BI)

La quinta fase recopila e integra todos aquellos datos que previamente han sido analizados y cruzados mediante las técnicas de ciencia de datos. Como resultado, se generan los paneles de BI, es decir, herramientas de visualización de datos que muestra el estado actual e histórico de las métricas e Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) que se hayan definido con la organización. Estos paneles consolidan y ordenan los datos con el objetivo de facilitar su comprensión y detectar posibles correlaciones entre los mismos que ayuden a mejorar la toma de decisiones.

3.6. Fase VI: Creación del Modelo BIM

La generación del modelo BIM requiere también sus propias fases: Recopilación de los Requisitos de Intercambio de Información (EIR), elaboración del Plan de Ejecución BIM (BEP), generación de la nube de puntos mediante técnicas de escaneado láser 3D y/o fotogrametría, Integración de las bases de datos de las especificaciones BIM y finalmente la generación del modelo en base a los requerimientos previamente identificados.

3.7. Fase VII: Software Gemelo Digital

Finalmente, estos paneles se integran con el modelo BIM para volcar todos los datos en la maqueta inteligente mediante una herramienta que ofrece la oportunidad de ser gestionada tanto de manera local (a

partir de un desarrollo de programación en *Navisworks* mediante *C#*) o en la nube (utilizando la API de *Autodesk Forge*).

3.8. Fase VIII: Iteraciones

Como se ha comentado anteriormente, esta metodología está basada en la iteración y testeo de las distintas versiones que parten de un Producto Mínimo Viable (MVP) para retroalimentarse a partir de la experiencia del usuario. En este sentido, una de las características más interesantes que presenta el *BIM Digital Twin* es su escalabilidad para continuar implementando otros habilitadores tecnológicos que enriquezcan aún más el potencial de esta herramienta. Por ejemplo, incluyendo una capa de *Machine Learning* permitiría que la herramienta, por sí misma y sin intermediación de un usuario, pueda entender qué simulaciones resultarán positivas y cuáles no. Asimismo, la implementación de *Blockchain* ayudaría a verificar la correcta trazabilidad de los inputs de simulación, aportando aún más valor a los resultados obtenidos.

4. Resultados

La metodología propuesta por el *BIM Digital Twin* ha sido implantada en entornos reales, lo que ha permitido verificar su eficiencia. A continuación, se ilustran algunos casos de aplicación comentando los resultados obtenidos:

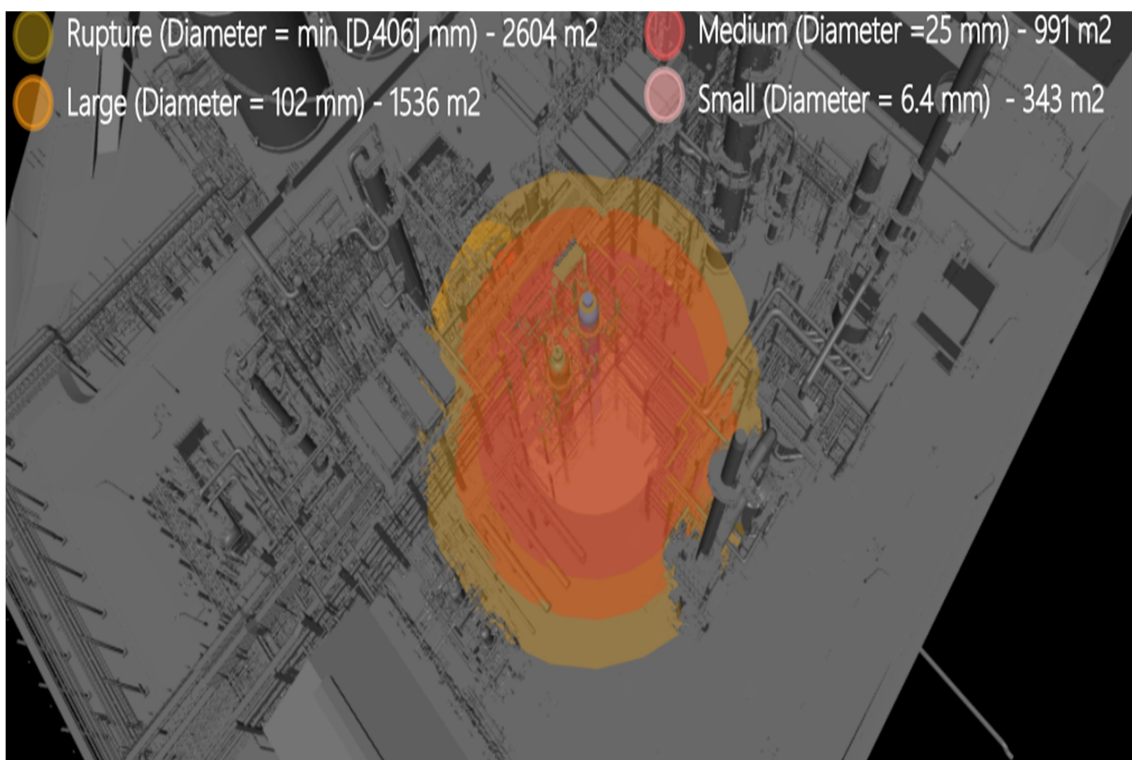


Fig. 2 Aplicación I BIM Digital Twin (Control Fiabilidad). Fuente: Elaboración propia (2019)

En la Figura 2, se observa una simulación de falla de uno de los equipos de una planta industrial, en la que se analizan sus consecuencias en base al radio de acción colindante que se vería afectado por dicha falla. Esta información facilita, entre otros aspectos, la toma de decisiones para diseñar una estrategia de distribución óptima de la situación de los equipos en planta, de forma que se minimiza el impacto del riesgo en caso de falla.

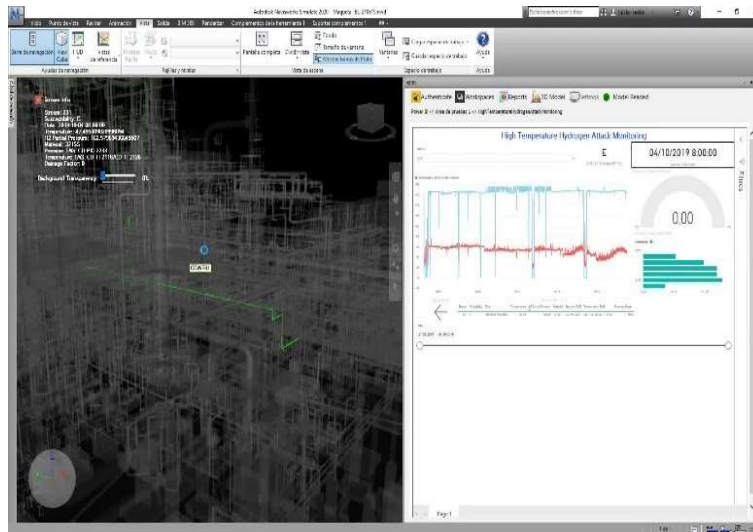


Fig. 3 Aplicación I BIM Digital Twin (Control Fiabilidad). Fuente: Elaboración propia (2019)

A la derecha de la Figura 3, se observa un panel BI que recoge toda la información histórica relacionada con la fiabilidad de una planta del sector Oil&Gas. Al conectar estos datos con el modelo, se proporciona una interacción inmediata de manera que el modelo es capaz de resaltar todos aquellos elementos implicados en las gráficas de visualización BI de los datos. En consecuencia, el proceso de comprensión de los datos se simplifica significativamente, permitiendo además identificar posibles correlaciones prácticamente imposibles de detectar con los flujos de trabajo convencionales.

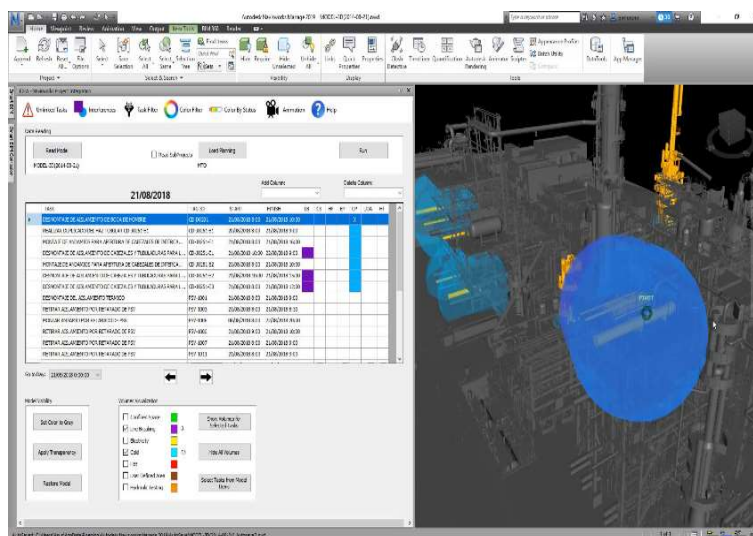


Fig. 4 Aplicación II BIM Digital Twin (Control Planificación RRHH). Fuente: Elaboración propia (2019)

La Figura 4 muestra un desarrollo que conecta el modelo BIM con MSProject para verificar los conflictos que pueden ocurrir durante la planificación de los recursos humanos de diferentes subcontratistas de una planta. En consecuencia, y de acuerdo con las normas de seguridad establecidas, distintas esferas simulan el perímetro necesario para llevar a cabo cada una de las tareas planificadas con la seguridad requerida. El análisis de los posibles choques entre esferas detectará las zonas críticas, pudiendo identificar de forma temprana posibles interferencias y optimizando por tanto la gestión de los equipos de trabajo de la zona.

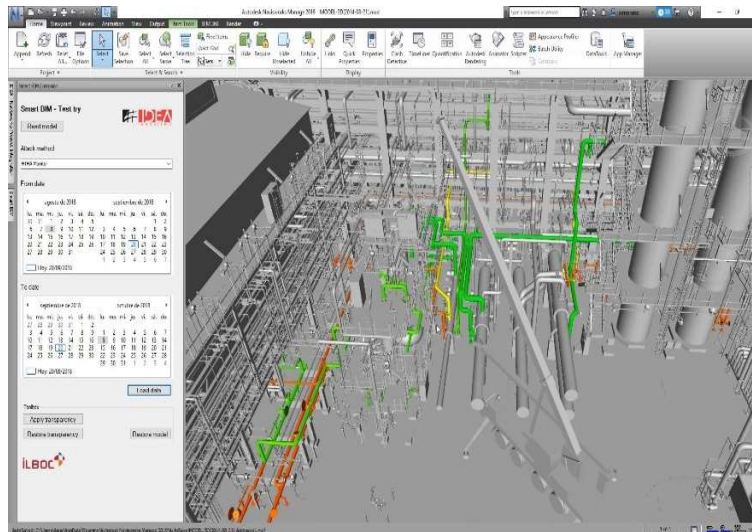


Fig. 5 Aplicación III BIM Digital Twin (Mantenimiento Predictivo). Fuente: Elaboración propia (2019)

Por su parte, el desarrollo de la Figura 5 conecta el modelo 3D con la base de datos de las propiedades y estado relacionadas con la corrosión de tuberías, de manera que categoriza los elementos en base a la probabilidad de falla en cualquier sección de cada servicio. El resultado permite identificar aquellas las áreas cuya necesidad de mantenimiento predictivo es más alta y, gracias a la componente visual, se le puede generar un preciso control sobre la instalación, lo que sin duda optimiza la eficiencia del control de mantenimiento.

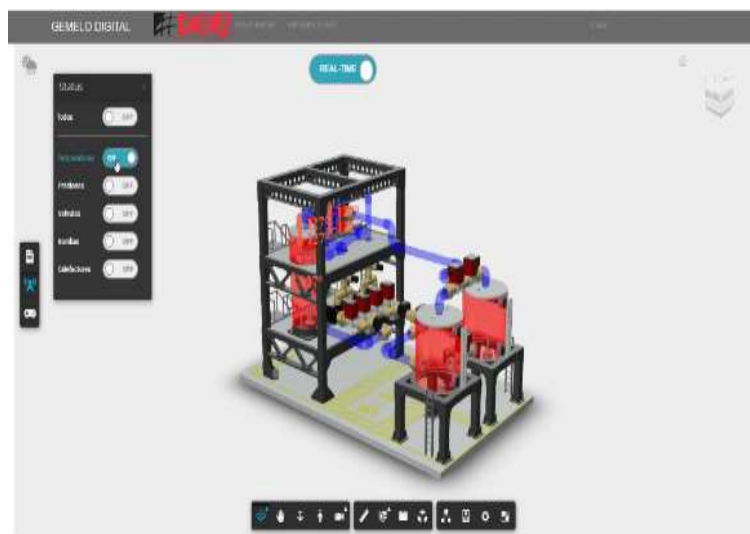


Fig. 6 Aplicación IV BIM Digital Twin (Monitorización parámetros a tiempo real). Fuente: Elaboración propia (2019)

Finalmente, en la Figura 6 se puede observar la réplica virtual de una sala de bombas a pequeña escala que intercambia flujos de agua a distintas temperaturas. Este desarrollo surge a partir de la necesidad de tener un banco de pruebas propio donde poder experimentar con distintas aplicaciones del Gemelo Digital con el fin de obtener métricas y conclusiones que poder aplicar en plantas industriales de gran envergadura. Entre los resultados alcanzados, se observa como el modelo BIM es capaz de mostrar los datos a tiempo real que los sensores están monitorizando en el análogo real: temperatura de los tanques, estado de las válvulas, etc. Además, no solo es posible consultar estos parámetros desde cualquier dispositivo (móvil, tablet, etc.) sino que incluso es posible controlar su funcionamiento desde el mismo, por ejemplo, se puede cambiar el estado de una válvula concreta de cerrado a abierto para permitir que el agua circule por la zona y modificar el flujo del agua de la sala.

5. Conclusiones

BIM Digital Twin es una herramienta no intrusiva y que no modifica la forma de trabajar, ya que se integra perfectamente con todos los niveles de gestión de una organización. Este mismo factor implica también que su implementación sea más rápida y, además, es una solución fácil de aprender a manejar, al no modificar los flujos normales de trabajo.

Por tanto, *BIM Digital Twin* se trata de un proyecto innovador basado en una de las tecnologías más disruptivas del momento: el Gemelo Digital, el cual, concierne además a otros habilitadores digitales como BIM, *Big Data*, Internet de las Cosas (IoT) o Ciberseguridad.

A partir de los casos de aplicación mostrados, se puede comprobar como el nivel tecnológico del BIM Digital Twin puede ser considerado como una propuesta de alto nivel, ya que no solo identifica un nicho de mercado para aportar soluciones prácticas a los usuarios, sino que es una herramienta con un potencial exponencial al permitir complementar sus posibilidades con otras técnicas de ciencia de datos.

Las correspondientes ventajas que supone la implementación de un gemelo digital derivan precisamente de la conjunción de todas estas tecnologías al conseguir un entorno protegido y seguro para experimentar espacios futuros, planificar mantenimientos preventivos, reducir margen de error y fallos o predecir resultados u optimizar el control de los parámetros de producción, entre otros.

En definitiva, *BIM Digital Twin* pretende ser el referente de un nuevo modelo de gemelo digital que utiliza la metodología BIM como una ventaja real competitiva para el desempeño diario en fase de operación y mantenimiento de activos.

Referencias

SIEMENS COSMOS. *Cosmos – Making data work*.

<<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/industry-software/plant-engineering-software-comos.html>> [Consulta: 08 de junio de 2021].

KERREMANS, M. (2019). *Top 10 Strategic Technology Trends for 2019: Digital Twins*.

<<https://www.gartner.com/en/documents/3904569/top-10-strategic-technology-trends-for-2019-digital-twin>> [Consulta: 26 de febrero de 2021].

RIES, E. (2012). *El Método Lean Startup*. Barcelona: Deusto S.A. Ediciones

EXPERIENCIAS REALES CON BIM



PRIMER PROYECTO EN BIM DE INGENIERÍA CIVIL PORTUARIA EN ESPAÑA. AMPLIACIÓN MUELLE SUR DEL PUERTO DE VALENCIA

Gómez-Caldito-Viseas, Miguel Ángel^a; Ureña Bolaños, Rosa^b; López Arrieta, Borja^c; Zocari, Sara^d; Frigau, Giovanni^e; Sanz-López, Jesús^f; León-García, José Ignacio^g; ^aTPF-GETINSA EUROESTUDIOS. Responsable del departamento de Puertos y Obras Marítimas, España – miguelangel.gomezcaldito@tpfingenieria.com, ^bTPF-GETINSA. Dpto. de Infraestructuras del transporte, BIM Manager, España - rosa.urena@tpfingenieria.com, ^cTPF-GETINSA. Dpto. de Infraestructuras del transporte. Responsable de calidad BIM, España - borja.lopez@tpfingenieria.com, ^dTPF-GETINSA. Dpto. de Puertos y Obras Marítimas, Ingeniera de proyecto, España - sara.zocari@tpfingenieria.com, ^eTPF-GETINSA. Dpto. de Puertos y Obras Marítimas, Ingeniero de proyecto, España - giovanni.frigau@tpfingenieria.com, ^fTPF-GETINSA. Dpto. de Delineación, Modelado, España - jesus.sanz@tpfingenieria.com, ^gTPF-GETINSA. Dpto. de Infraestructuras del transporte, Coordinador BIM, España - joseignacio.leon@tpfingenieria.com

Abstract

The Project of the extension of the South quay of Valencia Port, is a milestone in Spain since it is the first Civil Engineering Port Project completely done with BIM methodology. This Project is in line with TPF-GETINSA EUROESTUDIOS strategy of developing BIM methodology in the Company. Furthermore, the client Puertos del Estado, has recently implemented BIM methodology and published its own BIM guidelines, which have been followed by our company in order to carry out this project.

The Project consists in the replacement of an existing piled jetty by a longer continuous quay jetty, improving the features of the existing one. BIM methodology has been applied to improve the efficiency of the project design, the communication among departments and with the client. The result has been a BIM model from which all design drawings and Bill of Quantities have been obtained. Therefore, this work is presented since it is considered of interest for the third category called "Real experiences with BIM".

Keywords: milestone, port, Valencia, uses, collaboration, accuracy, adaptation, improvement, experience, future.

Resumen

El Proyecto de Ampliación del Muelle Sur del Puerto de Valencia, constituye un hito en España al tratarse del primer proyecto de Ingeniería civil portuaria realizado íntegramente mediante metodología BIM. Este proyecto está en línea con la estrategia de TPF-GETINSA EUROESTUDIOS de desarrollar la metodología BIM en la empresa. El cliente Puertos del Estado, ha implementado recientemente la metodología BIM publicando una guía propia que se ha tenido en cuenta para la realización de este proyecto.

El proyecto consiste en la sustitución de un muelle pilotado construido previamente, por un muelle continuo de cajones que sirve para mejorar las prestaciones del existente. La metodología BIM se ha aplicado para mejorar la eficiencia en el diseño del proyecto, la comunicación entre departamentos y con el cliente. El resultado final ha sido un modelo BIM desde el que se han obtenido todos los planos de diseños y una estimación cuantitativa del presupuesto del proyecto.

Por lo tanto, se presenta este trabajo ya que se considera de interés para la categoría 3 "Experiencias reales con BIM".

Palabras clave: hito, puerto, Valencia, usos, colaboración, precisión, adaptación, mejora, experiencia, futuro.

Introducción

Desde su origen, la metodología BIM se ha empleado principalmente en el sector de la edificación. Fue con la aplicación de la Directiva 2014/UE y posteriormente con la Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público por la que se transponía la anterior, cuando se produjo un cambio que preveía un importante aumento en la realización de obras de ingeniería civil mediante esta metodología.

Con el paso de los años desde la aplicación de la Ley 9/2017, se está viendo una demanda cada vez mayor por parte de las Administraciones Públicas en cuanto a requerimientos BIM en proyectos de ingeniería civil. Sin embargo, ante el cambio que ha supuesto respecto a la metodología convencional, su aplicación en proyectos, ya sea parcial o total, está siendo muy progresiva, aunque la previsión es que en unos años la mayoría se tengan que realizar íntegramente en BIM.

Sin embargo, en lo que se refiere a experiencias reales en BIM, las obras de ingeniería civil no han tenido todavía una repercusión importante en las comunicaciones emitidas en ediciones anteriores de EUBIM. Revisando los trabajos expuestos y publicados en los libros de actas de los congresos pasados, hasta el año 2020 las comunicaciones relacionadas con la edificación o arquitectura suponen el 29% del total, quedando las de obra civil solamente reflejadas en un 17%, de las cuales tres de ellas trataban sobre proyectos fuera de España. Esto dejaba la representación de obra civil española mediante metodología BIM en apenas un 12% sobre el total.

Tabla. 1 Resumen de comunicaciones EUBIM

Comunicaciones desde el comienzo de EUBIM	
Tipo de comunicación	Porcentaje
Carácter genérico	35%
Proyectos de edificación	29%
Optimización de procesos	17%
Obra civil Internacional	7%
Obra Civil España	12%

Además de un análisis global de las comunicaciones emitidas hasta esta edición, se han revisado las enviadas antes y después de la aplicación de la Ley 9/2017, arrojando los datos que se muestran la siguiente tabla.

Tabla. 2 Resumen de comunicaciones EUBIM antes y después de aplicación Ley 9/2017

Comunicaciones hasta 2017		Comunicaciones de 2018 a 2020	
Tipo de comunicación	Porcentaje	Tipo de comunicación	Porcentaje
Carácter genérico	41%	Carácter genérico	35%
Proyectos de edificación o arquitectura	29%	Proyectos de edificación o arquitectura	27%
Optimización de procesos	6%	Optimización de procesos	23%
Obra Civil	24%	Obra Civil	15%

Como se puede observar, en los últimos 3 años han aumentado significativamente las comunicaciones relacionadas con la optimización de procesos BIM en detrimento de las relacionadas con obra civil. De este modo, sigue sin reflejarse en los congresos de los últimos 3 años una realidad que en el sector es cada vez más evidente; el uso de la metodología BIM en proyectos de ingeniería civil es cada vez mayor y muy probablemente en el futuro pase de ser un requisito puntuable a tratarse de una característica implícita en las ofertas de licitación pública.

Por otra parte, las Administraciones Públicas han ido dando pasos encaminados a la implantación de la metodología BIM en cada una de sus organizaciones, ya sea formando su personal o mediante la subcontratación mediante Asistencia Técnica de partes BIM del proyecto a realizar. Algunas de ellas han

llegado incluso a publicar sus propios estándares BIM como FGV (Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana) o Puertos del Estado.

En este contexto, se presenta esta comunicación para el 10º Congreso Internacional BIM.

1. Contexto de implantación de BIM en Puertos del Estado. Proceso de licitación

Puertos del Estado, como coordinador de las 28 Autoridades Portuarias de España, ha orientado su estrategia hacia la implantación de la metodología BIM como eje central en la gestión del ciclo de vida de las infraestructuras, aspecto donde BIM destaca como su mayor potencial en cuanto a beneficios puede aportar en cada una de las fases del ciclo de vida.

En junio de 2019, Puertos del Estado publicó su “Guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal”. La intención con este documento, ha sido servir de referencia a las Autoridades Portuarias a la hora de lanzar sus proyectos, ejecutar sus obras y finalmente gestionar los activos que se generen fruto de dicho proceso. En esta guía, se indican las principales directrices en cuanto a estrategia y objetivos BIM, requerimientos de los modelos, roles y equipos de trabajo, entornos de colaboración y, en definitiva, todos los aspectos relacionados con la aplicación de la metodología BIM.

En este contexto la Autoridad Portuaria de Valencia (en adelante APV), basándose en esta Guía BIM, publicó en la oferta de licitación un anexo con los requerimientos BIM, lo que se considera el EIR (Employer Information Requirements) donde se fijaron las necesidades del sistema BIM para conseguir los objetivos de la infraestructura. Para este proyecto, la APV contrató además la Asistencia Técnica de la parte BIM a la empresa Ingreen, que lleva varios años de experiencia en implantaciones de metodología BIM y ha participado directamente en la elaboración de la Guía BIM de Puertos del Estado.

Mediante un estudio técnico detallado, se dio respuesta tanto a los requisitos técnicos del proyecto como a los requerimientos BIM exigidos por parte del Cliente, estando estos últimos incluidos en un plan de ejecución BIM previo denominado pre-BEP. Este documento, una vez valorada la oferta técnica en su conjunto y adjudicado el contrato, pasó a constituirse como plan de ejecución BIM (BEP) definitivo tras la reunión de lanzamiento BIM, en la que se cerraron todos los puntos provisionales que quedaron sin cerrar del borrador original. De este modo, aspectos como el ajuste de cronograma de la parte BIM, la estructura de los modelos o el entorno común de datos definitivo a emplear, se consensuaron en esta reunión entre los 3 agentes participantes: Cliente, Asistencia Técnica en BIM y adjudicatario de los trabajos.

2. Descripción general del proyecto

El Muelle Sur se localiza en la dársena Turia del Puerto de Valencia. Se construyó en la década de los 70 y consiste en un tablero de hormigón armado cimentado sobre pilotes Raymond Ø36.

Tiene una longitud de 549,39 m, 24 m de anchura y un calado de 14 m. Equipado con 25 bolardos simples distanciados entre sí unos 25 m y con tiro nominal de 100 toneladas. Los pilotes pretensados, están hincados atravesando capas de arenas limosas y arcillas hasta alcanzar un sustrato competente de gravas. Bajo la plataforma se extiende un talud de escolleras de pendiente 1,57/1.

Su uso predominante ha sido la carga y descarga de graneles sólidos tanto con grúas móviles a tolva-camión como con pórtico neumático y tuberías a almacén.

Ante los cerca de 50 años de servicio y el planteamiento de solicitudes más exigentes respecto al empleo de equipos más modernos, se presentó la necesidad de construir una nueva estructura que ofreciese adecuados niveles de servicio y seguridad en las próximas décadas.

Por lo tanto, el objeto del proyecto realizado ha sido el acondicionamiento y la ampliación del Muelle Sur del Puerto de Valencia con una actuación compatible con el normal funcionamiento de las operaciones portuarias y previendo un desarrollo por fases. Las actuaciones a realizar incluían:

- Adecuar los 400 m del Muelle Sur original

- Prolongación del Muelle Sur hacia el Este, hasta la dársena de Servicios Náuticos en unos 140m.
- Desmontaje y demolición del pantalán de hidrocarburos junto con los duques de alba de atraque y amarre existentes.
- Relleno y pavimentación en prolongación de muelle.



Fig. 1 Estado inicial Muelle Sur Puerto de Valencia.

Además, se estableció como una de las condiciones de diseño, que el calado del muelle llegaría hasta los – 16,00 m.

2.1 Fases del proyecto y modelos realizados

Según el avance de los trabajos y la fase de proyecto en la que este se encontraba, se fueron desarrollando diferentes modelos BIM que iban siendo revisados por la Asistencia Técnica, cumpliendo así las especificaciones indicadas por el Cliente. En total, hubo que gestionar 4 modelos diferentes; modelo de estado actual, modelos de las dos alternativas objeto de estudio y finalmente el correspondiente a la alternativa seleccionada para el proyecto de construcción.

2.1.1 Fase I: Trabajos previos.

Dentro de esta fase, en la que se recabó toda la información y se hicieron los análisis de la situación inicial, se incluyó un modelo de estado actual.

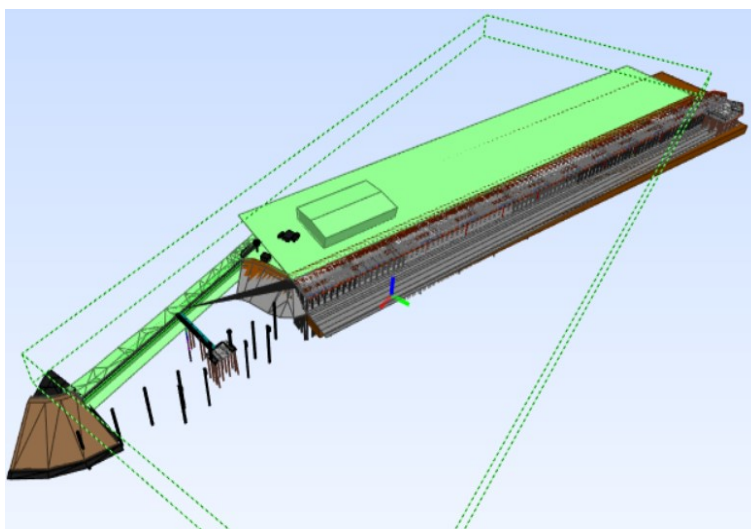


Fig. 2 Modelo de estado inicial Muelle Sur Puerto de Valencia.

Como se puede observar en la figura anterior, inicialmente se disponía de un muelle continuo pilotado de 400 m junto a un pantalán de hidrocarburos, y varios duques de alba para amarre y atraque. En esta fase de antecedentes y trabajos previos, cabe resaltar el trabajo que se realizó para la obtención de la batimetría de la zona afectada, que tuvo que ser depurado para poder disponer de un acabado correcto y fiel a la realidad.

Este modelo inicial estaba formado por las disciplinas de topografía, geotecnia, equipamiento portuario, movimiento de tierras, estructuras de obras marítimas, superestructuras, pavimentación e instalaciones. Cada disciplina se creó en un submodelo independiente. La federación de dichos submodelos dio lugar al Modelo de Estado Actual, el cual fue facilitado al Cliente en formato interoperable IFC para que pudiera ser revisado por herramientas openBIM de uso libre y gratuito.

2.1.2 Fase II: Estudio de alternativas.

Partiendo del modelo anterior se desarrollaron los modelos de las dos alternativas analizadas en esta fase que buscaban dar respuesta a los requisitos establecidos por el Cliente.

Para la primera opción, se planteaba una solución mediante un muelle de tablestacas manteniendo la actual línea del frente de atraque. Esta alternativa suponía una nueva longitud total para el muelle de 690 m.

Como segunda alternativa se planteó un muelle de cajones. En este caso los condicionantes de diseño implicaban adelantar el frente de atraque en 26,5 m, retirando la totalidad del muelle pilotado del que se partía. Con esta solución, la longitud total del muelle se quedaba en 677,76m.

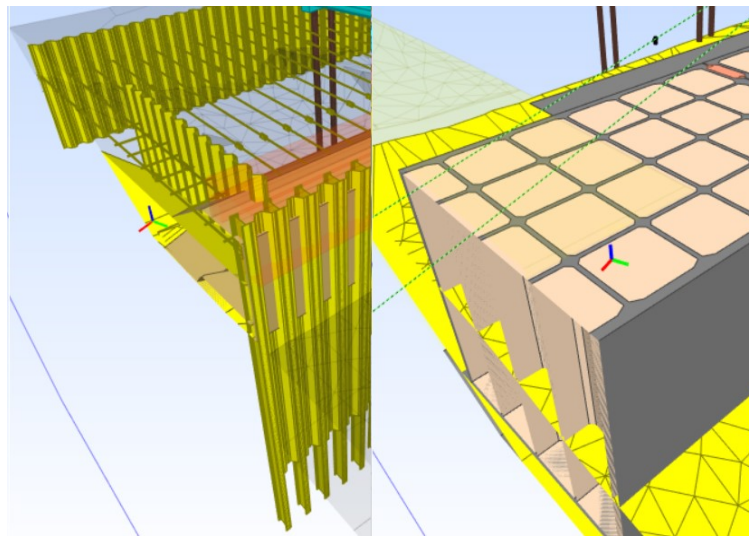


Fig. 3 Tipología de muelles considerados: muelle de tablestacas (izquierda) y muelle de cajones (derecha).

Tras un análisis multicriterio de las dos alternativas, en el que se tuvieron en cuenta factores como la operativa terrestre y marítima (maniobrabilidad), agitación, proceso constructivo, coste de ejecución, plazo, durabilidad e impacto ambiental, se llegó a la conclusión de que la solución que cumplía mejor los requisitos era la del muelle continuo de cajones.

2.1.3 Fase III: Desarrollo del Proyecto de Construcción.

Partiendo del modelo de alternativa y con un nivel de desarrollo superior, pasando de LOD200 a LOD300, se fueron modelando con detalle todos los elementos pertenecientes al proyecto constructivo. Se añadieron elementos para terminar de completar el diseño como la barrera anti-polvo, los equipos eléctricos de alumbrado, casetas de bombeo, etc. En definitiva, se terminó por incluir todo lo que en la fase anterior no fue determinante para el estudio de alternativas.

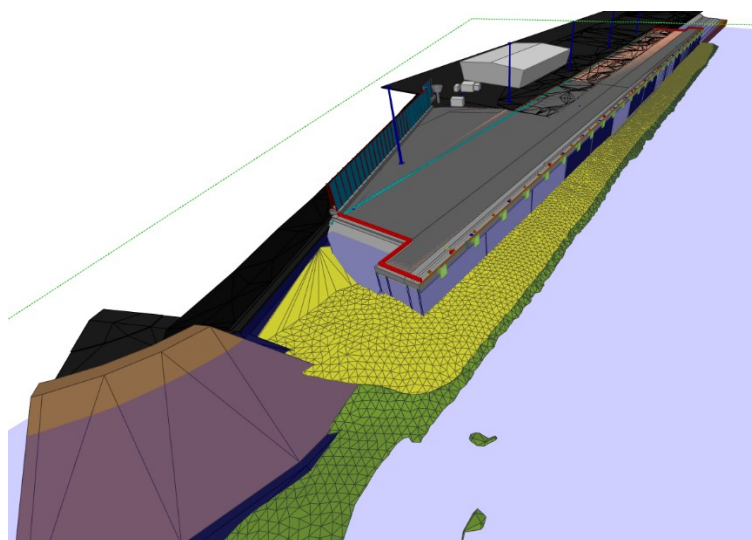


Fig. 4 Modelo IFC en 3D Proyecto Constructivo.

3. Principales características BIM del proyecto

Las características fundamentales del proyecto desde el punto de vista de aplicación de la metodología BIM, se definieron en el documento de plan de ejecución BIM (BEP).

3.1 Nivel de detalle geométrico: LOD

En modelos BIM, se considera como referencia para los niveles de desarrollo de información geométrica, la publicación “*Level of Development (LOD) Specifications*”. En ella se establecen los grados de detalle geométricos en una escala a varios niveles, siendo el LOD100 el más básico o conceptual y el LOD500 el más desarrollado que se corresponde con un modelo “as built”.

Para el proyecto de Ampliación del Muelle Sur, se propuso un LOD200 para los modelos de las dos primeras fases y un nivel mayor para el proyecto constructivo de LOD300.

3.2 Niveles de información no gráfica

Respecto a la información paramétrica de los modelos BIM, se estableció un set de propiedades basado en el indicado en la “Guía BIM de Puertos del Estado”, en su apartado 5.2.2.

Tabla 4. Set de propiedades acordado con la APV para los modelos BIM

SET DE PROPIEDADES APV		
01 APV Identificación		
	Tipo	Valor posible
01_01_APV_PROYECTO	texto	Código de proyecto.
01_02_APV_ESTADO	texto	Existente, Proyecto Básico, Proyecto Constructivo, Obra.
01_03_APV_CLASIF	texto	Código Clasificación de elemento (Puertos, guBIMClass, etc.).
01_04_APV_DISC	texto	Código de disciplina según Guía BIM.
02 APV Cantidades		
	Tipo	Valor posible
02_01_APV_UNIDAD	ud	Valor
02_02_APV_LONGITUD	m	Valor
02_03_APV_ESPESOR	m	Valor
02_04_APV_AREA	m ²	Valor
02_05_APV_VOLUMEN	m ³	Valor

SET DE PROPIEDADES APV		
03 APV Proyecto		
	Tipo	Valor posible
03_01_APV_CAPÍTULO	texto	Número de capítulo dentro del presupuesto
03_02_APV_SUBCAPÍTULO	texto	Número de subcapítulo dentro del presupuesto
03_03_APV_MEDICION	texto	Código de la unidad de obra a la que hace referencia el elemento
03_04_APV_FASE_OBRA	texto	Código de la fase de obra a la que hace referencia el elemento
03_04_APV_FASE_PLANOS	texto	URL que lleva a la carpeta de planos del CDE
03_04_APV_FASE_PPTP	texto	URL que lleva a la carpeta del PPTP del CDE

Dicha información se fue añadiendo a los diferentes elementos de los modelos de forma que posteriormente fuera visible en herramientas OpenBIM de uso libre y gratuito. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo con la herramienta BIM Vision.

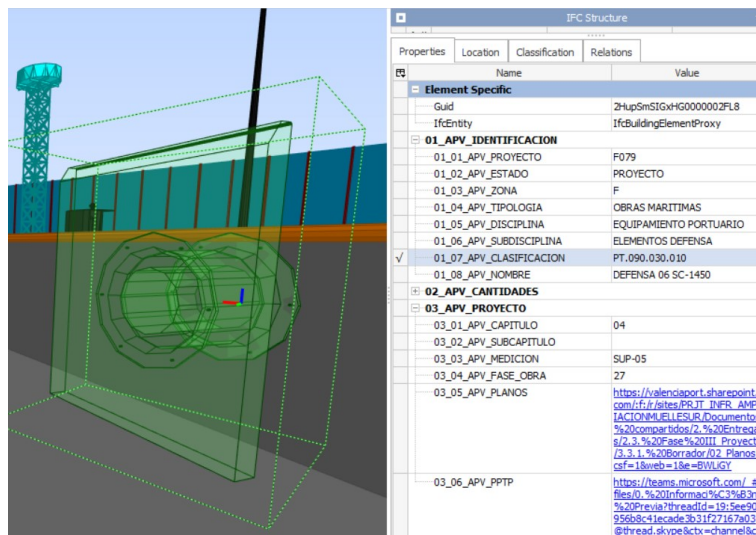


Fig. 5 Defensa SC1450 con su set de propiedades. BIMVision.

La clasificación de cada uno de los elementos en este proyecto, viene determinada como se muestra en la figura anterior por la propiedad 01_07_APV_CLASIFICACIÓN. El sistema utilizado desarrolla los códigos de elementos de obra civil portuaria a partir de la clasificación de elementos de guBIMclass.

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

Los usos BIM, se refieren a las tareas o métodos a aplicar con el fin de lograr los objetivos marcados en el proyecto.

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

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

3.3.1 Información centralizada

Tras varias opciones consideradas, en la reunión de lanzamiento BIM, se acordó entre todos los agentes intervinientes en el proyecto que la información fuese centralizada a través de la plataforma Microsoft Teams del Cliente, que funcionó como entorno común de datos (CDE). Se buscó en todo momento que los modelos BIM fuesen la fuente estandarizada y centralizada de toda la información del proyecto.

En este CDE, la transmisión de la información y su almacenamiento en función del estado de cada archivo siguió la norma PAS1192 (en concordancia con la actual ISO 19650), con carpetas de; “en progreso”, “compartido” entre disciplinas y con Cliente, “entregado” y “publicado”. Además, se incluyó una carpeta General donde se preservó la información fundamental del contrato.

3.3.2 Diseño y visualización 3D

La idea principal de este uso fue el empleo de los modelos BIM para favorecer la revisión del diseño. Dicho proceso fue llevado a cabo en las fases de estudio de alternativas para la elección de la solución más adecuada y en la fase de proyecto constructivo para la revisión del avance del trabajo. Se buscó así una mejor comprensión de los procesos y una fácil anticipación en la toma de decisiones.

Respecto al diseño 3D, se utilizó principalmente el software Civil3D para el terreno y obras marítimas, demoliciones, superestructura y equipamiento portuario y urbano.

La visualización 3D se llevó a cabo empleando, por un lado, el visor gratuito BIM-Vision y por otro el software Navisworks Manage. En la fase de estudio de alternativas, para complementar el análisis multicriterio, mediante los modelos 3D se realizó un revisión más profunda y realista de cada una de ellas. Aspectos como la ocupación de superficies, los costes aproximados y los procesos constructivo y de demolición del muelle pilotado existente fueron más sencillos de prever, dando así respuesta a este uso BIM.

3.3.3 Documentación 2D

Este uso BIM permite un mayor grado de coherencia en la información contenida en Planos. Con los Modelos realizados en el Proyecto del Muelle Sur del Puerto de Valencia se garantizó que para la documentación 2D se obtuvieran del modelo los planos generales, plantas y alzados.

3.3.4 Coordinación 3D y gestión de colisiones

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

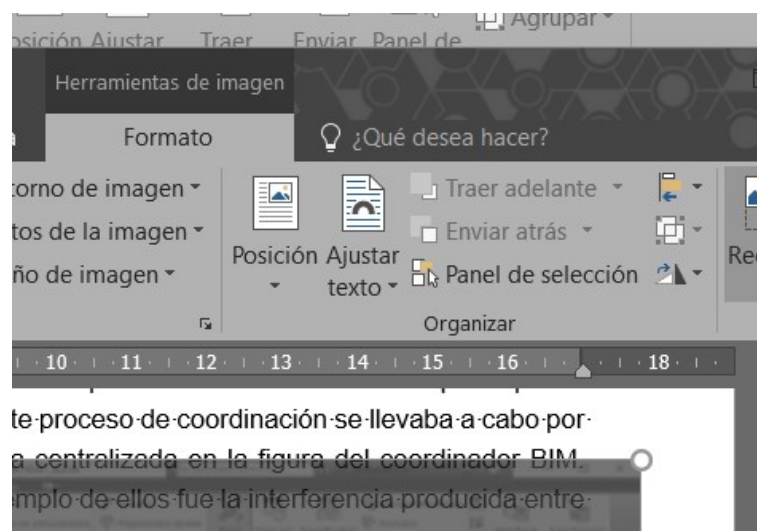


Fig. 6 Panel de detección de colisiones de Navisworks Manage; interferencia de colector con superestructura.

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

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

Un ejemplo de colisión que se produjo durante la fase III de ejecución del Proyecto Constructivo, fue la que se dio entre uno de los colectores y la superestructura del muelle junto al hueco para la escala. Además, la línea de desagüe de estos tres elementos de drenaje estaba mal ubicada (figura 6).

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

3.3.5 Mediciones

Una de las oportunidades que brinda la parametrización de los modelos BIM, es la posibilidad de comprobar las mediciones de los elementos que conforman el modelo, de tal manera que su trazabilidad permite obtener datos fiables que proporcionan información de las partidas principales que conforman el documento del presupuesto. Esta función se engloba dentro del uso BIM de mediciones, en el cual a través de los modelos BIM con información clasificada y ordenada se garantiza la trazabilidad de las mediciones de las unidades de obra principales.

Debe haber correspondencia entre las partidas indicadas en el documento de presupuesto y aquellas que estén reflejadas en el modelo definitivo. En este sentido, la APV estableció como una de las condiciones a cumplir del contrato en su EIR, que del modelo se deberían obtener las mediciones correspondientes al menos del 60% del presupuesto de ejecución material del proyecto. Una vez finalizado el proyecto, de las 116 partidas reflejadas en el documento de Presupuesto del Proyecto, 70 de ellas se obtuvieron a partir de las mediciones del Modelo, lo que acabó representando un 76% del presupuesto de ejecución material, alcanzando ampliamente el objetivo solicitado.

El software que se utilizó para la obtención de los presupuestos y mediciones fue Civil3D a través de Schedule app, Presto, Excel y BIM Vision para la comprobación de cada una de las partidas en el modelo federado en formato ifc.

3.3.6 Simulaciones constructivas

Dentro del set de propiedades anteriormente explicado en la información no gráfica del modelo, una de las características que se indica en cada elemento es la fase de obra mediante la propiedad 03_02_APV_FASE_OBRA. En base a ella, la secuencia de construcción puede simularse mediante diferentes herramientas BIM. Por una parte, se pueden filtrar en el modelo IFC definitivo del proyecto constructivo cada una de las fases y también dentro del software Navisworks Manage, usando la herramienta timeliner. Así se permite visualizar la idoneidad y viabilidad constructiva de la solución propuesta.

3.3.7 Infografías y recorridos virtuales

Finalmente, se utilizaron los diferentes Modelos de cada fase para la realización de infografías y renderizados que permitieron una más clara interpretación de la solución constructiva propuesta.

4. Problemas encontrados durante el proyecto

A lo largo del proyecto se han detectado y resuelto una serie de problemas gracias al empleo de la metodología BIM que no hubieran sido identificados o solucionados tan fácilmente mediante la metodología clásica de realización de proyectos y que se indican en los siguientes puntos.

4.1 Obtención de la batimetría

En la primera fase del proyecto, hubo problemas con los datos de la batimetría. A la hora de realizar el modelo, la información de partida era una nube con una densidad de puntos muy alta en la que aparecía “ruido” en la zona interior de los pilotes, provocando que a la hora de convertirlo en sólido 3D, se generaran aristas y modelos que no se correspondían con la realidad. Este proceso de limpieza de los modelos, supuso un inconveniente a la hora de comenzar los trabajos y modelar la base sobre la que se sustentarían los modelos del proyecto. En la siguiente figura puede observarse la situación inicial y el modelo de batimetría conseguido una vez corregidos los puntos que daban problemas.

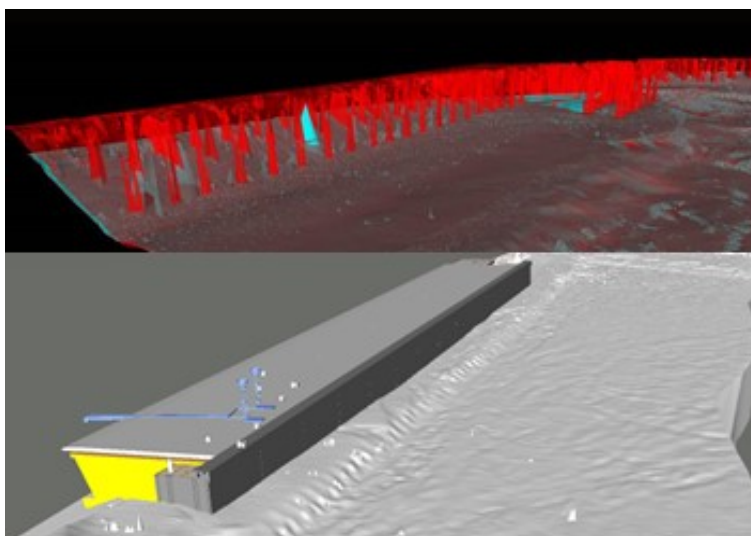


Fig. 7 Comparativa de los modelos de batimetría.

Por tanto, la creación del modelo BIM facilitó la corrección de los datos originales de la batimetría que no se correspondían con la realidad de la situación inicial del muelle.

4.2 Procedimiento constructivo

Dada la complejidad del proyecto, la planificación de los trabajos no fue sencilla. Por una parte, había que considerar que se iban a realizar trabajos de demolición, dragado y construcción del nuevo frente de ataque teniendo en cuenta además que, en todo momento se debería mantener el servicio en el resto del Puerto de Valencia. Esto provocó que hubiera cambios en el proceso constructivo en varias ocasiones que, de no haber sido por los Modelos realizados del muelle, hubieran sido más difíciles de identificar, prever y materializar. Gracias a la interacción y visualización del modelo esto fue posible, planteando al fin un proceso constructivo en dos partes bien diferenciadas; en primer lugar, se avanzaría con los cajones 1 a 7, situados en lo que anteriormente correspondía al pantalán de hidrocarburos y, como segunda parte, los cajones 8 a 14 que se encontrarían a la misma altura de lo que originalmente era el muelle pilotado.

5. Conclusiones

En el presente artículo, se ha descrito el procedimiento de redacción del Proyecto Constructivo de Ampliación del Muelle Sur en el Puerto de Valencia, explicando cómo se desarrolló el proceso de licitación, las particularidades que ha supuesto al realizarse íntegramente con metodología BIM y la respuesta que se dio a cada uno de los usos BIM del proyecto junto con las dificultades encontradas. Las principales conclusiones obtenidas tras la realización de este proyecto son:

1. El proyecto de Ampliación del Muelle Sur es pionero en España, al ser el primero dentro de la Ingeniería Civil Portuaria que se ha realizado íntegramente con metodología BIM.
2. Desde el punto de vista de experiencia en la empresa, este proyecto ha servido para asentar los conocimientos previos que se tenían en la metodología BIM y sumar una experiencia real más, abriendo camino en el sector de la ingeniería Civil Portuaria.
3. La concepción de los modelos de información 3D en los diferentes formatos, debe considerarse como una herramienta más para la toma de decisiones durante la realización del proyecto. En este caso, se utilizaron como medio para terminar de decidir la solución definitiva, la detección de colisiones entre las distintas disciplinas y para revisión y seguimiento del avance de los trabajos.
4. La existencia de herramientas de visualización openBIM permite que todos los agentes implicados en el Proyecto puedan realizar de forma sencilla y gratuita una revisión de los modelos. Con estas herramientas se puede igualmente hacer uso del tratamiento de datos pormenorizado, filtrando por categorías cada uno de los elementos en función de una determinada característica establecida en la clasificación o en el set de propiedades. De igual forma, cualquier agente puede realizar una comprobación rápida y sencilla de mediciones.

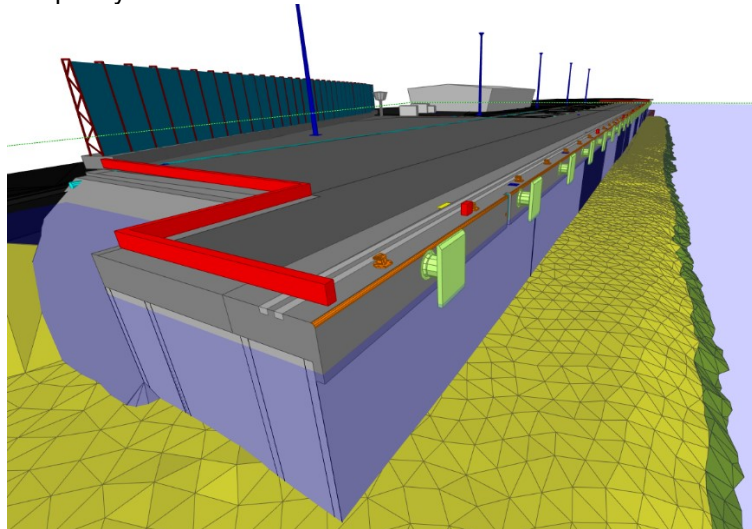


Fig. 8 Vista en perspectiva del muelle de cajones.

5. La implantación de metodologías nuevas debe probarse sobre proyectos reales. En base a la experiencia obtenida en BIM, cuando se trabaja en proyectos teóricos, o que no son de producción, se pierde la tensión del aprendizaje. En este sentido, se demuestra la clara voluntad por parte de las Administraciones Públicas de cambiar esta situación, proponiendo para sus proyectos la aplicación de la metodología BIM y, en algunos casos como el de Puertos del Estado, promoviendo esta estrategia con su propia guía BIM.
6. Una de las principales ventajas de la aplicación de la metodología BIM respecto a la metodología clásica, es la búsqueda de la optimización de los procesos de producción del proyecto. Sin embargo, este fruto de aplicar la metodología BIM no va a ser inmediato. En las primeras experiencias siempre habrá un sobrecoste hasta que la implantación en las organizaciones esté

madura y asentada, momento en el cual se podrán comparar los beneficios productivos que redundaran en una mayor eficiencia y productividad de los procesos.

Referencias

Pastor Villanueva, JM et al. (2019). Congreso Internacional EUBIM 20219 “BIM en obras civiles. Proyecto para la futura línea 10 de la red FGV en Valencia.”

Guía BIM de Puertos del Estado: <http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/Guia%20BIM%2009.pdf>

“Level of Development (LOD) Specification” BIM Forum: <https://bimforum.org/lod/>

Manual BIM para infraestructuras TPF-Getinsa-Euroestudios. Versión abril 2021.

España. Ley 9/2017, de 8 noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE, de 26/02/2014. BOE, 9 de noviembre de 2017, núm. 272

Europa. Directiva 2014/24/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre contratación pública. OJEU, 26 de febrero de 2014, document 32014L0024

Reino Unido. PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. British Standards Institution, 2013.

Portal oficial del Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana (MITMA): Acondicionamiento y ampliación del muelle Sur del Puerto de Valencia <<https://cbim.mitma.es/proyectos/acondicionamiento-y-ampliacion-del-muelle-sur-del-puerto-de-valencia>> [Consulta 22 de febrero de 2021]



GESTIÓN BIM COLABORATIVA EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN DE OBRA LINEAL: VARIANTE SUR METROPOLITANA DE BILBAO Y FERROCARRILES DE FGV

De Paz Sierra, Jesús^a; Ballester Muñoz, Francisco^b; Rico Arenal, Jokin; ^aResponsable del Departamento de Diseño y BIM en Ingecid, España - jesus.depaz@Ingecid.es, ^bCatedrático de Ingeniería de la Construcción de la Universidad de Cantabria - francisco.ballester@unican.es, ^cDirector Técnico de Ingecid, España - jokinrico@Ingecid.es

Abstract

BIM methodology is increasingly demanding higher requirements in civil construction projects, where the key points are the collaboration of all companies, the use of 3D models for the analysis of alternatives and monitoring of the work and the migration of information for M&O.

In Ingecid, several construction projects are being carried out, among which the Metropolitan South Bypass of Bilbao for Interbiak and the line 9, section 3 Gata-Denia for FGV stand out. The first one there are multiple construction typologies, and more than 6 companies participate in each of its three sections. All the project is being managed in the same CDE (VIRCORE). The use of the 3D models has supported the decision-making, as well as the monitoring of the work, linking the information generated to the 3D elements in a bidirectional way for O&M. The second project enables the monitoring of construction invoicing through the use of the BIM model.

In order to achieve BIM implementation successfully has required the BEP development, the CDE management, its maintenance and audit. Users' training according to the BIM Execution Plan has been also essential.

Keywords: BIM, civil works, highway, railway, implementation, 4D, 5D, methodology, BEP

Resumen

La metodología BIM cada vez exige mayores requerimientos en proyectos de construcción de obra civil, donde los puntos clave son la colaboración de todas las empresas, el uso de los modelos para analizar alternativas, seguimiento de obra y la transferencia de información para la fase de explotación.

Ingecid lleva a cabo varios proyectos de construcción entre los que destacan la Variante Sur Metropolitana de Bilbao para Interbiak y el tramo 3 de la línea 9 Gata-Denia para FGV. El primero contempla múltiples tipologías constructivas, donde en cada uno de sus tres tramos participan más de 6 empresas. El proyecto está siendo gestionado en un mismo CDE (VIRCORE). El uso de modelos ha agilizado la toma de decisión, así como el seguimiento de la obra, vinculando de forma bidireccional la información generada a los elementos 3D, pensando en su explotación. El segundo proyecto, además ha permitido realizar un seguimiento de las certificaciones de obra mediante el uso del modelo BIM.

Alcanzar esta implantación BIM con éxito, ha requerido que el desarrollo del BEP, la gestión del CDE, el mantenimiento, su auditoría y la formación de cada uno de los actores en su uso acorde al Plan de Ejecución BIM sea fundamental.

Palabras clave: BIM, obra lineal, obra civil, autovía, ferrocarril, implementación, 4D, 5D, metodología, BEP.

Introducción

La notable evolución de la metodología BIM (Building Information Modeling) en el sector de obra civil se ha traducido en una mayor exigencia de requerimientos en el desarrollo de los proyectos por parte del cliente. En la actualidad, se busca que los trabajos se desarrollen bajo la colaboración de todas las empresas involucradas en un proyecto, además de utilizar los modelos tridimensionales desarrollados como base para el análisis de alternativas y a su vez facilitar el seguimiento de la obra, para finalmente transferir toda la información generada durante las fases de construcción a la correspondiente fase de explotación y mantenimiento.

INGECID se enfrenta al auge de la metodología en el sector destacando entre otros, los proyectos de construcción de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao (Interbiak) y el tramo 3 de la línea 9 Gata-Denia (Ferrocarriles de la Generalidad Valenciana, FGV), los cuales han permitido apreciar el incremento de los requisitos BIM por parte del cliente en las obras y a su vez evaluar los beneficios proporcionados frente a proyectos del sector en los que no se aplicaba la metodología BIM.

El propósito del presente artículo es relatar brevemente la tipología de los proyectos mencionados anteriormente, así como, los trabajos desarrollados y el camino recorrido hasta alcanzar la implantación BIM con éxito, alcanzando un nivel 2 en su implantación y persiguiendo el objetivo de llegar a un nivel 3 de desarrollo empleando plataformas de trabajo que permitan el desarrollo de proyectos inmersos en el mundo BIM.

1. Ventajas de la metodología bim: real bim o bim de tercer nivel

El trabajo desarrollado a lo largo de estos años por el equipo BIM de INGENECID ha hecho posible enfrentarse a diferentes escenarios y evaluar las ventajas que proporciona la implantación de la metodología y a la vez, adquirir más experiencia permitiendo optimizar los trabajos asociados a ello.

Por todos es conocido que la implantación de la tecnología BIM tanto en un proyecto como en una institución puede alcanzar varios niveles de desarrollo: nivel 0 (ausencia de colaboración), nivel 1 (sistema de compartición de datos), nivel 2 (trabajo colaborativo) y nivel 3 (único modelo).

Su nivel 2, se caracteriza por ser un entorno 3D gestionado, constituido en base a modelos individuales producidos por cada disciplina, los cuales se ensamblan para dar lugar al modelo federado sin perder su integridad o identidad. Toda la información y datos del proyecto deben estar disponibles de forma electrónica y contenidos dentro del Entorno de Datos Común (Common Data Environment, CDE); por ello, es importante analizar las plataformas de trabajo del mercado a emplear durante el desarrollo de proyectos identificando cuales son las necesidades que esta debe cumplir que desde la experiencia de INGENECID son: la centralización de la información, la gestión multiproyectos, la trazabilidad completa de la información, la integración de modelos tridimensionales, etc.

No cabe duda de que para alcanzar el éxito una de las claves recae en la plataforma de trabajo seleccionada, la cual, tal y como hemos mencionado, debe proporcionar un espacio digital común abierto al que puedan acceder todos los miembros que componen el equipo de trabajo del proyecto en tiempo real.

Es decir, se trata de disponer de un sistema de colaboración basado en archivos y control de base biblioteca (base de datos). La relación entre modelos y documentos tendrá lugar por medio de los códigos de identificación de los archivos y elementos definidos en base a las características del proyecto y tomando como referencia la normativa BIM vigente, por lo que la información no está plenamente integrada en los modelos. En la actualidad, el equipo de INGENECID ha conseguido desarrollar proyectos BIM con un nivel 2 gracias a la definición y elaboración de unos estándares BIM; y sigue trabajando en la búsqueda del nivel 3 de desarrollo.

Dicho nivel 3 se obtendrá cuando se tenga un único modelo de información del proyecto, y que el mismo está plenamente integrado, alojado y desarrollado totalmente en un (CDE) y que pueda ser visto y trabajado por todos los miembros del equipo de proyecto en tiempo real. Y por último el modelo debe incluir información relativa a la planificación (4D), costes (5D) e información del ciclo de vida del proyecto (6D).

El punto de partida para alcanzar estos niveles es la elaboración del BEP. Es el punto clave para alcanzar el éxito en la implantación, por ello, el documento debe no solo recoger los usos previstos y los requerimientos del cliente sino definir de forma precisa cómo se llevarán a cabo cada uno de los trabajos BIM vinculados al proyecto. De acuerdo con lo anterior, cabe resaltar los tres conceptos siguientes debido a la importancia que adquiere dentro del BEP por las ventajas que aportan:

- El despliegue del entorno colaborativo requiere definir una estructura de carpetas para toda la obra, un sistema de codificación documental homogéneo y los flujos de trabajo.
- La definición de la matriz de interferencias ya que permite reducir las colisiones en fases tempranas del proyecto, favoreciendo la preparación de los modelos de cara a fases posteriores de seguimiento de obra y explotación.
- La vinculación entre los modelos 3D y la documentación generada permitiendo disponer de un modelo integrador y realizar un control de calidad tanto de los modelos como de la gestión de toda la documentación manejada.

En lo que respecta a los modelos BIM, la definición de unas determinadas propiedades características de cada uno de los elementos que componen los tramos de las obras permite acotar la información, facilitando la búsqueda y la localización de dichos parámetros característicos a la hora de evaluar el proyecto, realizar certificaciones, etc.

Sin embargo, actualmente las empresas del sector de obra civil carecen de estándares de codificación y clasificación para los elementos de un modelo e incluso para los archivos; por ello, INGECID ha trabajado de manera ardua en la definición de códigos para tener correctamente denominada toda la información asociada al proyecto.

En la misma línea, para alcanzar el nivel 3 de desarrollo BIM, se ha identificado la necesidad de que cada uno de los elementos que componen ese único modelo puedan ser perfectamente identificables y por ello, se ha identificado la necesidad de asociar a cada uno de estos un código único o pasaporte digital. Actualmente, los software de diseño no cuentan con herramientas que permitan definir un código único para cada uno de los elementos 3D del modelo de manera rápida y sencilla; por ello, INGECID ha identificado dos caminos dependiendo de donde se realice el trabajo. En el caso de obras lineales, se ha llegado a la conclusión de que el código único se defina como una combinación de los atributos asociados al activo (nombre, tipo, familia, etc.) de tal forma que, dicha combinación sea única para cada elemento 3D. Y, por otro lado, en los proyectos de remodelación y construcción de infraestructuras, se hace uso del identificador único global (Globally Unique Identifier, GUID) que proporcionan las herramientas con la que desarrollan los modelos el equipo BIM.

Como resultado de todo lo anterior, ha sido posible emplear al máximo los modelos 3D y contar con un historial de todas las incidencias y las soluciones adoptadas a lo largo de cada una de las fases del proyecto en referencia a los elementos de los modelos; es decir, un registro de los problemas que se enfrentaron durante el desarrollo de las obras permitiendo durante las fases de explotación, operación y mantenimiento consultar dicha información frente a futuras incidencias; analizando las medidas adoptadas en su día y permitiendo identificar la solución óptima para ese problema.

2. Casos de éxito con BIM

A lo largo de los últimos años el equipo BIM de INGECID ha colaborado partiendo de un nivel 2, en la implantación de la metodología en diferentes sectores destacando el nuclear, constituyendo el punto de partida y el sector de la ingeniería civil: autopistas, ferrocarriles, instalaciones industriales y seguimos trabajando para utilizar plenamente las nuevas dimensiones del BIM: 3D, 4D, 5D, 6D.

La experiencia adquirida gracias a la gran diversidad de proyectos en los cuales se ha implantado la metodología BIM ha permitido recopilar información e identificar tanto cuantitativa como cualitativamente las ventajas obtenidas al trabajar inmersos en el mundo BIM.

Gracias a los procedimientos definidos y al uso de una plataforma de gestión integral de proyectos ha sido posible cumplir con todos los requisitos de información o necesidades establecidas por los clientes en los respectivos pliegos de licitación.

2.1. Variante Sur Metropolitana de Bilbao

Comenzando por el proyecto de construcción de la Variante Sur Metropolitana de Bilbao (VSM) cabe mencionar que se trata de una infraestructura que engloba la ejecución de una autopista con importantes infraestructuras mediante la construcción de viaductos y túneles, por un importe superior a 200 millones de euros. El proyecto se divide en tres lotes; el Tramo 9a correspondiente a la conexión entre el Enlace de Peñascal y el valle de Bolintxu y el Tramo 9b subdividido a su vez en una primera etapa con el viaducto de Bolintxu (Tramo 9b1) y una segunda etapa con el túnel de Seberetxe (Tramo 9b2).

2.1.1. Desarrollo de los trabajos

El proyecto, está permitiendo utilizar las herramientas BIM desde la etapa de diseño y construcción, donde se encuentra en la actualidad, para posteriormente, utilizarse en la etapa de explotación y mantenimiento. En esta primera etapa, de diseño y construcción, está contando con la participación de más de 15 empresas operando de forma colaborativa, permitiendo así cumplir con los requisitos y objetivos estipulados en el Plan de Ejecución BIM (BEP) elaborado y el cual se caracteriza por ser transversal a todos los lotes y preparados para ser adaptado a las siguientes fases del proyecto.

Bajo esta misma finalidad, se llevó a cabo el desarrollo de los tres modelos BIM: el modelo inicial, el modelo actualizado de diseño y el modelo de seguimiento.

El modelo inicial nace del diseño 2D de partida del proyecto. El paso a tres dimensiones favoreció la detección de interferencias y facilitó el análisis de estas, a la vez que la selección de las soluciones óptimas a dichos problemas de forma colaborativa durante las sesiones mantenidas entre los agentes intervinientes.

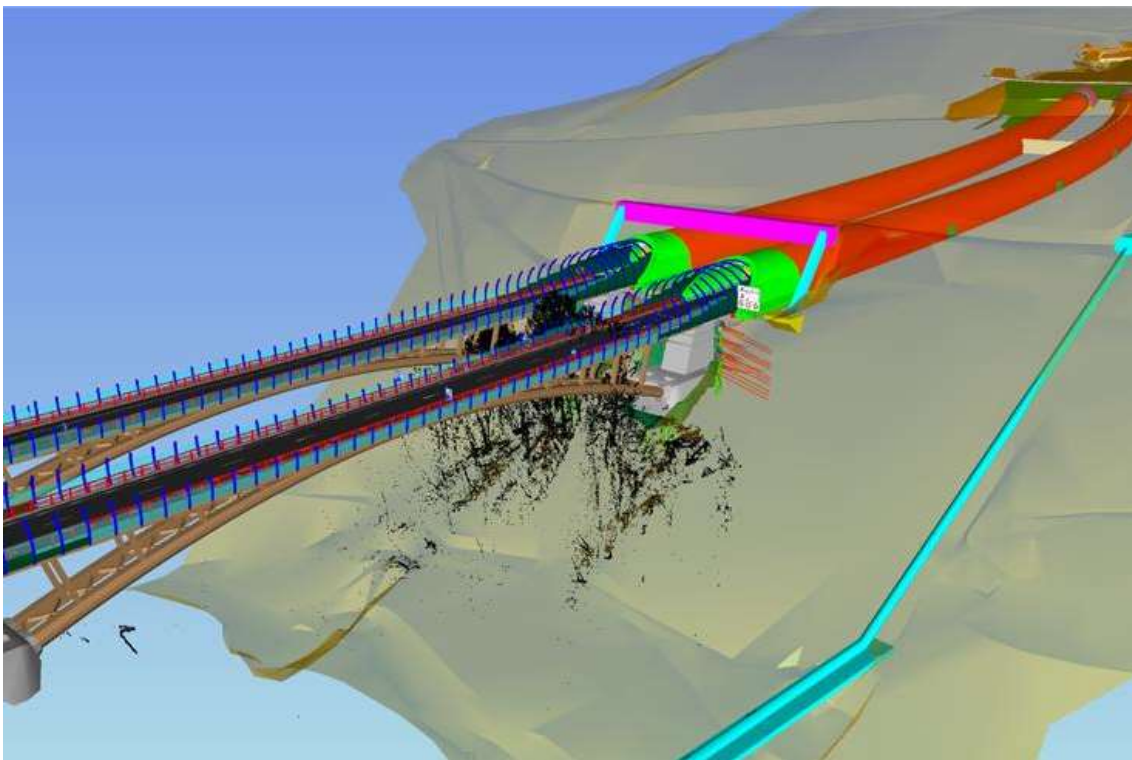


Fig. 1 Modelo 3D de seguimiento del Túnel Arnotegi, Tramo 9a de la VSM. Fuente: INGECID (2020)

El siguiente paso fue la realización del modelo actualizado de diseño. Los usos principales de este modelo abarcaron la coordinación del diseño 3D entre las disciplinas definidas para cada tramo y entre los

diferentes lotes del proyecto. Al mismo tiempo, formaba la base para la ejecución de la planificación y simulación 4D de las obras, realizado dentro de la plataforma de trabajo y la referencia para el proceso constructivo, al incluir la resolución de las discrepancias previamente identificadas durante la elaboración del modelo inicial.

Cabe destacar que uno de los usos más significativos surgió ante la necesidad del uso de información actualizada para el diseño del proyecto de ejecución de las instalaciones relativas a las obras, lo cual fue factible gracias al uso de un CDE y al cual accedieron los técnicos correspondientes para consultar la información almacenada. Como resultado de ello, se minimizaron notablemente en comparación con otras obras, las posibles futuras discrepancias y mejorar la eficiencia de las actividades desarrolladas; en otras palabras, el trabajo colaborativo requerido por la metodología BIM dio sus frutos.

Finalmente, el modelo de seguimiento o también conocido como modelo “As-built” progresivo pasó a ser el modelo de referencia para la comparativa con el modelo actualizado. Se trata de un modelo elaborado conforme el avance real de las obras que lo hizo clave para realizar un control geométrico exhaustivo en los túneles, considerando las tolerancias correspondientes en cada pase, y a su vez, permitió integrar nuevas geometrías de control como auscultaciones, sensores, etc., e incluso dar soporte en el análisis de alternativas a las soluciones de tratamientos especiales.

2.1.2. Trabajo Colaborativo

El proyecto requería la implantación de la metodología BIM para su utilización desde una fase previa al proceso constructivo, pasando por el seguimiento de la obra durante todo el proceso de ejecución hasta finalmente, el nivel de explotación, operación y mantenimiento.

La participación de un elevado número de agentes comprendía la necesidad de colaboración, favoreciendo la construcción de un repositorio común de información que propiciara la aparición del aclamado modelo de información digital en el mundo BIM.

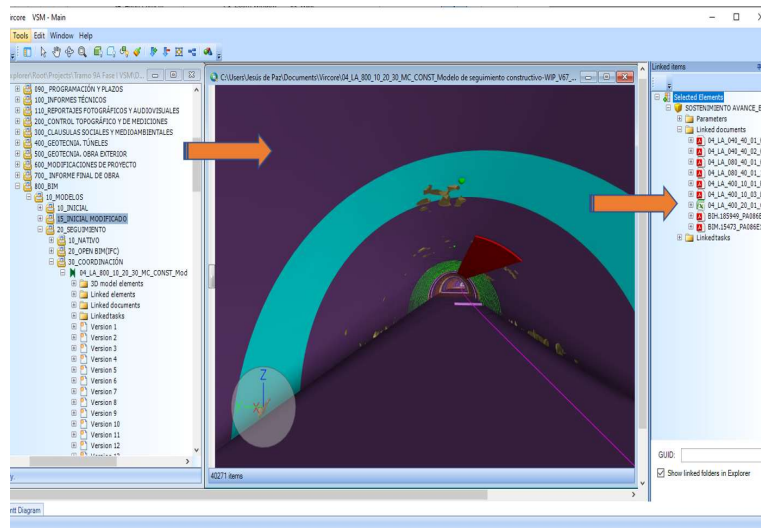


Fig. 2 Interfaz de la plataforma de trabajo para la gestión del proyecto de la VSM. Fuente: INGECID (2020)

Para crear y gestionar toda la información generada a lo largo del proyecto es necesario que la herramienta de trabajo no solo permita almacenar toda la información, sino que tiene que ir varios pasos más allá, poseyendo la capacidad de conectar a los agentes con la documentación generada, con los modelos elaborados y con las planificaciones implementadas; coordinando así de manera global el proyecto. Pero para ello, previamente es necesario definir en el BEP lo siguiente:

- Estructura de carpetas y sistema de codificación de cada directorio.
- Roles y responsabilidades en cada una de las fases del proyecto.
- Responsables del control de la información para cada directorio.

- Procedimiento para la entrega de información y su codificación.

La plataforma seleccionada ha sido clave en la implantación de la metodología BIM ya que incorpora todos los principios propios de ésta, permitiendo los desarrollos requeridos por ella al estar completamente enfocada hacia el cumplimiento de los requisitos propios de la metodología BIM. Del mismo modo, al contar la plataforma con la capacidad de adaptarse e incorporar las demandas particulares del cliente, permitió solventar todas las necesidades específicas del proyecto.

2.1.3. Detención de interferencias

Uno de los puntos innovadores en el sector de la obra civil está siendo el uso de los modelos tridimensionales para llevar a cabo la detección de interferencias. Se trata de una novedad y gran avance dado que, hasta el momento la detección de dichas colisiones se daba directamente en la fase de ejecución de las obras lo que incrementaba los costes y tiempos para el desempeño de los trabajos.

En el proyecto de la Variante Sur Metropolitana, un claro ejemplo de los beneficios que proporcionó la metodología fue que mediante el modelo BIM fue posible detectar en fases tempranas las interferencias y plantear soluciones alternativas en fases anteriores a la construcción permitiendo ahorrar en diseño y costes.

Uno de los análisis más complejos tuvo lugar en el emboquille de salida del túnel en el monte de Arnotegi en el cual intervenía un paraguas de micropilotes, una pantalla de micropilotes, anclajes de pantalla y bulones del túnel. El modelado y análisis de todo ello tuvo como resultado la ausencia de conflictos en obra, lo que resultó ser un éxito.

2.1.4. Simulación 4D

Una de las labores más significativas del proyecto fue la elaboración de una planificación 4D la cual permitió analizar los rendimientos teóricos de producción y establecer comparaciones frente a los rendimientos reales que se manejaban durante la ejecución de las obras.

Se perseguía integrar cada una de las necesidades con el modelo BIM sin necesidad de herramientas externas; es decir, se elaboraron múltiples planificaciones cuyas actividades se vincularon direccionalmente con los elementos de los modelos ejecutados y a su vez con la documentación generada en cada una de las fases del proyecto, facilitando la obtención de informes claves para evaluar la eficacia y eficiencia de la obra. Para ello, fue necesario establecer una codificación homogénea entre archivos; es decir, definir un atributo para los elementos y tareas de la planificación que recopilase la codificación que a su vez recogiese en su nombre el documento.

Resulta de gran utilidad la vinculación de tareas a elementos 3D del modelo ya que al poder ver qué actividades se desarrollan de forma paralela representadas mediante objetos tridimensionales es posible identificar aquellas que pudieran interferir al desarrollarse en un mismo espacio de forma simultánea, establecer la necesidad de medios auxiliares y los espacios que estos pueden necesitar.

Entre las distintas planificaciones elaboradas podemos destacar dos de ellas. Por un lado, se llevó a cabo la planificación 4D relativa a las excavaciones y puesta en obra de los sostenimientos del túnel en base a la tipología del terreno y consecuentemente de los materiales a emplear en función de dicha tipología; de esta forma, se mejoró la coordinación de los trabajos en obra y se aumentó la velocidad de avance real conforme a lo estimado en base a los modelos 3D.

2.2. Red de ferrocarriles de FGV

Al igual que el proyecto de la VSM, debemos destacar el proyecto ferroviario de renovación de vía y acondicionamiento de la infraestructura de la línea 9 de la red de Alicante de FGV. Este proyecto es uno de los últimos proyectos de gran envergadura en los que se ha visto inmerso el equipo BIM de INGENIERIA y en el cual está siendo clave su labor para la correcta implantación de la metodología BIM.

2.2.1. Desarrollo de los trabajos

Se trata de un proyecto en el que se busca implantar también la metodología en todas las fases del proyecto, desde la fase previa de diseño hasta la fase de explotación, operación y mantenimiento de la obra; sin embargo, el objetivo primero del proyecto radica en la realización de un seguimiento de obra basado en los procesos y las herramientas que proporciona la metodología.

Corresponde destacar que la obra se caracteriza por contar con dos pasos a nivel ubicados en la localidad de Denia; se trata de dos pasos conformados por glorietas que obligaron a realizar un diseño compatible con el diseño del tramo de ferrocarril y persiguiendo la finalidad de reducir el número de posibles interferencias en la fase de análisis y diseño de la solución adoptada.

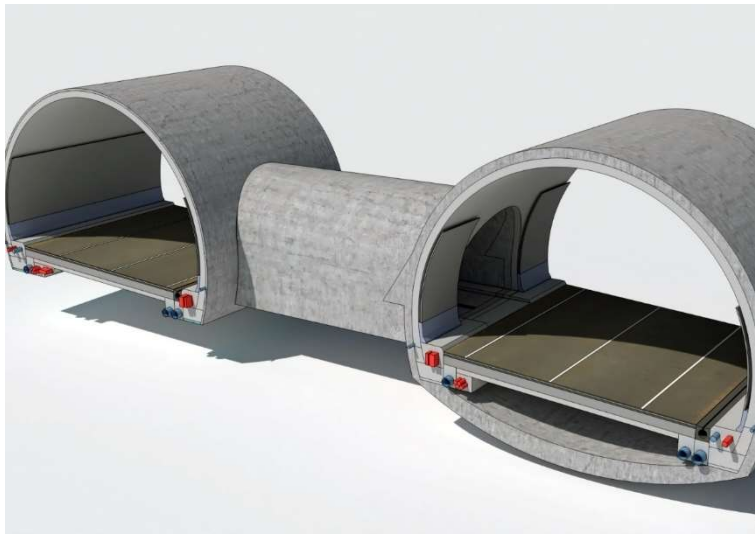


Fig. 3 Renderizado del detalle de la galería de conexión del túnel, VSM. Fuente: INGENICID (2020)

Los modelos tridimensionales elaborados han permitido realizar los análisis geométricos correspondientes de las alternativas a estudiar consiguiendo así ofrecer soluciones ingenieriles a las interferencias detectadas en una fase temprana del proyecto y haciendo compatibles la circulación rodada de los vehículos con la de los trenes.

El desarrollo de los trabajos de modelado y análisis de los modelos se basó en una serie de procedimientos previamente definidos en los que se recogían las indicaciones pertinentes para el desarrollo de las actividades de manera homogénea. Se identificó la necesidad de definir los siguientes procedimientos:

- Procedimiento de modelado
- Procedimiento de coordinación
- Procedimiento de detección de interferencias (definición de la matriz de interferencias, actividades, informes, etc.)
- Procedimiento de control de la calidad de los modelos

2.2.2. Modelos de coordinación o federados

Dada la tipología de la red de ferrocarril del proyecto, que cuenta con aproximadamente 11 kilómetros de línea divididos en cinco tramos y con una notable complejidad, hacían necesaria una coordinación minuciosa de cada una de las disciplinas (obra lineal, tráfico vial y ferroviario, estructuras, geología, geotécnica, etc.) involucradas en estos cinco tramos.

La razón por la que se decidió dividir el conjunto de la obra en grandes tramos radicaba especialmente en el tamaño que llegaban a alcanzar los archivos, lo que dificultaba enormemente la realización de los modelos, así como el análisis de estos a los modeladores BIM. Era la diversidad de información necesaria para el desarrollo de los modelos la razón por la cual aumentaba el tamaño de los archivos. Por ello, lo que se hizo



fue identificar las fuentes de información resultando que por un lado se tenía la información recopilada en obra (mallado, nubes de puntos, etc.) y, por otro lado, la información de modelado (elementos 3D, atributos, etc.) generando la unión de todo ello en un único archivo problemas a la hora de su manipulación.

Fig. 4 Modelo 3D del emboquille del diseño del paso a nivel de Denia. Fuente: INGENICID (2020)

Por ello, el modelo 3D de la obra se realizó ejecutándolo por separado para cada tramo y procediendo a su unión, creando el modelo de coordinación o federado y consiguiendo así reducir el tamaño de cada uno de los modelos individuales lo que facilitó el desarrollo de las tareas de modelado 3D.

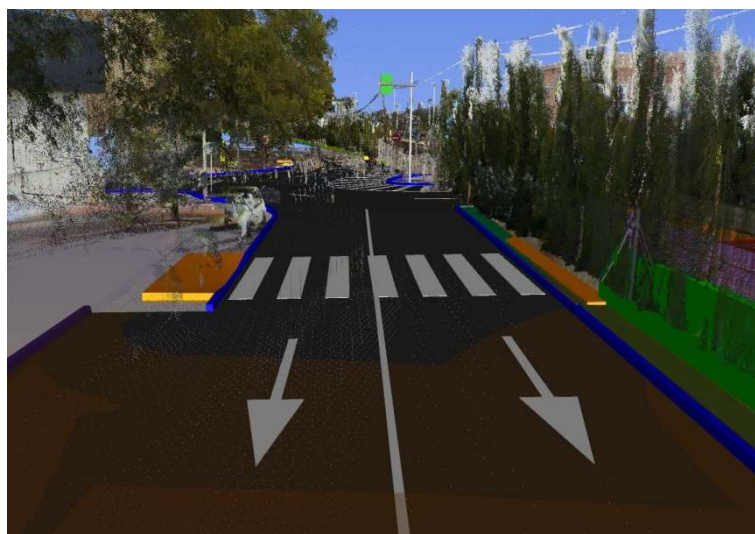


Fig. 5 Modelo 3D superpuesto con la nube de puntos del paso a nivel de Denia. Fuente: INGENICID (2020)

Como ya se ha comentado anteriormente, disponer de toda la información centralizada hizo posible integrar nuevas geometrías de control y al mismo tiempo, la documentación generada durante el proceso constructivo facilitó el desarrollo del modelo de seguimiento, actualmente en desarrollo.

Dicho modelo, se nutre de la información generada según el avance de la obra permitiendo realizar controles geométricos (tolerancias, mallas, etc.) y un seguimiento eficiente de la obra gracias a las vinculaciones bidireccionales entre la documentación y los elementos 3D del modelo.

2.2.3. Certificaciones de obra

La combinación de los modelos 3D elaborados de forma precisa, junto con el presupuesto en formato universal (BC3) permitió llevar a cabo el control de la certificación a través de la misma plataforma a partir del modelo; de esta forma, ha sido posible certificar, en BIM, mensualmente con un elevado porcentaje de las unidades de obra medidas a partir del modelo y de la correcta codificación de elementos y partidas del presupuesto. En este punto cobra especial relevancia la tramificación y codificación de los modelos ya que uno de los condicionantes que afectan son las particiones que se realicen del modelo, las cuales deben ser útiles para obtener las mediciones correspondientes a cada certificación.

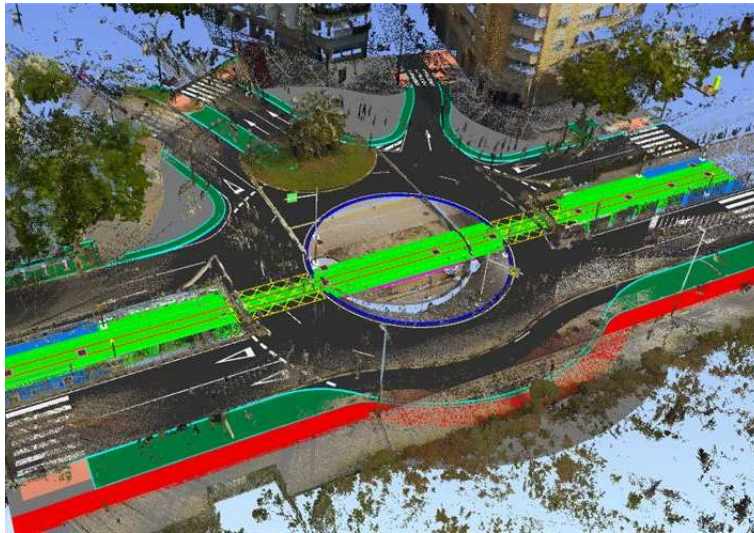


Fig. 6 Análisis de interferencias del paso a nivel con la obra lineal del ferrocarril. Fuente: INGE CID (2020)

El control de costes 5D en base a los modelos BIM, la centralización de la información durante todo el proceso constructivo y su conexión bidireccional con dichos modelos ha permitido asegurar la trazabilidad de toda la información, una colaboración eficiente entre todos los participantes y un seguimiento optimizado del proyecto.

3. La plataforma de trabajo

La plataforma de trabajo, VIRCORE, es una plataforma en constante evolución que permite una gestión sencilla de proyectos complejos. El origen de esta plataforma, desarrollado por el equipo de trabajo de INGE CID, se debe a la necesidad de aunar funcionalidades necesarias en una única herramienta para la gestión de proyectos BIM de gran envergadura en el ámbito de las infraestructuras; algo que no estaba completamente cubierto por las alternativas disponibles en el mercado.

Es una herramienta basada en la nube, con lo que toda la información de proyecto permanece en un repositorio único y es accesible desde cualquier rincón del mundo a través de cualquier dispositivo con conexión a internet. Además, cuenta con una elevada capacidad de personalización y adaptación a las necesidades particulares del cliente, configurando espacios de trabajo estructurados conforme a los requisitos propios de cada organización.

El elemento diferenciador y único en el mundo que caracteriza a VIRCORE frente a otros software de este tipo, es la capacidad de vincular y conectar documentos y datos bidireccionalmente con los modelos tridimensionales e incluso con elementos 3D que los componen; esto permite localizar todos los objetos vinculados a un documento y viceversa, incrementando la eficiencia en la búsqueda de información en cualquiera de las fases del proyecto, pudiendo convertir el modelo 3D en el índice del proyecto.

Así mismo, la plataforma permite interconectar las actividades de cualquier planificación tanto con la documentación del proyecto como con los distintos elementos o grupos de elementos de los modelos 3D; es decir, permite establecer en un proyecto relaciones bidireccionalmente entre documentos, planificación y los elementos del modelo 3D.

La plataforma VIRCORE solventa cada una de las necesidades que a lo largo del desarrollo de los proyectos ha podido ir identificando INGENIERÍA al trasladar las bases de la metodología BIM a los diferentes sectores e industrias proporcionando soluciones en todas las fases de los proyectos.

4. Conclusiones

A lo largo del presente documento, se ha querido plasmar, por una parte, la importancia que cobra la metodología BIM en proyectos del sector de la obra civil y por otra que el camino para alcanzar el real BIM sigue abierto, avanzando día a día.

Las ventajas adquiridas a la hora de implantar esta metodología en niveles superiores al nivel 0 y el nivel 1 son numerosas, desde el punto de vista del trabajo colaborativo cabe destacar la gestión óptima de todos los participantes que participan en cualquier proyecto de diseño y construcción, así como, la capacidad para ordenar la complejidad de los flujos de trabajo y las responsabilidades asociadas a cada agente del proyecto.

Al mismo tiempo, las plataformas de trabajo tienen una gran importancia ya que no solo deben constituir un sistema de trabajo, sino que a su vez deben permitir aplicar la metodología para que el trabajo se realice de forma eficaz. Esta plataforma, además de permitir el trabajo colaborativo cuenta con la capacidad para incorporar planificaciones (4D) y controlar las certificaciones de una obra (5D); este último punto aporta gran precisión de cara a estimar el coste total que tendrá una determinada actuación y al mismo tiempo la obra completa. Además, es importante destacar que estas dos funcionalidades de la herramienta son colaborativas pudiendo trabajar varias personas al mismo tiempo y siendo visibles los cambios para aquellos usuarios con los permisos adecuados.

También cabe destacar la importancia del modelado tridimensional, ya que favorece la visualización de los diseños en el espacio y permite coordinar modelos en base a disciplinas mejorando así la comprensión de los proyectos en comparación con la representación gráfica tradicional en planos 2D. El uso de los modelos 3D permite realizar comparaciones y decidir qué solución de entre las propuestas es la más adecuada para dar respuesta a las necesidades de diseño o conflictos que surgen durante la ejecución que no estaban contemplados inicialmente.

Finalmente, gracias al CDE utilizado en VIRCORE, ha sido posible llevar una gestión documental con alta trazabilidad e integrada en el modelo BIM convirtiendo al modelo 3D, como el índice de los proyectos y encaminando la metodología hacia la siguiente fase, la fase de explotación, donde la transición hacia los gemelos digitales, GEMAO e inteligencia artificial para predicción de eventos puede ser integrada.

En definitiva, la metodología BIM en sus niveles superiores, es la solución buscada por distintos sectores, enfocada en el ahorro de costes y de tiempos, además del incremento de la eficiencia a la hora de gestionar y desarrollar las actividades asociadas a todo el ciclo de vida de un proyecto.

Referencias

DE PAZ SIERRA, J. (2020). *Metodología para la gestión BIM en Proyectos de Desmantelamiento de Centrales Nucleares*. Tesis doctoral. Santander: Universidad de Cantabria, <<https://repositorio.unican.es/xmlui/handle/10902/20152>> [Consulta: 27 de abril de 2021]

BUILDINGSMART SPANISH CHAPTER. ¿Qué es bim? <<https://www.buildingsmart.es/bim/>> [Consulta: 27 de abril de 2021]

INGECID, Investigación y desarrollo de proyectos. *VIRCORE, Gestión sencilla de proyectos complejos*. <<https://www.Vircore.es/>> [Consulta: 27 de abril de 2021]

AENOR (2018). *Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 1: Conceptos y principios*. UNE 19650-1:2018. Madrid: AENOR.

AENOR (2018). *Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 2: Fase de desarrollo de los activos*. UNE 19650-2:2018. Madrid: AENOR.



IMPLANTACIÓN BIM LLAVES MANO EN UNA MICROEMPRESA DE ZARAGOZA (METRO7)

Lostao-Chueca, Diego^a; Agustín-Hernández, Luis^b y Sancho-Mir, Miguel^c; ^aBIM Facilitator en Metro7, doctorando en el Departamento de Arquitectura de la Universidad de Zaragoza - dlostao@unizar.es, ^bÁrea de Expresión Gráfica Arquitectónica del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Zaragoza - lagustin@unizar.es, ^cÁrea de Expresión Gráfica Arquitectónica del Departamento de Arquitectura de la Universidad de Zaragoza- misanmi@unizar.es

Abstract

It is exposed the experience lived around BIM implementation process in a micro-company in Zaragoza (Metro7) leading in R&D (Passivhaus, Well, Lean...).

The root of the procedure is the research carried out during the writing of a PhD about How to carry out a BIM implementation in micro-companies in AEC sector.

It is a three-phase plan: The starting point was to establish the nomenclative criteria. The uses of BIM were studied after that looking for the maximum profitability. Finally, a technician and a site manager have been trained in the use of OpenBIM tools to monitor a consult the model using mobile devices on site.

In this way, it has been found that dividing the BIM implementation by levels of detail, when resources are very limited, and choosing wisely the projects where to invest, is the key to gradually consolidating processes.

Keywords: *Implementation, OpenBIM, Methodology, Uses, Processes, Turnkey, Excel, Dalux.*

Resumen

Se presenta la experiencia vivida en el proceso de implementación BIM en una microempresa de Zaragoza (Metro7) puntera en el I+D+i (Passivhaus, Well, Lean...).

El procedimiento seguido nace de la investigación realizada durante la redacción de una tesis sobre cómo realizar una Implantación BIM en microempresas del sector AEC.

Se trata de un plan en tres fases: El punto de partida fue establecer los criterios de nomenclatura. Se estudiaron los usos del BIM que eran necesarios y con los que se podría obtener la máxima rentabilidad. Por último, se ha formado a un técnico y un encargado de obra en el uso de herramientas OpenBIM para realizar el seguimiento y consulta del modelo mediante dispositivos móviles a pie de obra.

Con una pequeña inversión inicial, consistente en la producción de plantillas y objetos genéricos que han servido de base para el modelado de un proyecto piloto, se han podido abarcar todas las fases de construcción.

De este modo, se ha podido constatar que fraccionar por niveles de detalle la implementación BIM, cuando los recursos son muy limitados y, elegir bien los proyectos en los que se puede invertir, es la clave para consolidar los procesos gradualmente.

Palabras clave: *Implantación, OpenBIM, Metodología, Usos, Procesos, LlavesMano, Excel, Dalux.*

Introducción

Atrás quedan los días en los que el concepto “BIM” era ajeno para todos los agentes del sector AEC (*Architecture, Engineering and Construction*). Todavía queda un largo camino que recorrer, sin embargo, las empresas empiezan a comprender las ventajas de la implantación de la nueva metodología y las inquietudes del tipo ¿Para qué voy a cambiar mi modo de trabajo si llevo veinte años y funciona de maravilla?, empiezan a verse relegadas por otras como: ¿Por dónde debería comenzar?

Este es el caso de la empresa zaragozana Metro7, que comenzó su actividad mediante la fórmula de constructora “Metro7 edificación singular y construcción sostenible SL” en el 2014. Durante estos años se ha apostado fuertemente por el I+D+i aplicado a la construcción, consiguiendo convertirse en un referente del estándar *Passivhaus*, antes incluso de que se conociera en la península, e introduciendo la metodología *LEAN Construction* al flujo de valor en oficina y obra. Gracias a esta inversión se consiguieron optimizar los procesos de trabajo tradicionales, creciendo y llegando a fundar, en el 2019, el “ESTUDIO METRO7 SLP”.

Con la fundación de la nueva empresa se decidió marcar un nuevo objetivo de innovación mediante la incorporación de nuevos estándares y metodologías, tan importantes para la salud y la sostenibilidad como son el estándar WELL y la certificación LEED, pero la apuesta más importante del estudio fue la introducción de la metodología BIM, ya que redefine completamente los procedimientos CAD aceptados hasta la fecha.

La actualización de los flujos de trabajo, y de cómo abordar un proyecto BIM, es un tema muy complejo que se ha debatido en diferentes ocasiones (Barco, 2018), (Santamaría, Hernández, 2017) o (De Frutos, Liébana, Cabrero, 2017). Todos coinciden en que se debe realizar durante un largo y constante proceso en el tiempo que, en el caso de una microempresa, puede llegar a prolongarse años. Es por ello, por lo que más que tratar el concepto implantación, se debería hablar de implementación; un término que contribuye a enfatizar el hecho de que, el cambio de la metodología es una carrera de fondo en la que todos los agentes implicados tienen que remar en la misma dirección para poder conseguir el objetivo BIM.

Para esta transición al BIM, en el caso de Metro7, se ha decidido establecer una colaboración con la Universidad de Zaragoza a través del doctorado cuyo título de tesis coincide con el de la comunicación, consiguiendo así documentar la totalidad del proceso y aportando su experiencia a la inteligencia colectiva.

1. Consideraciones previas a la implementación

Lo primero que se debe hacer, lejos de adquirir un software o empezar a formar al equipo, es realizar una auditoría de la empresa en la que estamos realizando la implementación, determinando cuáles son los niveles organizativos, conociendo los servicios que oferta y analizando los recursos, tanto humanos como digitales.

Para la obtención de estos datos se pueden utilizar herramientas como el modelo de negocio Canvas o un Plan de Empresa (Expertemprende, 2015). Una vez conozcamos los valores y objetivos de la empresa, una buena estrategia es la creación de un tablero Harada o similar que nos permita definir unos indicadores datando hitos relevantes, pasados y futuros.

Con esta información recabada se puede comenzar a preparar un Plan de Implantación BIM (PIB) ajustado a los procedimientos actuales y expectativas de futuro de la empresa. Para el caso objeto del estudio se puede observar que las tipologías de proyectos que desarrolla principalmente la empresa son: acondicionamientos de local, acondicionamientos de vivienda y vivienda de obra nueva bajo el estándar *Passivhaus*.

Como síntesis de lo analizado tras el estudio del modelo Canvas, se extraen dos conclusiones: que el cliente objetivo es el usuario final, ya sea en forma de empresa o particular; y que se trata de una empresa que no acostumbra a trabajar mediante la fórmula de la promoción o en pequeñas intervenciones al requerir de mucha coordinación dejando poco margen de beneficio.

2. Proyecto piloto

Al realizar la implementación es muy importante comenzar con un proyecto piloto, ya que la documentación que generemos en forma de objetos, plantillas, procedimientos... Serán potencialmente modificados tras la finalización de este, y actualizados gracias al aprendizaje obtenido. Si arrancáramos muchos proyectos de forma simultánea, dicha actualización será muy compleja, pudiendo incluso generarnos cuantiosas pérdidas por retrabajos.

En este caso, el proyecto elegido como piloto, fue una edificación de obra nueva en Bierge para un laboratorio de cosmética ecológica (Fig. 1 y 2).

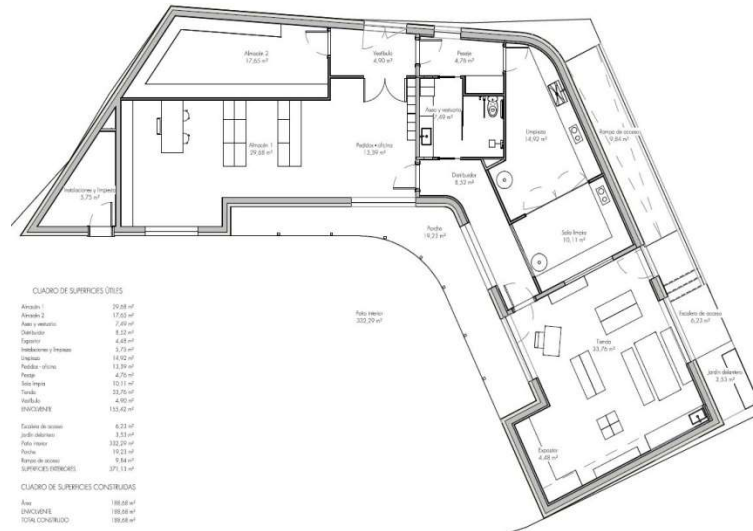


Fig. 1 Planta del proyecto piloto. Fuente: Autoría propia, 2021.

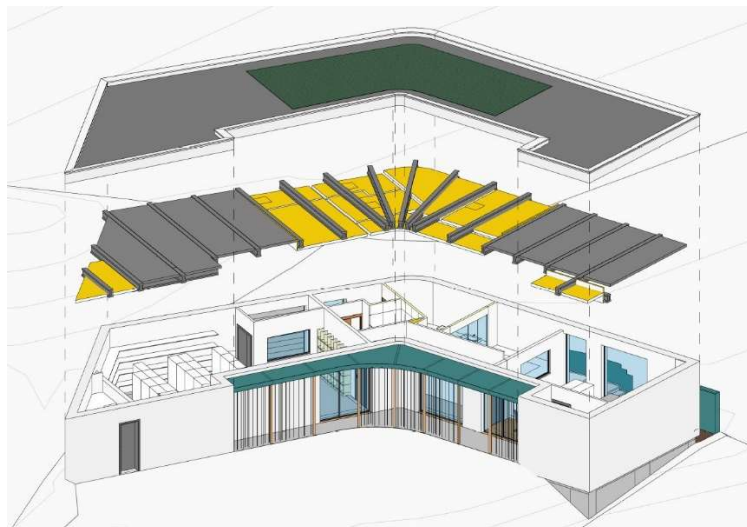


Fig. 2 Vista explotada del proyecto piloto. Fuente: Autoría propia, 2021.

2.1. Motivo de elección

Los criterios de elección son variables en función de la empresa en la que se realice la implantación, dependiendo de numerosos factores. Vamos a analizar los que han resultado ser los más determinantes para el caso que nos ocupa:

2.1.1. Tipología

Conviene elegir la tipología más recurrente del despacho, o la que mejor se tenga estudiada. De este modo, se pueden redirigir los esfuerzos de los procesos de diseño y revisión, permitiendo poner el foco en la preparación del formato y forma de los entregables, ajustando lo que tengamos estandarizado a la nueva herramienta.

La tipología más trabajada en Metro7 es la de vivienda unifamiliar de obra nueva, sin embargo, para el proyecto piloto se eligió un edificio con actividad, en vez de una vivienda. El motivo de su elección, en vez de otro cuya tipología fuera la más común, se debió a que, en el momento de iniciar el cambio, este proyecto ya tenía un nivel de definición de proyecto básico con metodologías tradicionales. Realizar la implantación de BIM al iniciar la fase proyecto de ejecución permitía limitar los cambios de proyecto.

2.1.2. Plazos

En una comparativa directa, entre ambas metodologías de trabajo (CAD o BIM), los tiempos de desarrollo del proyecto piloto van a ser superiores, en cuanto a tiempos de oficina; ya que es necesaria una base previa como son las plantillas y los objetos que tendremos que crear desde cero. Esta inversión temporal tiene un rápido retorno ya que para el próximo proyecto tendremos la mayor parte de documentos iniciales ya generados.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que los tiempos de trabajo son mucho menores con metodologías BIM para alcanzar el mismo nivel de definición, y sobre todo, se ofrece un valor diferencial en la gestión de cambios, ya que facilita la coordinación entre los diferentes entregables, mejorando su coherencia global.

2.1.3. Recursos necesarios

El objetivo de la implementación en el proyecto piloto era llegar hasta la fase de obra llevando la coordinación del estudio con la constructora. Se valoró que, para este proyecto, las distancias eran demasiado vastas como para llevar diariamente equipo propio de obra, por lo que se planeó dejar a un encargado de obra, entre semana, en Bierge que se ocupara de la gestión de gremios in situ; siempre coordinado con un técnico desde Zaragoza.

Este factor fue muy importante para elegirlo, ya que, al tratarse de una logística un poco más compleja de lo habitual, no se preveían cambios en cuanto al equipo humano dedicado a la obra; por lo que tan solo era necesario formar a dos personas de la constructora en herramientas GOB (Gestión de Obra BIM), que permitieran mantener la documentación actualizada.

2.2. Criterios elegidos para valorar la rentabilidad

En todos los trabajos que nos contraten es importante acotar el alcance, sin embargo, cuando trabajamos con la metodología BIM se convierte en un factor esencial, sino corremos el riesgo de generar mucho más valor de lo que posteriormente podamos facturar.

Una implementación mediante proyecto piloto puede deberse a dos factores. Que el cliente nos solicite BIM o que iniciarse en la metodología sea iniciativa de la empresa; ya sea para optimizar sus flujos de trabajo, mejorar los resultados o simplemente poder aportar un valor diferencial cuando haya un cliente que nos lo pida.

En el proyecto elegido no venía forzado, el uso del BIM, por ningún agente externo; lo que daba libertad al estudio para definir un BEP (*BIM Execution Plan*) de carácter interno utilizado como guía, pero sin verse forzado a seguirlo de un modo estricto. En él, se reflejaban conceptos derivados del alcance del trabajo como los que se desarrollan a continuación:

2.2.1. Usos del BIM

A pesar de todos los posibles usos (Fig. 3) que se le puede dar a un modelado arquitectónico, se estudiaron cuáles eran los que iban a suponer un menor esfuerzo reportando el mayor beneficio, una adaptación del “Principio del Pareto” (Cepymenews, 2019) que guiará la mayor parte de la toma de decisiones.



Fig. 3 Tabla de usos BIM. Fuente: Managebim.wixsite.com, 2016.

Los usos a los que finalmente se valoró que diera servicio el modelo fueron: Levantamiento de condiciones existentes, diseño de sistemas constructivos y coordinación 3D (Kreider, Messner, 2013).

La estimación de cantidades y costos era un uso objetivo, pero no fue posible llegar al nivel de control del modelo suficiente como para obtener unas mediciones con garantías, sin embargo, sí que se extrajeron datos de interés como longitudes de vigas, movimientos de tierras o volumen de hormigón.

2.2.2. Nivel de definición

Intentar alcanzar un alto nivel de definición en todos los componentes del modelado no suele estar justificado (Fig. 4), menos aún en un proyecto piloto. Sin embargo, existen elementos del modelo que nos interesa especialmente que aparezcan con una representación gráfica completa y una buena parte de información no gráfica. Se establecieron así los diferentes niveles de desarrollo en función de las categorías del modelo.

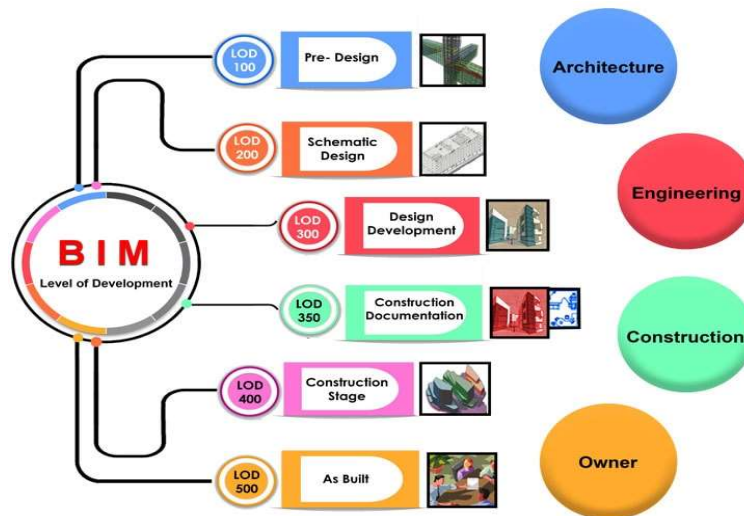


Fig. 4 Categorización visual de los LOD en BIM. Fuente: Todo-3d.com, 2019.

Para los objetos de definición arquitectónica básica: muros, suelos, cubiertas... Se estableció un LOD300 especificando de forma precisa la forma, tamaño y ubicación en el modelo. En cuanto a la manipulación del terreno se prefirió utilizar un LOD200 ya que, a pesar de tener un levantamiento topográfico y estudio geotécnico de la parcela, resultaba complejo el sistema de cimentaciones y se grafizó de un modo aproximado estableciendo criterios preferentes para la ejecución (Esarte, 2019).

Por último, en cuanto al apartado de las instalaciones se definió mediante un LOD100 utilizando elementos conceptuales que transmitieran el concepto sin visualizarlo gráficamente. Esta decisión permitió ahorrar mucho tiempo en la generación de objetos para el proyecto piloto, aunque se pierde la visualización tridimensional de las posibles colisiones, que es una de las mayores ventajas de la implantación.

2.2.3. Roles BIM

La multitud de roles BIM existentes en el mundo es bien conocido y se encuentra perfectamente documentado en la guía "Definición de Roles en procesos BIM" (Choclán, et. al, 2017).

A pesar de la exactitud de la terminología empleada para la definición de los roles, al realizar la implementación en una microempresa se pueden dar situaciones singulares, como, por ejemplo, la generación de una figura aglutinadora de roles muy polivalente. Esto se debe a que es muy probable, que un solo usuario, o un grupo muy reducido, se encarguen de la gestión de la información BIM del modelo (BIM Facilitator), la creación y actualización de los estándares técnicos de la empresa (BIM Manager), garantizar la concordancia de los diferentes modelos (BIM Coordinator), así como el modelado de estos (BIM Modeler), siempre sin dejar de lado otros tan comunes como pueden ser CAD Manager o IFC Specialist.

Por este motivo, dado que alcanzar la experticia de cada uno de los roles desempeñados es inasequible en los inicios, la figura encargada de dicha labor debe tener unos conocimientos y visión global suficientes del entorno BIM, siempre contando con el apoyo en la activa y generosa Comunidad BIM, que le permita resolver cualquier imprevisto durante el proceso de implementación.

2.2.4. Recursos humanos y digitales

Se debe acotar la inversión en los proyectos iniciales, ya que involucrar al menor número de agentes posible mejorará la eficacia en la resolución de problemas en el proyecto piloto. Con la lección aprendida, podremos extrapolar las pautas preferentes al resto del equipo.

En cuanto a las herramientas digitales, es cierto que las herramientas BIM, por lo general, necesitan más recursos gráficos, pero si en el despacho contamos con ordenadores preparados para la renderización, o son aptos para mover un videojuego, deberían de ser más que capaces de permitirnos trabajar en el proyecto piloto. De este modo, se puede posponer la inversión en equipos digitales hasta el momento en que el despacho la pueda asumir (Schulz, 2020).

3. Generación del modelo

Una vez analizada la empresa y localizado un proyecto piloto que pueda encajar, es el momento de abordar el modelado BIM. El momento de comenzar a modelar se puede considerar, erróneamente; como el inicio del trabajo BIM, sin embargo, se requiere establecer unos procedimientos previos para que lo modela pueda tener un uso posterior:

3.1. Entorno de trabajo

Se debe realizar un análisis, dentro de las múltiples opciones que ofrecer el mundo BIM, basado en criterios como los proyectos a los que va a dar servicio, los agentes involucrados durante el proceso, conocimientos previos, disponibilidad de hardware o variedad de precios.

Al tratarse de una microempresa, el número total de agentes que intervienen en el proceso de modelado es muy bajo, por lo que se ha priorizado la experiencia previa y la vasta comunidad de usuarios que tiene una de las principales herramientas del sector.

3.2. Criterios de nomenclatura

Uno de los miedos a la hora de implantar BIM es la multitud de normas y estándares que existen, entre los que podríamos destacar las Normas ISO o las guías de diferentes países que han realizado sus implantaciones, consultables en la página ministerial (Comisión BIM España, 2021).

Este no debe ser un factor que nos haga retrasar la implementación ya que, por el momento, tan solo se trata de un conjunto de recomendaciones, siempre que no nos exija el cliente cumplir alguna de ellas.

Siempre es necesario crear un criterio para poder gestionar correctamente los datos, sino corremos el riesgo de invertir recursos en un valor que quizá no podamos utilizar o sea inoperativa su edición. En nuestro caso, al no tener una exigencia externa se decidieron crear unas nomenclaturas adaptadas a la empresa para facilitar su uso y aprendizaje.

3.2.1. Objetos

Dentro de todas las opciones existentes se decidió emplear la que se propuso en Jefes del BIM Premium de Especialista 3D (Santamaría, 2021).

La forma resultante es la siguiente:

[Categoria(4 letras en mayúscula)]_[Característica1]_[Característica2]_[ProgramaVersion]

Aunque finalmente se decidió suprimir el último campo ya que, al trabajar con un único software, podía llegar a ser omisible.

Poniendo como ejemplo las cartelas del proyecto:

CROT_Parametrizable_Horizontal

3.2.2. Tipos

Para el caso de los diferentes tipos de objetos se decidió seguir el criterio propuesto por el estándar eCOB (ITeC, 2018):

[NombreTitular]_[DescripcionAbreviada]_[ProductoMaterial]_[Año/VersionPrograma]*

En este caso, se editó el sistema omitiendo el titular, ya que siempre será el mismo, así como el programa y versión, quedando un ejemplo resultante para muros como el siguiente:

MurosFachada418_MortA+LR140+T190+YesoE+LM45+PyL15

3.2.3. Materiales

Al establecer una codificación, para los tipos de objetos que tienen materiales, que incluye una subcodificación para ellos, se hace necesario documentar un listado en los que cada uno de ellos tienen nomenclatura propia e independiente.

3.3. Generación de plantilla

Previamente a iniciar el modelado, se hace necesaria la creación de una plantilla base que sirva a todas las disciplinas, y en ella volcaremos: objetos de anotación, parámetros comunes y los criterios gráficos del libro de estilo de la empresa como pueden ser los estilos y grosores de línea, patrones de sombreado, etc.

4. Gestión y extracción de datos

Con los criterios gráficos definidos todavía no tenemos suficiente información para comenzar a modelar, es esencial crear un criterio para la entrada de datos y su gestión en el modelo. Uno de los puntos más importante es la “forma” de los textos, ya que, por ejemplo, si queremos utilizar programación, dependiendo de que criterio empleemos puede que nos aparezcan errores inesperados.

Para limitar estas incompatibilidades se establece, como formato de entrada de texto en parámetros y valores que no sean de informe, la convención de nombrado PascalCase o UpperCamelCase (Techterms, 2020) mediante el cual la primera letra de cada palabra se coloca en mayúscula. En cuanto al uso de separadores, se utilizan “_” para distinguir campos o “+” cuando sea un listado de elementos. En cualquier caso, se intentará evitar el uso de “-” y de espacios en blanco.

4.1. Tablas de claves

Tras realizar un estudio con el departamento de oficina técnica, los encargados de las mediciones y presupuestos, se ha creado un listado de prioridades para la extracción de cantidades del modelo. Los movimientos de tierras, estructura, albañilería, envolvente y acabados eran las prioritarias a la hora de generar tablas de claves.

Para conseguir obtener los movimientos de tierras se convertía en necesario el uso BIM levantamiento de condiciones existentes que, comparándolo con el terreno resultante permite la obtención de los movimientos de tierras de un modo aproximado. El resto de los datos son los que condicionaban la decisión de establecer un LOD300 para los objetos de definición arquitectónica básica: muros, suelos, cubiertas, etc.

4.2. Exportación

Al no trabajar en la empresa con ninguna de las herramientas de mediciones y presupuestos que pueden relacionarse con un modelado BIM, y para conseguir posponer la inversión en un nuevo software específico, se hizo necesario el uso de la exportación de los datos a un documento “.txt” para, posteriormente convertirlo en “.xlsx” y poderlo cargar al programa de uso estandarizado en formato “.bc3”.

Para poder realizar esta secuencia de cambios de formato, conservando las propiedades intrínsecas de los valores, evitando así errores de contenido, se establecieron los siguientes criterios:

Nunca se podrán colocar las unidades en la misma celda de un campo del tipo número, se colocarán siempre en el encabezado para toda la columna; y cuando existan valores de tipo número, siempre se utilizará el siguiente formato de agrupación de cifras “123.456.789,00” omitiendo las puntuaciones no decimales.

5. Gestión de obra BIM

Una vez concluida la fase de proyecto, toca centrarse en la gestión del modelo durante la fase de obra. Al tratarse del modelado del proyecto piloto faltaba definición gráfica en ciertos aspectos importantes como es la gestión de colisiones o *clash detection* (UnitedBIM, 2019).

A pesar de ello, y de que el modelo no estaba generado con un uso de visualización, se realizó una exportación a IFC y, utilizando herramientas OpenBIM, se pudo consultar la volumetría y ciertos datos en obra mediante dispositivos móviles tipo tablet (Fig. 5).

El software elegido para el control en obra permitía la visualización del modelo en formato “.ifc”, con la documentación gráfica 2D generada, sin embargo, no se podían tomar notas sobre el propio documento digital. Se realizaban pantallazos y se dibujaba sobre ellos, aunque estos planos eran los mismos que se encontraban disponibles a pie de obra y otras veces se realizaban las anotaciones con los cambios acordados por la dirección facultativa.



Fig. 5 Utilización de herramientas OpenBIM en obra. Fuente: Francisco Cubero (Encargado de obra de Metro7) 2021.

Para la comunicación entre obra y oficina técnica se organizaban reuniones virtuales, siempre que era necesario, a través de aplicaciones específicas que permitían mostrar el problema a través de la cámara del dispositivo reduciendo el número de visitas presenciales que se realizaban semanalmente. Para la gestión de los cambios, solicitados por el equipo encargado de la obra, en el modelo BIM, era necesario realizar un esquema de la zona afectada y definir una fecha para la que era necesario que estuviera, en obra, el documento actualizado. El equipo encargado del modelado recibía la información y lo introducía en la planificación para conseguir el objetivo solicitado, una vez concluido el trabajo se generaba nuevamente el archivo IFC y la documentación gráfica 2D vinculada, en la que se marcaba la fecha del cambio y el número de revisión. Al cargar nuevamente el modelo en el visor IFC, al que se tenía acceso desde la obra, se conseguía que la nueva documentación pudiera ser consultada de un modo casi inmediato.

6. Resultados

Una vez cumplido el objetivo del modelo BIM, llegando desde la fase de proyecto hasta su ejecución en obra, queda extraer las lecciones aprendidas, el correcto procedimiento para hacerlo es mediante un auditado del modelo. Según la RAE, una auditoría es la “revisión sistemática de una actividad o de una situación para evaluar el cumplimiento de las reglas o criterios objetivos a que aquellas deben someterse.”

Aplicado al proyecto, es el momento de revisar los objetos, estilos gráficos y toda la documentación generada en general para comprobar que todos los criterios que debían ser seguidos, realmente lo han sido. Durante esta fase final, también vamos a extraer todos los objetos potencialmente reutilizables y guardarlos en una estructura de carpetas ordenada para facilitar los futuros modelados. La empresa objeto del estudio suele trabajar con tipologías constructivas recurrentes, es por ello que también se decide crear un proyecto nuevo para el almacenaje de muros con sus codificaciones, propiedades físicas y gráficas ya definidas.

Lo observado al realizar el auditado, es que se comenzó de un modo muy disciplinado siguiendo todos los criterios establecidos previamente y que, conforme se avanzaba en la definición del modelo se iba perdiendo el procedimiento para la generación de objetos. Lo que se puede deducir es que una parte de la pérdida de los criterios de nomenclatura se debe a un motivo de plazos de entrega, pero en otros casos existe cierta falta de definición en el proceso previo que se deberá solventar para los futuros proyectos.

Se deben analizar los tiempos dedicados y establecer una comparativa con la dedicación necesaria en la metodología previa, este gráfico de Shoegnome Architects (Fig. 6) traduce fielmente los resultados obtenidos ya que, aunque se hubieran creado las plantillas en una fase previa, no tenían el alcance necesario para optimizar en exceso la fase de generación de entregables. Gracias al auditado y la

actualización de las plantillas, en futuros proyectos la curva temporal se asemejará más a la dibujada como "Idealized BIM".

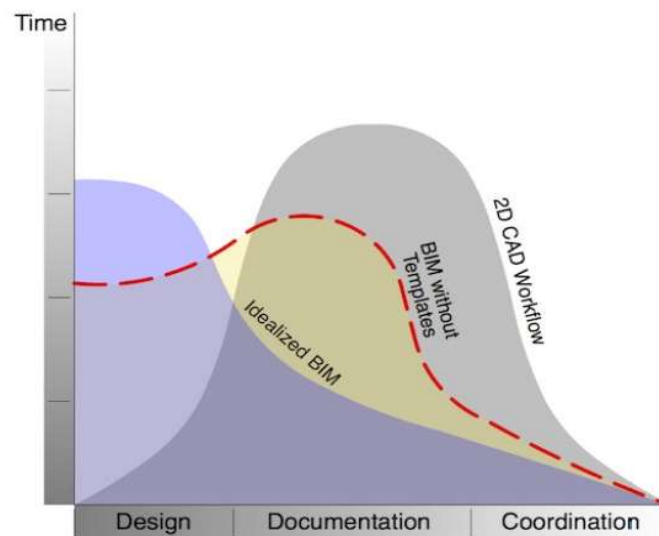


Fig. 6 Work Flow BIM vs CAD. Fuente: Shoegnome.com, 2015.

La experiencia, en cuanto a la repercusión en obra se ajusta, del mismo modo, a los gráficos; generando opiniones muy positivas dentro del equipo encargado de su ejecución (Fig. 7):

"Este año he vivido una nueva experiencia en obra, utilizando las nuevas tecnologías con un proyecto modelado en BIM. Esto ha hecho que me sienta acompañado en todo momento por el equipo que hay detrás, tanto dirección como jefe de obra. Con una comunicación rápida y precisa, utilizando, siempre que ha sido necesario, videoconferencias; ya que, al disponer del modelado en BIM, nos han permitido tener acceso rápido y claro al proyecto, facilitando la solución de todos los encuentros constructivos. De la misma manera, he sentido alivio al poder hacer lo mismo con el equipo de obra, gremios y cuadrillas de trabajo, pudiendo explicarles visualmente los trabajos que tenían que hacer en obra: previo a su entrada y durante la ejecución de los mismos. En resumen, la experiencia ha sido muy buena y positiva, te das cuenta de que es el primer paso y que nos falta mucho camino por recorrer." (Francisco Cubero, 2021. Encargado de obra de Metro7).

"La posibilidad de trabajar en un modelo común ha disminuido los errores en el resultado final. Sin duda, BIM es un avance para la empresa que optimizará tiempos y nos hará avanzar en una gestión integral más eficiente." (Jorge Pérez, 2021. Jefe de obra de Metro7).



Fig. 7 Imagen del acceso. Fuente: Francisco Cubero (Encargado de obra de Metro7) 2021.

7. Conclusiones

Al principio del proceso de implementación se parte desde la nada y cuesta mucho esfuerzo crear una base sobre la que trabajar, tanto que puede llegarnos a hacer dudar si realmente va a ser buena idea, quizá incluso nos tiene volver a las metodologías de trabajo tradicionales, pero eso sería un grandísimo error.

Cuando se inicia el proceso con un proyecto piloto hay que llevarlo hasta el final, una vez el modelo se encuentra ensamblado la gestión de cambios es muchísimo más ágil, y podremos recuperar el tiempo invertido al inicio del proceso, tal y como se aprecia en los testimonios de los responsables de la ejecución. Incluso, a pesar de que dentro de los usos objetivo del proyecto no se encontraba el de visualización, fue posible la generación de vistas de alta calidad (Fig. 8) durante el proceso de diseño, que ayudó en la toma de decisiones sin la necesidad de generar otro modelado independiente.



Fig. 8 Infografía del patio interior. Fuente: Autoría propia 2021.

Como conclusión se puede decir que, aunque existía falta de definición en ciertas disciplinas del modelo analizado, y que no estaba generado con un uso de visualización, demostró tener un nivel suficiente que permitió poder producir una documentación con calidad comparable a la resultante de las metodologías CAD, con un consumo de tiempos no muy superiores, mejorándola con creces en la fase de toma de decisiones de soluciones constructivas.

Referencias

- BARCO MORENO, D. (2018). *Guía para implementar y gestionar proyectos BIM. Diario de un BIM Manager*. Madrid: Editorial Cosmos
- CEPYMENEWS (2019). “La Ley de Pareto o Regla del 80/20 en la gestión empresarial” en *Cepyme News*.
<<https://cepymenews.es/la-ley-de-pareto-regla-80-20-gestion-empresarial>> [Consulta: 10 de abril 2021]
- CHOCLÁN GÁMEZ, F. et al. (2017). “Roles en procesos BIM” en *esBIM*.
- COMISIÓN BIM ESPAÑA (2021). “Biblioteca BIM” en *Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana*.
<<https://cbim.mitma.es/biblioteca>> [Consulta: 10 de abril 2021]
- DE FRUTOS RAMÍREZ, A. LIÉBANA CARRASCO, O. CABRERO SERAL, J.C. (2017). “implementación de gestión de pequeños proyectos de reforma mediante la metodología bim” en *EUBIM 2017*. Valencia: Universitat Politècnica de València. 268-278.
- ESARTE ESEVERRI, A. (2019). “Nivel de detalle de un proyecto BIM” en *Espacio BIM*.
<<https://www.espaciobim.com/nivel-detalle-proyecto-bim/>> [Consulta: 10 de abril 2021]

ESPECIALISTA3D (2021). "Jefes del BIM Premium" en *Especialista3D*.

<<https://especialista3d.teachable.com/p/jefe-del-bim-premium>> [Consulta 10 de abril de 2021]

EXPERTEMPRENDE (2015). "Guía Canvas Plan de Empresa" en *Extremaduraempresarial*.

<http://culturaempresarial.extremaduraempresarial.es/wp-content/uploads/2015/11/Guia-Canvas-Plan-de-Empresa_alumnado.pdf> [Consulta: 15 de febrero de 2021].

HERNÁNDEZ GUADALUPE, J. SANTAMARÍA GALLARDO, L. (2017). *Salto al BIM*. Madrid: JHGUADALUPE.

ITEC (2018). "Estándar de creación de objetos BIM v1.0" en *Ecobject*.

<<https://ecobject.com/estandar-ecob/>> [Consulta: 20 de marzo de 2021]

KREIDER RALPH, G. MESSNER JOHN, I. (2013). *The uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses v.0.9*. Pennsylvania State University: Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 United States License.

MANAGEBIM.WIXSITE.COM (2016). "Identificando los Usos y Objetivos BIM para un proyecto" en *Managebim.wixsite*.

<<https://managebim.wixsite.com/2016/single-post/2017/08/18/Identificando-los-Usos-y-Objetivos-BIM-para-el-proyecto>> [Consulta: 20 de marzo 2021]

METRO7 (2020). "Taller de cosmética ecológica" en *Metro7*.

<https://metro7.es/mies_portfolio/abella-la-curva-es-a-bella/> [Consulta: 15 de febrero de 2021]

SCHULZ PUELL, M. (2020). "Cómo elegir el mejor software para BIM" en *Retain Technologies*.

<<https://retaintechologies.com/como-elegir-el-mejor-software-para-bim/>> [Consulta: 20 de marzo 2021]

SHOEGNOME ARCHITECTS (2015). "Why BIM is Still Bankrupting Your Firm" en *Shoegnome Architects*.

<<http://www.shoegnome.com/2015/12/09/bim-still-bankrupting-firm/>> [Consulta: 15 de febrero 2021]

TECHTERMS (2020). "CamelCase Definition" en *Techterms*.

<<https://techterms.com/definition/camelcase>> [Consulta: 10 de abril 2021]

TODO3D (2019). "LOD: Niveles de detalle en Building Information Modeling" en *Todo3d*.

<<https://todo-3d.com/lod-niveles-de-detalle-en-bim/?v=911e8753d716>> [Consulta: 13 de abril de 2021]

UNITED BIM (2019). "What is Clash Detection in BIM- Process, Benefits and Future Scope in Modern Day AEC industry" en *United BIM*.

<<https://www.united-bim.com/what-is-clash-detection-in-bim-process-benefits-and-future-scope-in-modern-day-aec-industry/>> [Consulta: 13 de abril de 2021]



HERRAMIENTA WEB PARA LA GESTIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LOS EDIFICIOS Y SU CONEXIÓN CON MODELOS BIM

Otal-Simal, Rafael^a; Pérez-González, Pedro-Enrique^b; ^aIngeniero de Software - goldrak@gmail.com, ^bTécnico BIM - pedenry@gmail.com

Abstract

Pathological records within the field of building engineering are a means for the identification and cataloging of pathologies, useful for the technician who evaluates the state of conservation of a building.

However, the process of filling in the records can be tedious and time-consuming. Hence, the motive for developing this tool is to automate this task so that it facilitates the technician's task.

Through the development of a web tool capable of fulfilling this purpose, it has revealed the potential offered by digitizing the data of a pathology - being able to analyze the data using a mathematical model to evaluate the danger of damage to a building and, thanks to the methodology BIM and the use of the tool, we are now able to detect possible relationships between construction systems with elements that can serve as a bridge for the appearance of some pathologies derived from others.

Keywords: Pathologies, web application, REST API, BIM, Facility Management.

Resumen

Las fichas patológicas dentro del ámbito de la ingeniería de edificación son un medio para la identificación y catalogación de patologías, útil para el técnico que evalúa el estado de conservación de un

No obstante, su elaboración puede resultar tediosa en la cual, se invierte mucha cantidad de tiempo. Es por esto que el impulso para desarrollar esta herramienta es el de automatizar esta tarea para que el técnico vea facilitada su labor.

A través del desarrollo de una herramienta web capaz de hacerlo, se ha puesto de manifiesto el potencial que ofrece digitalizar los datos de una patología, pudiendo analizarlos mediante un modelo matemático para evaluar la peligrosidad de los daños de un edificio o, gracias a la metodología BIM y el uso de la herramienta, encontrar posibles relaciones entre sistemas constructivos con elementos que puedan servir de puente para la aparición de unas patologías derivadas de otras.

Palabras clave: Patologías, aplicación web, API REST, BIM, Mantenimiento de edificios.

Introducción

Uno de los campos dentro del sector AECO que está más atrasado en cuanto a metodologías y que puede verse más beneficiado por las nuevas tecnologías que están irrumpiendo actualmente, es el del mantenimiento de los edificios y, más concretamente, el de las Patologías en Edificación. Por eso, el objetivo principal de este proyecto es el de desarrollar una herramienta que esté enmarcada dentro de este ámbito del sector.

Una de las disyuntivas que se plantean con la propuesta del desarrollo de una herramienta es el de discernir entre dos formas de actuación: Elaborar una herramienta complementaria a BIM (desarrollando un complemento a un software de modelado, como un plugin para Revit) o elaborar una herramienta independiente que, en su evolución, se conectase a la metodología BIM como han hecho otras (como, por ejemplo: Presto).

La respuesta a esta cuestión se obtiene observando a los profesionales a quienes va dirigida la herramienta. La mayoría de estas personas con perfil técnico obtuvieron la titulación antes de la aparición de las herramientas BIM. Esto, unido a la falta de funcionalidades para su desempeño profesional que les aporta el BIM, conduce a que el aprendizaje de las herramientas asociadas con el BIM sea una tarea que implica un sobreesfuerzo importante y solo haya sido llevado a cabo por unos pocos.

Por todo ello, la decisión final fue la de desarrollar una herramienta independiente y fácil de utilizar que, posteriormente tenga la posibilidad de conectarse a modelos mediante un plugin. Esta herramienta, englobada dentro del ámbito patológico, pretende automatizar tareas y facilitar la gestión de los daños de un inmueble como se expondrá en los puntos siguientes.

1. Metodología

El desarrollo de este proyecto se inició hace 3 años cuando se detectó que la generación de fichas patológicas en el ámbito de la edificación era una tarea automatizable. Desde entonces se ha llevado a cabo, aunque hayan sido más intensos los últimos 10 meses. En el transcurso de este tiempo, hay que destacar 2 grandes ramas desde donde se vertebra el proceso de creación de la herramienta:

- El ámbito informático
- El ámbito patológico

1.1. Metodología en el ámbito informático

Tras identificar la necesidad, se procedió con la investigación de tecnología necesaria para llevar a cabo el desarrollo de la herramienta siendo la más favorable el uso del desarrollo web por motivos que se explicarán más adelante.

Una vez que se identificó la tecnología a aplicar, se debían adquirir los conocimientos mínimos.

Tras un estudio de la materia, se aplican en el desarrollo de la herramienta.

1.2. Metodología en el ámbito patológico

Paralelamente a esto, se investigaba la catalogación de patologías y los elementos a los que afectaba. Esto dio como resultado el uso de los *Estudios Estadísticos Nacionales de 2013 y 2016* realizados por MUSAAT¹ con modificaciones adaptadas a la funcionalidad de la herramienta.

También y dado que se perseguía un uso adaptado al perfil técnico del usuario, se hicieron muestras de la aplicación para conseguir una interfaz lo más heurística y funcional posible de manera que la curva de aprendizaje no pasase de los pocos minutos.

Una vez desarrollada una versión *release candidate*² de la aplicación, se puede testear aplicándola a un caso real como es el de la Torre de Mangana para después hacer una evaluación de las ventajas que ofrece su uso.

2. Motivaciones

El principal impulso que mueve este proyecto es el de fomentar la proactividad en el desarrollo de software aplicados al sector AECO.

Actualmente, se vive una era de revolución digital que ha tocado todos los sectores y que en el caso del campo que nos ocupa puede apreciarse en la disrupción de la metodología BIM.

Con la aparición de esta nueva metodología de trabajo, se ha desplegado un amplio abanico de software que aprovecha, a su vez, los avances con el potencial del hardware de esta época. Esto que a priori puede resultar una ventaja, muchas veces llega a abrumar al técnico que ve cómo aumenta la cantidad de herramientas que debe conocer. Por ello, en la elaboración de este software, se ha perseguido facilitar al máximo su uso consiguiendo una curva de aprendizaje de pocos minutos.

De esta manera, se descubre que esta herramienta tiene la capacidad de ayudar al técnico a ordenar los edificios que inspecciona y a catalogar las patologías de una manera automática facilitando su toma de decisiones para aumentar su calidad profesional y el desempeño de su trabajo.

Asimismo, uno de los caminos que subyace con la aparición de este software, es que su inevitable metamorfosis sea paralela a la evolución de las posibilidades que va ofreciendo de manera simultánea la tecnología.

3. Conceptualizando la herramienta

A la hora de idear la herramienta, principalmente se consideró en automatizar la labor de realizar fichas patológicas. Pero al trabajar en su desarrollo se puso al descubierto las ventajas de la digitalización de datos por razones que serán expuestas más adelante. Aunque antes hay que desarrollar el impulso que suponía la realización de la tarea de generación de fichas patológicas mediante un formulario.

La realización de fichas patológicas en el ámbito de edificación es una manera fácil e intuitiva de clasificar los daños que se producen en los edificios. Una ficha patológica muestra diferentes datos de una patología para identificarla, analizarla y presentar un diagnóstico con el fin de realizar una actuación en consecuencia a esos datos.

En el transcurso de la asignatura de "Patología y Restauración", se debían hacer multitud de estas fichas en coordinación con otros compañeros de equipo. La dificultad de esta tarea radica en la falta de uniformidad que se consigue de un compañero a otro. Además, su realización en *Microsoft Word* se presenta como una labor donde había que estar más tiempo modificando parámetros de visibilidad y diseño que en el propio estudio de la patología.

Son muchas las iniciativas de los alumnos en cuanto a software empleado para conseguir uniformidad y eficacia para su realización siendo *Excel* la más proclive para esta labor.

Esta aplicación para la realización de hojas de cálculo facilitaba la labor con la posibilidad de crear celdas desplegadas, capacidad para conseguir uniformidad y el potencial de crear celdas condicionales por medio de macros que automatizasen en cierta medida su visualización. El problema surgía al compartir dicho archivo con la plantilla de ficha patológica ya que requería ciertos conocimientos de *Excel* para su manejo y, cuanto más fácil se quisiera hacer, más macros se debían crear.

Por todo ello y dado que se debía tratar el ámbito de la lógica de programación, se decidió emprender la realización de una herramienta que confeccionase una ficha patológica de manera automática gracias a los datos que el usuario fuera introduciendo acerca de una determinada patología.

Estos datos se debían introducir a través de un formulario por medio de *inputs* para después poder manejarlos y procesarlos de una manera dinámica. Este factor es de gran importancia porque se descubre el ámbito de la digitalización. Gracias a esto irrumpen importantes ventajas como:

- Posibilidad de filtrado
- Trazabilidad
- Procesado y análisis

4. Programación informática

4.1. Aplicación web VS Aplicación de escritorio

Tal y como se menciona en el apartado de Metodología, previamente al aprendizaje de las competencias informáticas necesarias, se hizo un estudio comparando las posibilidades de desarrollar una herramienta web a otra de escritorio, llegando a las siguientes conclusiones:

- **Rendimiento:** Por norma general, la respuesta que ofrece una aplicación de escritorio es mayor a una aplicación web, pero con las nuevas tecnologías, esta diferencia de respuesta se ha reducido considerablemente.
- **Portabilidad:** Una Aplicación Web es más portable que una de escritorio y dado el flujo de trabajo que propone la herramienta, la portabilidad y flexibilidad de uso en distintos dispositivos es imprescindible para aprovechar todo su potencial.
- **Facilidad de instalación:** Un técnico ya precisa de la instalación de multitud de herramientas en sus dispositivos. Una aplicación Web no requiere instalación.
- **Requerimiento de software y librerías:** La aplicación web sólo requiere un navegador, que está presente en cualquier computadora.
- **Seguridad:** Cualquiera de las dos se puede configurar de manera segura dependiendo los requerimientos del cliente.
- **Internet:** El uso de internet se encuentra muy extendido y hoy en día es más fácil que nunca disponer de conexión mediante datos o wifi. Además, el hecho de que el contexto donde se usaría la aplicación sea en inmuebles en fase de operación, incrementa las probabilidades de disposición de red.
- **Tendencia:** Si se analiza de manera superficial las tendencias del mercado de aplicaciones, se puede vislumbrar una tendencia de las tecnologías al procesamiento en la nube. En la búsqueda de escalabilidad de la herramienta, escoger la decisión de elaborar una aplicación web, es cuasi inevitable.

Es por esto por lo que la elección fue la de elaborar una aplicación web, ejecutable desde cualquier dispositivo con navegador y conexión a internet, para después conectar un software de modelado BIM a través de un plugin.

4.2. Principales tecnologías usadas

4.2.1. Lenguajes

HTML (HyperText Markup Language): Lenguaje de marcado para definir los datos de la herramienta que se verán en pantalla a través de un navegador web.

CSS (Cascading Style Sheets): Lenguaje de estilos que proporciona formato y estilo al HTML.

JavaScript: Lenguaje de programación interpretado orientado a objetos utilizado para desarrollo de páginas web que soporta construcción de objetos basado en prototipos³. Gracias a este lenguaje, se puede dar funcionalidades y comportamientos a diferentes elementos visibles para el usuario final.

PHP⁴ (Hypertext Preprocessor): Es un lenguaje de programación interpretado (Lenguaje de alto rendimiento), diseñado originalmente para la creación de páginas web dinámicas, el cual es descifrado por Apache para su procesamiento obteniendo los datos de la base de datos MySQL, según las peticiones que realice el usuario en la interfaz gráfica de la aplicación.

SQL (Structured Query Language): Lenguaje de dominio específico utilizado en programación, diseñado para administrar, y recuperar información de sistemas de gestión de bases de datos relacionales⁵. Se ha usado para la realización de llamadas a bases de datos con la finalidad de crear, leer, editar o eliminar registros. Cada registro puede ser, en el caso que estamos tratando, un edificio o una patología que se almacena en la base de datos.

C#: Lenguaje de programación desarrollado y estandarizado por la empresa Microsoft como parte de su plataforma .NET. En el caso del desarrollo de esta herramienta, se ha empleado para la creación de un plugin de conexión entre la plataforma Autodesk Revit con la parte web.

4.2.2. Frameworks⁶ o bibliotecas

jQuery: Es una biblioteca de JavaScript que permite simplificar la manera de interactuar con los documentos HTML, manejar eventos, desarrollar animaciones y agregar interacción con la técnica AJAX a páginas web. jQuery, al igual que otras bibliotecas, ofrece una serie de funcionalidades basadas en JavaScript que, de otra manera, requerirían de mucho más código; es decir, con las funciones propias de esta biblioteca se logran grandes resultados en menos tiempo y espacio.

Bootstrap⁷: Es una biblioteca web o conjunto de herramientas de código abierto para diseño de sitios y aplicaciones web. Contiene plantillas de diseño con tipografía, formularios, botones, cuadros, menús de navegación y otros elementos de diseño basado en HTML y CSS, así como extensiones de JavaScript adicionales.

4.2.3. Herramientas y otras tecnologías

JSON⁸ (JavaScript Object Notation): Formato ligero de intercambio de datos. Leerlo y escribirlo es simple para humanos, mientras que para las máquinas es simple interpretarlo y generarlo. Está basado en un subconjunto del Lenguaje de Programación JavaScript⁹. Es un formato de texto que es completamente independiente del lenguaje, pero utiliza convenciones que son ampliamente conocidos por los programadores de la familia de lenguajes C, incluyendo C, C++, C#, Java, JavaScript, etc. Estas propiedades han hecho que JSON sea un lenguaje adecuado para el intercambio de datos entre el software de modelado y la herramienta web.

MySQL: Es un sistema de gestión de bases de datos relacional, multihilo y multiusuario, es rápido y seguro, estando ampliamente extendido su uso en internet. El motivo de usar esta base de datos es que no todos los hospedajes en internet dan la posibilidad de tener una base de datos NoSQL, por lo que se limitaría el poder instalar la aplicación en muchos entornos.

AJAX (Asynchronous Javascript and XML): Es una tecnología utilizada para crear páginas web. La principal característica de Ajax es que nos permite hacer peticiones HTTP de manera asíncrona, sin pasar por el navegador.

Visual Studio: Entorno de desarrollo integrado para Windows y macOS. Es compatible con múltiples lenguajes de programación.

Pencil Project¹⁰: Herramienta de código abierto para la creación de prototipos de interfaces gráficas. La última versión estable es la 3.1.0.

5. Patologías en edificación

Si profundizamos, patología proviene del griego donde πάθος (*pathos*) significa 'enfermedad' y λογία (*loguía*) significa 'estudio' o 'tratado'. El primer término se conoce, además, como "alteración leve o grave del funcionamiento normal de un organismo o de alguna de sus partes debida a una causa interna o externa"¹¹. Esto traducido al campo que nos ocupa, la Patología sería el estudio de las alteraciones no contempladas en los edificios.

Este principio, es el vórtice desde donde giran todas las funcionalidades de la herramienta ya que estas se podrían haber centrado en hacer algo con una utilidad más palpable, como es la realización de IEE. Pero se ha puesto el punto de mira en las patologías en edificación ya que es un “evento” producido de una manera sistemática en los edificios y del que se produce la mayor parte del gasto económico derivado de su reparación.

Este desarrollo ha conducido a la aparición de una metodología para el estudio de los daños que se dan (Fig. 1). Así mismo, esta metodología es la que se ha intentado reflejar en la herramienta como se verá más adelante siendo, la finalidad de esta, averiguar la solución para paliar la lesión que daña al edificio. Es a esto a lo que se conoce como proceso patológico.



Fig. 1. Método de actuación frente a las patologías. Fuente: Elaboración propia.

Este proceso debe seguirse de manera secuencial a través de los síntomas y su estado, haciendo un seguimiento de su evolución para llegar a las causas que definen el origen de la lesión.

Esta secuencia no es más que el proceso invertido de aparición del daño que guiará al técnico para la obtención de la solución más adecuada y así poder reparar la parte constructiva dañada para devolverle su función constructivo-arquitectónica inicial¹².

Cada una de las etapas de este proceso se traduce en unas acciones que se deben llevar a cabo. En estas etapas, se va definiendo una patología a través de diferentes parámetros: *Tipologías, Localización, Fecha de visita, Tipo de lesión, Afección de elemento estructural, Evolución de la lesión, Propuesta de ensayos, Posible causa, Causa verificada, Peligro de estabilidad, Urgencia de intervención, Riesgo inminente, Actuación propuesta, Valoración estimada, Reparado.*

6. Flujo de trabajo en el uso de la herramienta

La herramienta se ha denominado *CoDa history*, y hace referencia al historial que puede generar de los Daños en una construcción.

El diseño de la interfaz se ha resuelto usando la técnica *responsive*¹³ para poder tener una correcta visualización en cualquier dispositivo y que la herramienta se pudiera integrar en un flujo de trabajo donde se usasen ordenador, tablet o smartphone. Es por eso por lo que, en el flujo de trabajo, hay tres partes bien diferenciadas:

1. Trabajo previo a la visita del inmueble (desde un equipo de escritorio).
2. Visita del inmueble (desde un smartphone).
3. Análisis y gestión de las patologías posterior a la visita (desde un ordenador).

Una vez que el usuario se haya registrado o identificado dentro de la herramienta, tendrá acceso al escritorio en donde verá un resumen a golpe de vista con los proyectos que está llevando a cabo.

6.1. Trabajo previo a la visita del inmueble. Crear y editar los datos del inmueble

Una vez en el escritorio, el usuario encontrará el apartado de inmuebles en el lado izquierdo de la interfaz. Al clicar en él, se dirigirá a la página donde dispondrá de una tabla dinámica para poder ordenarlos y filtrarlos.

En la zona inferior de la tabla, se dispone un botón enlazado con un formulario para introducir los datos asociados al inmueble. Una vez realizado, el edificio aparecerá en la tabla junto con los demás.

A partir de la tabla donde se listan los inmuebles registrados, se dispone un botón que enlaza con el formulario del edificio seleccionado con los campos rellenos pero activados para ser susceptibles a modificación.

Una vez realizadas las modificaciones oportunas, basta con clicar en el botón de “Actualizar” para guardar los cambios en la base de datos y, con ello, los datos en la tabla de inmuebles.

Para proceder con el borrado de inmuebles, basta con clicar en el botón de la papelera para eliminar tanto el inmueble, como las patologías asociadas a este.

#	Nombre del inmueble	Progreso	Estado
55	Torre de Mangana Calle Sta. Maria, 1, 16001 Cuenca	0% solucionado	En progreso
56	Musero de las Ciencias Plaza la Merced, 1, 16001 Cuenca	20% solucionado	En progreso
57	Edificio de viviendas Alcampo Calle Pedro Almodovar, 16002, Cuenca	50% solucionado	En progreso
58	Fruteria Nassir Calle Calderón de la Barca, 23, 16002, Cuenca	66% solucionado	En progreso
59	Vivienda unifamiliar Avenida de la Música Española, 10, 16002, Cuenca	100% solucionado	Solucionado

Fig. 2. Listado de inmuebles introducidos por el usuario. Fuente: Elaboración propia..

6.2. Visita del inmueble

Una vez el usuario ha registrado un determinado inmueble, se pueden añadir las patologías que tiene asociadas. Gracias a que la herramienta se puede usar con cualquier dispositivo que tenga navegador web, el usuario puede realizar la visita y registrar los daños con un smartphone desde la página de la herramienta.

6.3. Análisis y gestión de las patologías posterior a la visita

Una vez que el usuario ha introducido las patologías necesarias para la elaboración del estudio, se pueden visualizar a través de una tabla y rellenar aquellos datos pertenecientes a “Análisis” y “Diagnóstico”.

Gracias a todos los datos relacionados a cada patología, se ha configurado un botón para elaborar una ficha patológica de manera automática que, como se ha expuesto en el apartado 3, **Conceptualizando la herramienta**, es uno de los impulsos que tuvo el desarrollo de esta herramienta. No obstante, podremos obtener ventajas si vinculamos estos datos patológicos a un modelo BIM.

Conceptualizando la herramienta

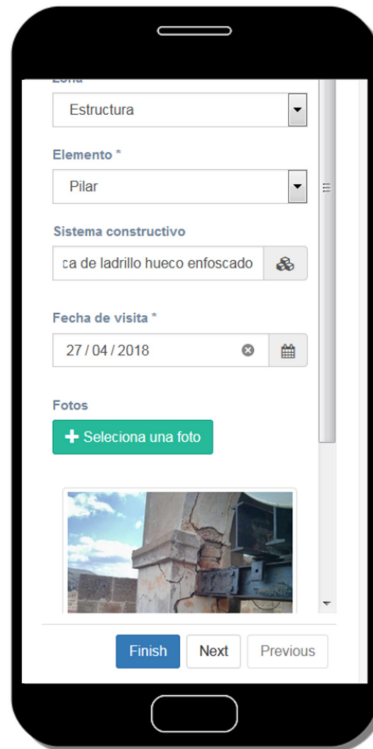


Fig. 3. Uso de la herramienta en dispositivo móvil. Fuente: Elaboración propia.

The screenshot shows a web application interface with a sidebar on the left containing icons for 'Inicio' and 'Auditorías'. The main content area is titled 'Patologías' and shows details for 'Torre de Mangana' at 'Calle Sta. Maria, 1, 16001 Cuenca'. It features tabs for 'Identificación', 'Análisis', and 'Diagnóstico', and a 'Show 10 entries' dropdown. Below is a table with 8 rows of pathology data.

#	Patología	Zona	Elemento	Sistema constructivo
01	Daño estético	Cerramientos y distribuciones	Muro	Sillares con mortero de ca
02	Vegetación	Cerramientos y distribuciones	Muro	Sillares con mortero de ca
03	Vegetación	Cerramientos y distribuciones	Muro	Sillares con mortero de ca
04	Humedades y/o filtraciones	Cerramientos y distribuciones	Muro	Sillares con mortero de ca
05	Humedad	Cerramientos y distribuciones	Muro	Fábrica de sillares entucido con mo
06	Humedad	Acabados	Muro	Fábrica de sillares entucido con mo
07	Humedad	Acabados	Muro	Fábrica de sillares entucido con mo
08	Humedad	Estructura	Viga	Viga de madera apoyada en marm

Fig. 4. Campos clasificados y agrupados en "Identificación". Fuente: Elaboración propia.

7. Conexión con BIM

Tener los daños patológicos de la herramienta web introducidas dentro de un modelo BIM, aporta capacidad de representación y cuantificación pudiendo, si el usuario lo estima oportuno, trabajar con un modelo virtual del inmueble que esté estudiando.

Antes de definir cómo es esta conexión, es necesario aclarar el porqué de la elección de trabajar con modelos nativos en vez de trabajar con un formato abierto como IFC. La respuesta la encontraríamos cuando entendemos un modelo IFC como un formato de intercambio y no un modelo donde trabajar y modificar. Es por esto que se elige trabajar con un formato nativo y, dentro de la multitud de formatos nativos usados por las distintas herramientas de modelado, se opta por usar Autodesk Revit, ya que el autor que redacta esto tiene constancia que dispone de una API accesible para el usuario, pudiendo desarrollar complementos adaptados a sus necesidades.

Una vez elegido un entorno BIM para crear una vinculación de los datos patológicos, cabe destacar dos elementos importantes para crear esta conexión: los elementos que simbolizarán las patologías dentro del modelo (denominadas familias) y un complemento o plugin que sea el motor de esta conexión.

7.1. Modelado BIM de patologías

Para visualizarlas en el modelo, las patologías se introducen como un elemento más al igual que los muros, puertas, suelos, etc. como en cualquier otra herramienta de modelado. En esta plataforma en la que se centra este desarrollo, cada uno de estos elementos son denominados como *familias*¹⁴ y deben estar cargados en el modelo para ser usados.

Además, al no haber una familia definida con anterioridad por ningún usuario, se debía elaborar desde cero dando lugar a las tres definidas a continuación, todas ellas basadas en cara para que fuera reconocido el anfitrión al que afecta; esto es, poder saber en todo momento a través de sus parámetros aquel elemento al que está afectando con consecuentes posibilidades de tabulación y filtrado en una tabla de cuantificación. Estas familias ya fueron objeto de estudio a través de una comunicación anterior y de cómo podían servir para la realización de un estudio patológico¹⁵ pero, a modo de resumen, se podrían categorizar de la siguiente manera:

- **Línea definida por dos, tres, cuatro o cinco puntos:** Esta familia pretende representar daños de tipo lineal como las grietas, fisuras o juntas entre elementos.
- **Elipse, ½ de elipse y ¼ de elipse definida por dos radios:** Con esta familia se pueden representar aquellos daños que afectan a una superficie como ataques biológicos, corrosiones/oxidaciones, degradaciones y descomposiciones de material, eflorescencias, encharcamientos, humedades, etc.
- **Punto genérico:** Esta familia está dedicada a representar aquellos daños de tipo puntual como, por ejemplo, las disfunciones o las roturas en tuberías. Pero, además, también está dedicada a representar aquellos daños de tipo lineal o superficial que, por sus características geométricas, no se ajusten del todo a las dos familias anteriormente definidas.

7.2. El plugin para Revit

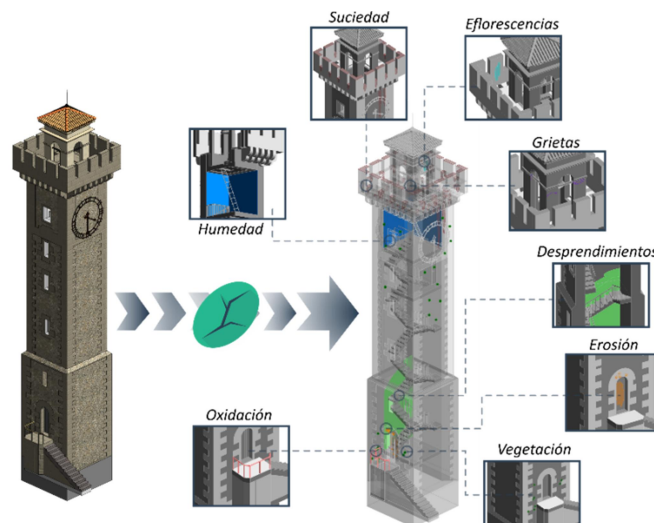


Fig. 3. Esquema de conexión de la herramienta con modelos virtuales. Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo de la arquitectura del software de la herramienta web se ha tenido en cuenta un diseño REST. De esta manera, se pretendía que Revit pudiera comunicarse con la API REST¹⁶ de forma que pudieran viajar los datos de un modelo RVT a la herramienta de manera bidireccional. Esto permite comprobar qué usuario la está usando y qué edificios tiene registrados. Estos edificios, a su vez, tienen una

serie de patologías específicas a cada uno que deben ser vinculadas al modelo representadas por las familias mencionadas en el apartado anterior.

- Usuario identificado
 - Edificios registrados
 - Patologías asociadas

La comunicación de Revit con la herramienta web se hace consiguiendo el token que esta le otorga a Revit para manipular los datos.

Una vez nos autenticamos en la herramienta a través del plugin, se habilitan todas las funcionalidades que podremos hacer dentro de la plataforma de modelado.

A través de este plugin, el usuario podrá conectar la información patológica del modelo a la herramienta.

Al estar el usuario identificado, podrá vincular el inmueble al modelo de entre todos sus inmuebles registrados en la herramienta (Fig. 5, recuadro 1). Esto significa que el usuario le “dice” al modelo a qué inmueble pertenece, por lo que el inmueble debe estar previamente introducido en la herramienta.

Esto es necesario para que las familias de patologías que vaya introduciendo en el modelo, queden registradas y asociadas al modelo correspondiente.

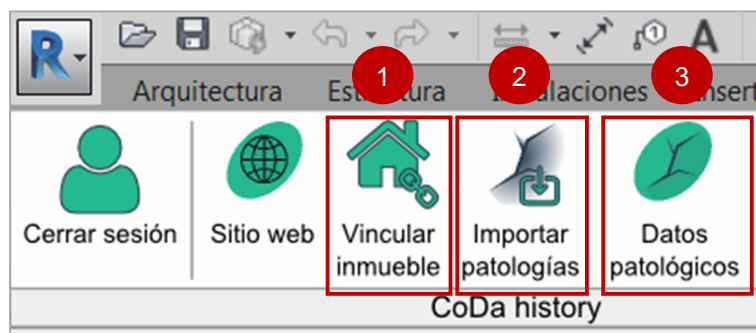


Fig. 4. Cinta de herramientas de CoDa. El usuario se ha identificado y todas las herramientas se han habilitado. Fuente: Elaboración propia.

Una vez vinculado el modelo al inmueble, pueden importarse las familias mencionadas en el subapartado anterior, para introducir las en el modelo (Fig. 5, recuadro 2) a modo de daños constructivos.

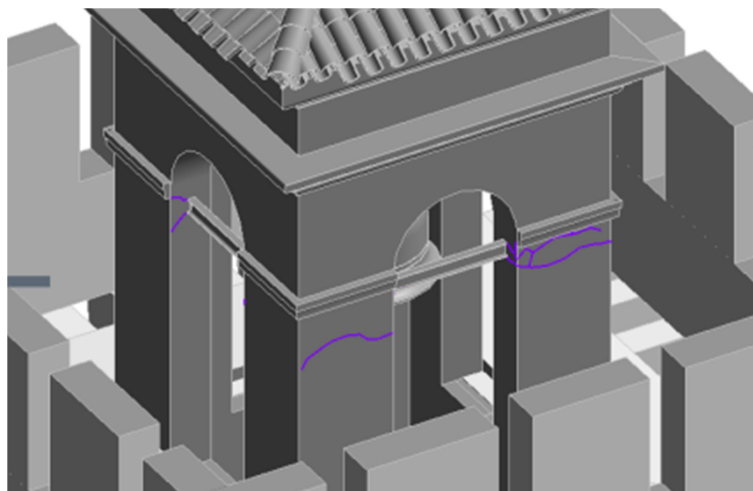


Fig. 5. Conjunto de familias adaptativas de líneas basadas en varios puntos para la representación de grietas. Fuente: Elaboración propia.

Una vez introducidos estos daños, sólo quedaría asociar los datos de cada patología mediante una paleta acoplable a la que accedemos mediante la siguiente herramienta habilitada para ello (Fig. 5, Recuadro 3). Esta paleta, nos muestra las patologías de la web a las que podemos asociar los datos y en donde, una vez estén vinculadas, se crearán una serie de parámetros compartidos en donde aparecerán los datos de cada patología.

<Estudio patológico>					
A	B	C	D	E	F
Patología	Fotografía	Elemento estructural	Evolución de la lesión	Tipo de lesión	Ficha patológica
Degradación	IMG 20180427	<input type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Degradación	IMG 20180427	<input type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Degradación	IMG 20180427	<input type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Degradación	IMG 20180427	<input type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Degradación	IMG 20180427	<input type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Degradación	IMG 20180427	<input type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Degradación		<input checked="" type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Degradación		<input checked="" type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Degradación		<input checked="" type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Degradación		<input checked="" type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Desprendimiento		<input checked="" type="checkbox"/>	Estable	Mecánica	https://drive.goo
Desprendimiento		<input checked="" type="checkbox"/>	Estable	Mecánica	https://drive.goo
Desprendimiento		<input checked="" type="checkbox"/>	Estable	Mecánica	https://drive.goo
Eflorescencia		<input type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Eflorescencia		<input type="checkbox"/>	Estable	Química	https://drive.goo
Grieta	IMG 20180427	<input checked="" type="checkbox"/>	Estable	Mecánica	https://drive.goo
Grieta	IMG 20180427	<input type="checkbox"/>	Estable	Mecánica	https://drive.goo

Fig. 6. Parámetros sobreescritos a partir de los datos de la web. Fuente: Elaboración propia.

Referencias

- ¹ CARRETERO AYUSO, M.J. y MORENO CANSADO, A. (2016). “Análisis Estadístico Nacional sobre Patologías en Edificación (Fase 2)” en *Fundación MUSAAT*. <<http://www.fundacionmusaat.musaat.es/files/Doc%20patologias%20web%20II.pdf>> [Consulta: 28 de septiembre de 2018]
- ² “Software release life cycle” en *Wikipedia*. <https://en.wikipedia.org/wiki/Software_release_life_cycle> [Consulta: 25 de junio de 2018]
- ³ “Details of the object model” en *Mozilla.org*. <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Guide/Details_of_the_Object_Model#Class-Based_vs._Prototype-Based_Languages> [Consulta: 25 de junio de 2018]
- ⁴ ¿Qué es PHP? <http://php.net/manual/es/intro-what-is.php> [Consulta: 10 de mayo de 2018]
- ⁵ Morteo, F y Bocalandro, N. (2004). *Un enfoque práctico de SQL*. Ediciones Cooperativas. ISBN 987-1076-61-4.
- ⁶ ORIX SYSTEMS. ¿Qué es un framework y para qué se utiliza? <<https://www.orix.es/que-es-un-framework-y-para-que-se-utiliza>> [Consulta: 13 de junio de 2021]
- ⁷ *Bootstrap (framework)*. <[https://es.wikipedia.org/wiki/Bootstrap_\(framework\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Bootstrap_(framework))> [Consulta: 5 de enero de 2018]
- ⁸ “Introducción a JSON” en *JSON.org* <<https://www.json.org/json-es.html>> [Consulta: 2 de octubre de 2017]
- ⁹ ECMA INTERNATIONAL (2017). *ECMA-404 The JSON Data Interchange Standard. 2nd Edition/December 2017*. Ginebra. <<http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf>> [Consulta: 25 de junio de 2018]
- ¹⁰ *PENCIL PROJECT* (Versión 3.1.0, 2017). Open Source <<https://pencil.evolus.vn/>> [Consulta: 5 de enero de 2020]
- ¹¹ TRATAMIENTO Y ENFERMEDADES (2014). *Definición de enfermedad según la OMS y concepto de salud*. <<https://tratamientoyenfermedades.com/definicion-enfermedad-segun-oms-concepto-salud/>> [Consulta: 28 de mayo de 2020]
- ¹² ALBERTO CACHO TORRES (2014). *Patologías de la construcción*. <<https://prezi.com/if8ccwvaerw7/patologias-de-la-construccion/>> [Consulta: 28 de mayo de 2019]
- ¹³ “¿Qué es el diseño responsive?” en *40 de fiebre*. <<https://www.40defiebre.com/que-es-diseno-responsive/>> [Consulta: 18 de junio de 2018]

¹⁴ “Acerca de las familias” en *Autodesk Knowledge Network*. <<https://knowledge.autodesk.com/es/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/Revit-Model/files/GUID-6DDC1D52-E847-4835-8F9A-466531E5FD29-htm.html>> [Consulta: 15 de junio de 2019]

¹⁵ VALVERDE CANTERO, D., GONZÁLEZ ARTEAGA, J. y PÉREZ GONZÁLEZ, P.E. (2019). “Caracterización y seguimiento del estado de conservación de los Edificios mediante modelos virtuales y herramientas de modelado BIM generalistas como Revit <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/127498/6546.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> [Consulta: 3 de marzo de 2020]

¹⁶ “¿Qué es una API de REST?” en *Redhat*. <<https://www.redhat.com/es/topics/api/what-is-a-rest-api>> [Consulta: 25 de junio de 2020]



GENERACIÓN DE PLANOS A PARTIR DE MODELOS OPEN BIM

González-Cantó, Benjamín^a; Gilabert-Boronat, Pablo^b; Ferreiro-Sistiaga, Ane^c; ^aCYPE. Desarrollo corporativo, España - benjamin.gonzalez@cype.com, ^bCYPE. Departamento de Innovación, España - pablo.gilabert@cype.com, ^cCYPE. Departamento de desarrollo, España - ane.ferreiro@cype.com

Abstract

Drawings are one of the most important deliverables in projects, for this reason traditional BIM architectural modeling tools have been focused at generating and obtaining these drawings. Although this seems the correct solution, there are a series of problems derived from this need with a difficult solution:

- *Geometric limits by the size of the files*
- *Restrictions in 3D modeling due to its exclusive orientation to the plane.*
- *Need to generate native files of the structures and facilities models.*
- *Inability to mount plans containing files from different BIM tools.*
- *High expenses in software, hardware and training.*

For all these reasons, this article proposes the generation of plans oriented to the entire BIM project (architecture, structures, MEP ...) and not specifically to architectural modeling. The division of this problem into two parts (or programs) allows BIM users greater freedom when modeling, in addition to allowing the integration of BIM information from programs of different developers and specialties with a high level of precision (structures, fire, accessibility, MEP ...) through open exchange formats.

To achieve this goal of generating plans with Open BIM workflow, the technique used to combine IFC, DXF and GLTF formats, key to obtaining this result, will be explained.

Keywords: Open BIM, IFC, drawings, GLTF.

Resumen

Los planos son uno de los entregables más importantes en los proyectos, por ello las herramientas tradicionales de modelado arquitectónico BIM han ido orientadas a la generación y obtención de estos planos. Aunque ésta parece la solución correcta, existen una serie de problemas derivados de esta necesidad de difícil solución:

- *Límites geométricos por el tamaño de los ficheros*
- *Restricciones en el modelado 3D debido a su orientación exclusiva al plano.*
- *Necesidad de generar ficheros nativos de los modelos de estructuras e instalaciones.*
- *Incapacidad de montar planos que contengan archivos procedentes de distintas herramientas BIM.*
- *Gastos elevados en software, hardware y formación.*

Por todo ello, en este artículo se propone la generación de planos orientada a la totalidad del proyecto BIM (arquitectura, estructuras, MEP...) y no específicamente al modelado arquitectónico. La división de este problema en dos partes (o programas) permite a los usuarios BIM una mayor libertad a la hora de modelar, además de permitir la integración de información BIM procedente de programas de distintos desarrolladores y especialidades con un alto nivel de precisión (estructuras, incendios, accesibilidad, MEP...) a través de formatos de intercambio abiertos.

Para conseguir este objetivo de generación de planos con flujo de trabajo Open BIM, se explicará la técnica utilizada para combinar formatos IFC, DXF y el formato GLTF, clave para obtener este resultado.

Palabras clave: Open BIM, IFC, planos, GLTF.

Introducción

Desde hace milenios [1] la construcción ha tenido en los planos la base para la transmisión de información necesaria en las distintas fases de la construcción y entre los agentes implicados. Los planos son posiblemente, el entregable más importante para la aprobación de proyectos en la actualidad. En el caso de España, el Código Técnico de la Edificación, en el Anejo I de la parte 1 indica que el proyecto contendrá tantos planos como sean necesarios para la definición en detalle de las obras [2]:

- Situación
- Emplazamiento
- Urbanización
- Plantas generales
- De cubiertas
- Alzados y secciones
- Estructura
- Instalaciones
- Definición constructiva
- Memorias gráficas

Uno de los objetivos principales de la tecnología BIM es mejorar la calidad y el flujo de información entre los agentes del sector de la construcción, mediante una comunicación digital frente a la analógica. En este artículo se describe cómo la orientación del software BIM a la obtención de planos está frenando la implantación de este cambio tecnológico y se propone una solución a este reto.

1. Límites de los planos

Según la RAE, el plano es una representación esquemática, en dos dimensiones y a determinada escala, de un terreno, una población, una máquina, una construcción, etc.[3]. Son un documento gráfico creado por y para la interpretación de la mente humana y preparado para poder representarse en formato papel.

Hasta hace pocos años, ésta era la única solución para poder documentar la información gráfica, tanto en el proyecto como en la ejecución de las obras. Sin embargo, con el desarrollo de nuevos dispositivos como ordenadores portátiles, teléfonos y tablets, esta limitación ya no existe.

Otra limitación de los planos es su interpretación. Por ejemplo, un plano de estructuras dibujado para un país determinado, aunque esté en un mismo idioma, es muy complicado de interpretar por un estructurista de otro país, puesto que la simbología y la forma de dibujar el modelo es muy diferente. Exactamente lo mismo sucede en planos de planta de instalaciones y de esquemas de principio.

Por el lado contrario la aparición de nuevos dispositivos de visualización y con ello de nuevas posibilidades de representación, permite al sector AEC “liberarse” del diseño y la representación en dos dimensiones y entrar en una nueva etapa donde el diseño y la representación en tres dimensiones permiten una comprensión más ágil y sencilla de los edificios. Por ejemplo, en la fase de construcción, un modelo 3D de precisión no precisa de ninguna interpretación por parte del operario, que podrá visualizarlo tanto en el dispositivo móvil o tablet como en su posición real mediante aplicaciones de realidad aumentada.

2. Flujo de trabajo analógico frente al digital

Actualmente, en un proyecto se genera documentación en diferentes tipos de ficheros, por ejemplo: un informe en PDF, una tabla de medición en formato XLS, un esquema de principio o un plano de planta en DXF, un modelo 3D en formato GFLT. Este tipo de formatos tienen como finalidad ser interpretados o leídos por una persona y no están pensados para intercambiar información entre programas. Sin embargo los programas, también generan otro tipo de ficheros, que tienen como finalidad comunicar un software con otro, por ejemplo en formato JSON, formatos binarios, IFC,...

Cuando la forma de comunicarse entre los agentes de la construcción es mediante ficheros que necesitan una interpretación del ser humano, puede definirse como flujo de trabajo analógico. Por ejemplo, la generación de plantillas 2D del modelo arquitectónico para generar el modelo estructural o de las instalaciones. En este caso, aunque existe intercambio de información entre los programas, es el usuario el encargado de “traducir” esta información.

Cuando la forma de comunicarse entre los agentes de la construcción no necesita la interpretación humana, se define como flujo de trabajo digital. Por ejemplo la generación de una incidencia en BIMserver.center, cuando se ha diseñado el modelo de protección contra incendios y se necesita una resistencia al fuego determinada en el modelo estructural. En este caso dos programas independientes son capaces de compartir e interpretar información escrita en un lenguaje común sin que el usuario tenga que hacer de “traductor” y por lo tanto generar un flujo digital.

La tecnología Open BIM permite crear un flujo de trabajo digital donde los distintos agentes de la construcción así como los distintos desarrolladores de software son capaces de intercambiar información de manera transparente y sin necesidad de interpretación humana.

3. Open BIM orientado al proyecto

Hasta la fecha, el flujo de trabajo BIM siempre ha estado basado en la concentración de un modelo único, o modelo federado, cuyo centro es el modelo arquitectónico. A priori, este hecho parece correcto. Sin embargo, los programas actuales de modelo arquitectónico BIM fueron desarrollados en sus orígenes para ser un generador coherente de planos, en función del modelo 3D. Este hecho provoca que cualquier cambio en el modelo 3D esté limitado por su posible generación de salida gráfica, provocando un estancamiento evidente en los desarrollos de estas aplicaciones en los últimos años.

Existe una alternativa a orientar todo el software al modelador arquitectónico: la orientación al proyecto, sin un software protagonista.

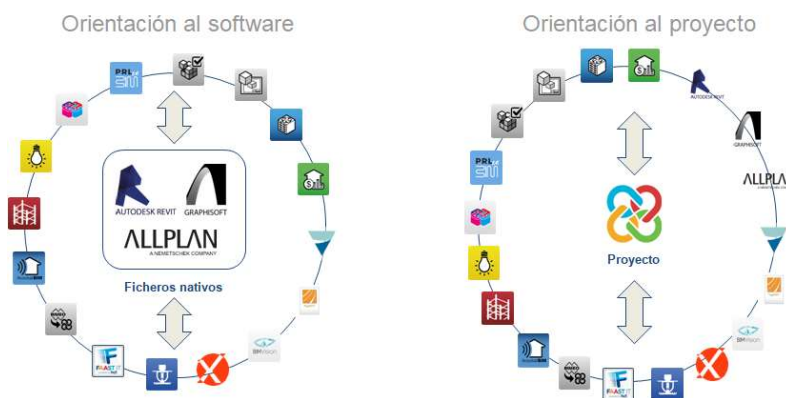


Fig. 1. Orientación al software y orientación al proyecto.

De esta forma, la información fluye de un agente a otro mediante información analógica o digital, sin el obstáculo del modelo arquitectónico y los planos para su comunicación. De hecho, la generación de los proyectos es más rápida, más eficiente y más global, puesto que puede trabajar todos los modelos en 3D, siendo la generación de planos un extra no limitante, desarrollado por cada especialista o por la persona encargada de la delineación del proyecto.

4. Planos de proyecto vs Modelo BIM de precisión

Cuando se trabaja en la fase de proyecto, por motivos normativos y de requerimientos de la Administración Pública, es necesario generar una documentación gráfica en forma de planos. La obligatoriedad de que el proyecto sea entregado en papel (o pdf) hace que todo el nuevo flujo de trabajo BIM pierda parte de su

sentido al tener la necesidad de transformar un modelo de precisión 3D en una interpretación gráfica en 2D cuyo nivel de información y representación se ve notablemente reducido si se compara con el modelo de precisión BIM.

Es por ello que aunque los planos sean un requerimiento necesario para la Administración Pública, son en cierta manera un lastre para el desarrollo de software, existiendo formatos más adecuados para la representación BIM que permiten acceder a toda la información y son más fáciles de interpretar por los agentes de la construcción.

Las compañías de software han abordado el problema que genera esta dualidad “planos de proyecto vs modelo BIM de precisión”, y sus respectivas problemáticas, como el control del grafismo, plumillas de impresión, sección y proyección, identificación de los sólidos, etiquetado automatizado de objetos, acotación... de distintas maneras:

- **Soluciones “all in one”:** estas soluciones abordan desde un mismo software el modelado BIM y la representación de planos. Estos programas optan por la solución de incluir un “módulo” para la generación de planos, por ejemplo: en Revit lo que modelas en BIM es lo que imprimes (what you see is what you get) permitiendo crear un plano a través de una vista determinada; Allplan combina dos técnicas, el modelado BIM y la representación CAD de los planos, por lo que en cierto modo la problemática de grafismo queda mejor abordada; Open Buildings es un modelador BIM que funciona a través de una modelación CAD preexistente lo que le permite tener los planos abordados desde una fase muy inicial del proyecto. Aunque todas estas soluciones son válidas para la obtención de planos, podemos observar ciertas problemáticas ya abordadas anteriormente, como la obligación de usar formatos nativos y por lo tanto la falta de apertura hacia otras soluciones BIM que no pertenezcan a un determinado desarrollador.
- **Soluciones Open BIM:** las soluciones Open BIM abordan el problema del modelado y la obtención de planos desde una perspectiva distinta, entendiendo el problema de la obtención de planos de una manera aislada. Las soluciones Open BIM se basan en el uso de formatos abiertos capaces de intercambiar información entre distintas especialidades y programas de diferentes desarrolladores. Específicamente las herramientas Open BIM para la obtención de planos se plantean como una herramienta aislada e independiente que sirve para una única tarea, generar los planos del proyecto. Estas herramientas deben de ser capaces de recabar información en formatos estándar independientemente del programa utilizado, para a partir de ellos poder generar los planos. En este caso el programa Open BIM Layout es uno de los mejores ejemplos de este tipo de aproximación al problema.

5. Formatos Open BIM:

Para conseguir que el flujo de trabajo orientado al proyecto funcione, es necesario el uso de formatos estándar que permitan el intercambio de información entre los distintos programas. Cuando hablamos de formatos estándar en BIM el formato IFC es el más conocido y extendido, sin embargo, el Open BIM no se debe limitar al uso de este formato, sino que permite utilizar formatos estándar ampliamente consensuados como por ejemplo el formato GFLT [4]. Este formato, capaz de estar vinculado a un IFC4 no tiene sus límites de geometría y está ideado para la distribución eficiente e interoperable de escenas 3D que comprime el tamaño de escenas y modelos 3D. La combinación de ambos formatos (entre otros ampliamente extendidos: png, jpg, pdf, dwg) permite a programas Open BIM ofrecer una solución integral para la generación de planos que no es dependiente de un formato nativo.

Existen herramientas gratuitas capaces de transformar un IFC en formato GLTF, como el programa IFC Uploader [5]. Además, con este tipo de formatos es posible visualizar en aplicaciones y dispositivos el modelo 3D exacto que se ha generado en otras aplicaciones.

6. Herramienta gratuita Open BIM Layout para la generación de planos.

La generación de modelos 3D parece ser, por tanto, un modelo que ayuda a la globalización del sector de la construcción, al quitar la barrera de los planos. Sin embargo los planos siguen siendo obligatorios y por ello, para seguir generando este entregable tan importante actualmente, se ha desarrollado una aplicación gratuita capaz de generar las láminas necesarias de un proyecto, a partir de modelos IFC, GLTF, incluso DXF o DWG, llamado Open BIM Layout.

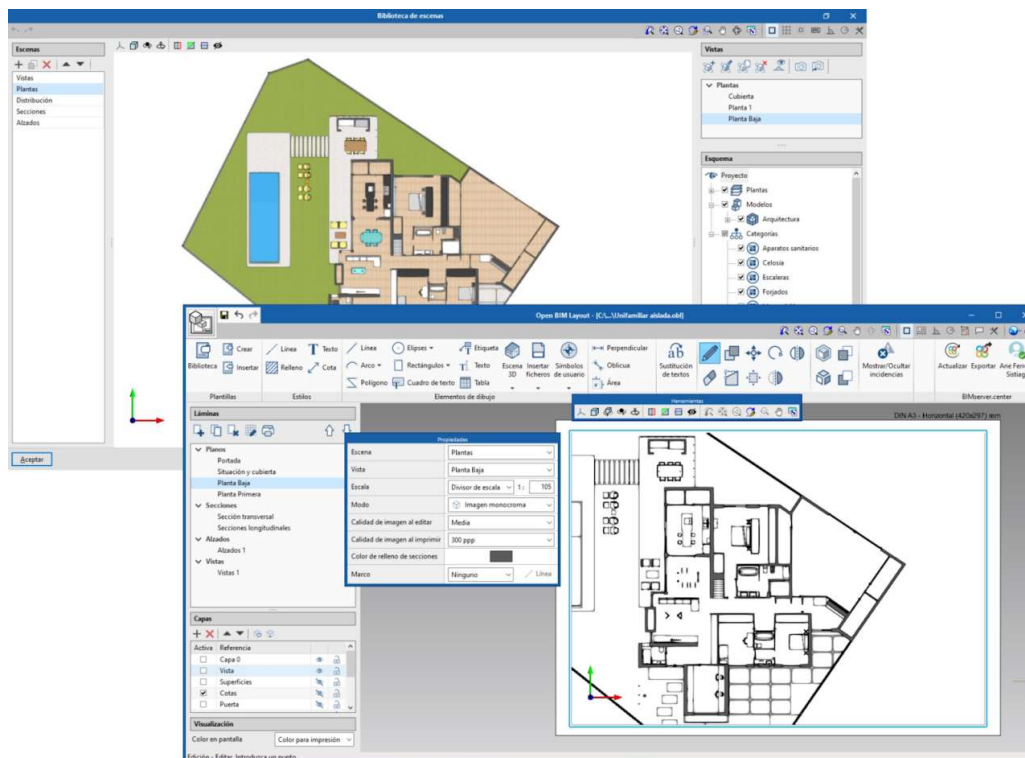


Fig. 2. Open BIM Layout.

Open BIM Layout es una herramienta informática gratuita cuyo principal objetivo es la generación de vistas y la acotación y maquetación de planos a través de modelos BIM (plantas, alzados, secciones y perspectivas axonométricas). El programa está integrado en el flujo de trabajo Open BIM, lo que le permite importar los modelos de un proyecto alojado en la plataforma BIMserver.center y formar parte del flujo de trabajo colaborativo, multidisciplinar y multiusuario que proporciona la tecnología Open BIM.

Open BIM Layout funciona a través de la creación de "Escenas" que pueden estar formadas por combinaciones de ficheros procedentes de distintos programas y disciplinas. Estas escenas combinan información del formato IFC y GLTF para una mejor gestión de las mismas. Una vez creadas las escenas de trabajo (plantas, alzados, secciones, fontanería, electricidad, estructuras...) el usuario puede introducirlas en láminas para montar los distintos planos del proyecto. Dentro de las láminas el programa permite dibujar, acotar y extraer información de los elementos del modelo BIM.

7. Conclusiones

La representación de planos específica para cada país es una de las principales barreras para la globalización del sector de la construcción y su adaptación a las nuevas tecnologías. Por tanto, los modeladores BIM arquitectónicos desarrollados en su origen para este fin tienen grandes dificultades para avanzar tecnológicamente.

Se puede trabajar con una orientación al proyecto, usando la comunicación digital entre los programas para una mayor eficiencia en el trabajo. Para conseguir el reto de la conocida transformación digital del sector,

existen herramientas gratuitas, como Open BIM Layout, capaces de generar planos a partir de modelos en fase proyecto y modelos de precisión en fase de construcción, quitando así la construcción de los planos.

Referencias

- [1] <https://noticias.arq.com.mx/Detalles/24130.html#.YH6OQugzZsl>
- [2] https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/Parte1/Parte_I_20dic2019.pdf
- [3] <https://dle.rae.es/plano>
- [4] <https://es.wikipedia.org/wiki/GITF>
- [5] https://bimserver.center/es/store/150/ifc_uploader

EUBIM 2021

Congreso Internacional BIM **10º** Encuentro de Usuarios BIM

BIM INTERNATIONAL CONFERENCE

(On-line) 21 de mayo de 2021 ,1 de octubre 2021



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA