

EUBIM 2019

Congreso Internacional BIM 8º Encuentro de Usuarios BIM
BIM INTERNATIONAL CONFERENCE

Just do BIM

Valencia 23, 24 y 25 de mayo 2019

LIBRO DE ACTAS

Entidades Participantes:

GURV



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
**ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ**



CAATIE VALENCIA
Colegio Oficial de
Arquitectos Técnicos
e Ingenieros de Edificación de Valencia



CONSEJO GENERAL
DE LA ARQUITECTURA TÉCNICA
DE ESPAÑA



DEPARTAMENTO DE
CONSTRUCCIONES
ARQUITECTÓNICAS



CTAV COLEGIO
TERRITORIAL
DE ARQUITECTOS
DE VALENCIA

Organizadores:



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



www.EUBIM.com

EUBIM 2019

**Congreso internacional BIM
8º Encuentro de usuarios BIM**

Valencia, 23, 24 y 25 de mayo de 2019

Congresos UPV

EUBIM 2019. Congreso Internacional BIM / 8º 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 Orenga
David Torromé Belda
Sergio Vidal Santi-Andreu

Edita

Editorial Universitat Politècnica de València, 2018
www.lalibreria.upv.es / Ref.: 6546_01_01_01

ISBN: 978-84-9048-805-8



EUBIM 2019. Congreso Internacional BIM / 8º Encuentro de Usuarios BIM

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

Basada en una obra en <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/EUBIM/EUBIM2019>

PRESENTACIÓN

EUBIM 2019: JUST DO BIM

Debemos superar la fase de la juguetería

Ya van ocho años, ocho ediciones de EUBIM. Aquella iniciativa que nació como una necesidad de reunirnos, de aprender unos de otros, de conocernos cuando éramos muy pocos, en medio del desértico interés por BIM durante el período prodigioso del 2000 al 2007 y tras la posterior debacle económica de nuestro sector, hoy es el congreso internacional sobre BIM de carácter científico y profesional veterano en España.

Y aunque ahora somos legión, nos da la sensación de que somos una legión deslavazada, sin una dirección y objetivos comunes (aunque sí con necesidades comunes), donde cada uno, cada una, está haciendo BIM a su manera, según puede, le dejan o cree que es la mejor aplicación de la metodología.

Asistimos al nacimiento de la Comisión es.BIM con mucha ilusión, dispuestos todos y todas a aportar de forma generosa, voluntaria, nuestro saber hacer, conocimiento y experiencia para marcar las directrices que debían definir la profunda transformación que nuestro sector requiere. Aquello quedó en un conjunto de documentos de carácter orientativo, de seguimiento voluntario, donde apenas se percibe la transformación que la adopción de BIM exige por parte de todos los agentes del sector.

Sabemos de la constitución de la Comisión BIM Interministerial gracias al BOE. Nada más sobre su trabajo, objetivos, hitos, avances, etc.

Las Administraciones Públicas están haciendo su transición particular (aquellas que lo están haciendo, claro) de forma independiente, particular, no coordinada, por pequeños grupos de técnicos con algo de presupuesto para formarse, pero sin capacidad para acometer la transformación digital necesaria que adoptar BIM exige. Da la sensación de que esto depende de la voluntad de unos funcionarios inquietos que intentan mantenerse al día, reciclarse, pero sin una apuesta decidida desde la parte política y gestora por promover la transparencia y certidumbre que BIM ofrece a la gestión del gasto público en infraestructuras y edificación pública.

En el sector privado, las promotoras que exigen el desarrollo de sus proyectos inmobiliarios en BIM parecen trituradoras consumiendo entregables, con el modelo completo, con interminables informes de interferencias, en un nivel de desarrollo casi, casi LOD 500 en la fase de definición...

Las constructoras, utilizando BIM para detectar incoherencias en los proyectos con el fin de preparar los contradictorios, modificados, reformados... intentando desesperadamente que BIM sea el que se adapte a su rancio método de beneficio económico-empresarial y sin apenas síntomas ni voluntad por invertir en la mejora de su gestión del proyecto más allá de la bajada de los precios de subcontratación frente a los de licitación. Para la mayoría, BIM es una nueva herramienta para seguir haciendo lo de siempre.

Y un montón de profesionales, arquitectos, arquitectos técnicos, ingenieros de caminos, ingenieros civiles, ingenieros industriales... intentando hacer BIM como pueden, les dejan, saben o creen saber, cada uno con su sistema de estandarización particular/ propio/ privado, guardando celosamente sus objetos BIM, deseando que IFC avance y sea de verdad Open BIM, sometidos a las actualizaciones de cada empresa fabricante de software BIM, más preocupadas por fidelizar usuarios a sus entornos BIM que de interoperar con otros sistemas y favorecer realmente el intercambio de información entre agentes intervinientes en el proceso constructivo.

Eso sin hablar de la formación en BIM, campo abonado para advenedizos, iluminados y prometedores de aprendizaje rápido y fácil en apenas 6 horas de curso, o que dicen conceder títulos de máster con 150 horas de formación. Y no hablemos de los programas de formación reglada de grado en el ámbito de la Ingeniería y la Construcción. Ni rastro de una apuesta decidida por la implementación de su aprendizaje en las materias fundamentales de cualquiera de las titulaciones de los que van a dirigir los proyectos, la ejecución y el mantenimiento de los edificios e infraestructuras dentro de muy poco. Muchos proyectos de innovación docente, de innovación educativa, pero nada de actualizar los caducos programas de formación universitaria a la revolución 4.0 de la era digital y de la información. La mayoría de los actuales planes de estudio (los primeros fruto de la adaptación al Plan Bolonia) empiezan ahora su revisión y nueva acreditación por parte de la ANECA, pero no parece que haya, de momento, mucha intención de introducir las mejoras que preparen a lo futuros técnicos para los avances tecnológicos y metodológicos que se están produciendo y se van a encontrar a su llegada al mundo profesional.

Solo hay una buena noticia ante este panorama: los colegios profesionales, por fin, toman conciencia de la re-evolución que se está produciendo y apuestan por preparar, formar, informar a sus colegiados de las novedades y actualizaciones que aparecen. Esperemos que, como interlocutores de todos nosotros ante las Administraciones Públicas, empiecen a exigir un poco de coherencia y marcación de objetivos comunes a todo el sector.

Y así estamos. Parece que nos hayan abierto una nueva juguetería y ahora todos tenemos acceso a ella. Hay muchos juguetes, todos espectaculares, todos hacen cosas increíbles, nos tienen fascinados, absortos, entretenidos... Tal vez haya llegado el momento de dejar de jugar cada uno con su juguete favorito y empezar a jugar (hacer BIM) todos juntos, contribuyendo de una forma seria y organizada a la auténtica transformación del sector, a su desembarco en el s. XXI, en la era de la información.

BIM no es un cambio de herramienta de trabajo, es un cambio rotundo en la mentalidad y forma de entender el negocio de la construcción, donde la competencia se mida por la profesionalidad, capacidad tecnológica y valor añadido, y no por una mal entendida economía de medios que solo se basa en la transferencia del riesgo propio a un tercero.

Salgamos de la juguetería. Superemos la fase inicial del jardín de infancia y empecemos a construir un nuevo escenario de madurez BIM, de profesionalidad y avance del sector. Es nuestra oportunidad de rematar la re-evolución que empezamos hace 8 años, de abajo a arriba. Ha llegado el momento de tomar conciencia de nuestro papel más allá de "evangelizadores BIM" y alzar la voz para que nos oigan los *policy-makers*. Ya nos estamos cansando de jugar. Ahora queremos directrices y objetivos serios que, de verdad, sitúen en la era actual a nuestro sector.

Hay otros congresos y encuentros BIM, pero ninguno son EUBIM. Aquí nos reunimos la legión de usuarios BIM para contarnos lo que aprendemos, para compartirlo, para sentar las bases de nuestra entrada en la madurez BIM. Aquí no hay políticos diciéndonos lo que van a hacer. Aquí hay profesionales demostrando lo que son capaces de hacer. EUBIM es la herramienta para organizarnos, para establecer dónde está el límite del conocimiento y madurez BIM en estos momentos en nuestro país, para invitarnos a ir más allá, avanzar e innovar. Y sí, durante tres días y medio, vamos a jugar, a divertirnos y a aprender jugando. Bienvenido, bienvenida a EUBIM.

El Comité Organizador de EUBIM 2019

COMITÉ INSTITUCIONAL

- Rector Magnífico de la Universitat Politècnica de València, D. Francisco J. Mora Mas
- Presidente del Grupo de Usuarios Revit Valencia (GURV), D. Alberto Cerdán Castillo
- Director de la ETS de Ingeniería de Edificación UPV, D. Francisco Javier Medina Ramón
- Director de la ETS de Arquitectura UPV, D. Iván Cabrera i Fausto
- Director del Departamento de Construcciones Arquitectónicas UPV, D. José Mª Fran Bretones

COMITÉ CIENTÍFICO

- Jesús Alfaro González - Universidad de Castilla-La Mancha
- Francisco Ballester Muñoz - Universidad de Cantabria
- Alberto Cerdán Castillo - Consultor BIM
- Eloi Coloma Picó - Universitat Politècnica de Catalunya
- Patricia del Solar Serrano - Universidad Europea de Madrid
- Giuseppe Martino di Giuda - Politecnico di Milano
- 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
- Augusto Mora Pueyo - Universidad de Zaragoza
- 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 Niefenführ - Universitat Politècnica de Catalunya
- Rafael Sánchez Grandía - Universitat Politècnica de València
- José Antonio Vázquez Rodríguez - Universidade da Coruña

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 el Congreso Nacional BIM (EUBIM 2013, 2014, 2015, 2016, 2017 y 2018), los temas del congreso son:

1. FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM
2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM
3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

1. FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

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

1.1 Investigación

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

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

1.2 Formación

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

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

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

1.3 Empleabilidad

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

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

2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

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

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

2.1 Costes, mediciones y presupuestos

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

2.2 Gestión de las TI

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

2.3 Gestión de los espacios

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

2.4 El mantenimiento de los activos, mantenimiento preventivo y correctivo

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

2.5 Aplicaciones de las nubes de puntos

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

2.6 Facility Management

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

2.7 Metodologías BIM al servicio del FM

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

2.8 Propiedad y Legalidad en BIM

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

2.9 Conexión de programas BIM con bases de datos y BMS

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

2.10 El papel del BIM en las smart cities

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

2.11 Normalización

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

2.12 Programación Visual y Desarrollo de aplicaciones vía API

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

2.13 Realidad Virtual, Realidad aumentada y Realidad Mixta

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

3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

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

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

3.1 Experiencias reales

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

3.2 Casos de éxito

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

3.3 Coordinación entre diferentes agentes del proceso constructivo

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

3.4 Procesos

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

3.5 Adaptación de Flujos de Trabajo

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

3.6 Generación de documentos de Construcción

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

ÍNDICE DE COMUNICACIONES Y PONENCIAS

1. FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

- 1.1 PONENCIA FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM:
 APRENDIZAJE EN FORMATO PLANO. OTROS MÉTODOS DE IMPLANTACIÓN BIM EN
 EDUCACIÓN UNIVERSITARIA.
 Jesús Alfaro González. Ponente invitado. Investigador Principal Grupo Investigación BIM-UrbEdSo.
 Universidad Castilla-La Mancha. Valverde-Cantero, David; Cañizares-Montón, José Manuel;
 Martínez Carpintero, Jesús Ángel.....Pág.15
- 1.2 INTEROPERABILIDAD DE SENSORES DE BAJO COSTE CON MODELOS BIM MEDIANTE
 PROGRAMACIÓN VISUAL PARAMÉTRICA.
 Rodríguez-Triguero, Jose Carlos; Castilla-Pascual, Francisco Javier; Lozano-Galant, Fidel;
 Lozano-Galant, Jose Antonio.....Pág.27
- 1.3 HERITAGE BUILDING INFORMATION MODELLING (HBIM) UNA HERRAMIENTA PARA LA
 GESTIÓN DEL USO PÚBLICO DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO.
 Salvador-García, Elena; García-Valldecabres, Jorge; Viñals Blasco, María José; Moret Colomer,
 Salvador.....Pág.35
- 1.4 GESTIÓN INTEGRADA DE FACHADAS POR MEDIO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN EN
 TIEMPO REAL.
 Guillermo-Ramírez, Carlos Gilberto.....Pág.45
- 1.5 BLOCKCHAIN IMPLEMENTATION IN AEC SECTOR: ISSUES AND OPPORTUNITIES
 Pattini, Giulia; Di Giuda, Giuseppe Martino; Seghezzi, Elena; Paleari, Francesco.....Pág.55
- 1.6 POST-OCCUPANCY EVALUATION AND BIM METHODOLOGY: A STATE OF THE ART OF
 PREDICTIVE INFORMATION FOR BUILDING MANAGEMENT SYSTEM
 Pellegrini, Laura; Di Giuda, Giuseppe Martino; Schievano, Marco y Locatelli, Mirko.....Pág.66
- 1.7 COMPUTATIONAL LINGUISTIC AND BIM FOR PROJECT MANAGEMENT.
 Locatelli, Mirko; Di Giuda, Giuseppe Martino; Schievano, Marco y Pellegrini, Laura.....Pág.75
- 1.8 CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA EN BIM
 Garrido-Iglesias, Andréa; Seara-Paz, Sindyb & Pérez-Ordóñez, Juan Luis.....Pág.85
- 1.9 BIM EN EL DISEÑO Y CÁLCULO DE UN VIADUCTO FERROVIARIO DE ACCESO AL PUERTO
 DE CASTELLÓN (ESPAÑA)
 García-Valcarce, Pablo; Vilardaga-Rodrigo, Iván y Guerra-Torralbo, Juan.....Pág.97
- 1.10 AN INNOVATIVE APPROACH TO BUILDING ENGINEERING AND ARCHITECTURE BIM
 EDUCATION
 Seghezzi, Elena; Di Giuda, Giuseppe Martino; Paleari, Francesco y Pattini, Giulia.....Pág.105
- 1.11 INCORPORACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL MÁSTER DE INGENIERÍA DE CAMINOS
 Moreno-Bazán, Ángela, García-Alberti, Marcos, Arcos Álvarez, Antonio A.....Pág.115

1.12 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM A LA GEOTECNIA: PROPUESTA DE FLUJO DE TRABAJO
 Lucio-Iglesias, Daniel.....Pág.123

2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

2.1 PONENCIA TEMA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM: INFORMATION MANAGEMENT EN BIM LEVEL 2
 Sr. D. Alberto Alonso. Ponente invitado. Responsable BIM. Departamento de infraestructuras de IDOM ingeniería.....Pág.135

2.2 BIM EN LA GESTIÓN DE LA CADENA DE VALOR DE LA EJECUCIÓN DE CARRETERAS
 Pérez-Romero, Juan; Vea-Folch, Francisco José.....Pág.142

2.3 INTEGRACIÓN DE SISTEMA DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO AUTOMATIZADO EN AUTODESK® REVIT™ MEDIANTE EL ENLACE DE UNIDADES DE OBRA PARAMÉTRICAS EN FORMATO BC3 CON ELEMENTOS PARAMÉTRICOS DEL MODELO BIM
 Abellán Alemán, José María.....Pág.153

2.4 AYUDA A LA TOMA DE DECISIONES A TRAVÉS DE MODELOS DIGITALES DE INFRAESTRUCTURAS LINEALES
 Lucio-Iglesias, Daniel; Rodríguez-Serrano, Marcos; Rufo-Blázquez, Sergio; Fernández-Pumarejo, Miguel.....Pág.165

2.5 LA APLICACIÓN DE BIM EN EL EDIFICIO INMOBILIARIO MÁS ALTO DE ZARAGOZA
 Mayorga-Romero, Manuel.....Pág.177

2.6 LA IMPORTANCIA DE LA INTEROPERABILIDAD CON HERRAMIENTAS BIM
 Real, María Lucrecia.....Pág.184

2.7 POSIBILIDADES DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA INGENIERÍA CIVIL
 Pérez-González, Luis; García- Alberti, Marcos, Moreno-Bazán, Ángela y Arcos Álvarez, Antonio.....Pág.196

3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

- 3.1 PONENCIA TEMA EXPERIENCIAS REALES CON BIM:
 EQUIPO MULTIDISCIPLINAR BIM COMO LIDER DE PRODUCCIÓN EN OBRA: CONSTRUCCIÓN DEL NUEVO AEROPUERTO DE LA CIUDAD DE MÉXICO.
 Sra. D^a. Cristina Collado Pérez. Ponente invitada. Responsable coordinación BIM en proyectos y obras. Acciona
 Dr. Oscar Liébana Carrasco. Ponente invitado. Responsable BIM. AELCA.....Pág.209
- 3.2 INTEGRACIÓN BIM EN LA GESTIÓN DE CONSTRUCCIONES Y ACTIVOS POR USUARIOS NO SÓLO BIM
 Martínez-Gómez, David Carlos; Alarcón-López, Ivón José; Mayoral-Rovira, Javie.....Pág.220
- 3.3 CONSTRUCCIÓN SIN PLANOS: BIM EN ESTRUCTURAS COMPLEJAS.
 Liébana Carrasco, Oscar; Miguel Patiño, Fabio, Lerma Córdova, Alan; Kostura, Zak.....Pág.231
- 3.4 BIM EN OBRAS CIVILES. PROYECTO PARA LA FUTURA LÍNEA 10 DE LA RED FGV EN VALENCIA
 Pastor-Villanueva, José María; Solís-Sandoval, Emilio A; Roselló-Colomar, Marcos.....Pág.242
- 3.5 CARACTERIZACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE EDIFICIOS MEDIANTE MODELOS VIRTUALES Y HERRAMIENTAS DE MODELADO BIM GENERALISTAS COMO REVIT
 Valverde-Cantero, David; González-Arteaga, Jesús y Pérez-González, Pedro Enrique.....Pág.252
- 3.6 DESARROLLO DE PLUGIN EN BIM
 Mayorga-Romero, Manuel.....Pág.262
- 3.7 GESTIÓN INTEGRADA DE OBRA
 Reina-Rojas, Andrea; Di Battista, Chiara y Sarrocco, Matteo.....Pág.272
- 3.8 OBSERVATORIO ES.BIM DE LICITACIÓN PÚBLICA, MONITORIZANDO LA MADUREZ BIM EN LA LICITACIÓN PÚBLICA
 Palmero Martín, Cristina.....Pág.280
- 3.9 'THEBUILDINGDATALIBRARY'™ : UNA BIBLIOTECA DE MODELOS ESPACIALES BIM
 Fructuoso-Sempere, José Juan.....Pág.288
- 3.10 AUTOMATIZACIÓN DE TAREAS PARA EL DISEÑO Y DIMENSIONADO DE INSTALACIONES EN EDIFICACIÓN DENTRO DE UN ENTORNO COLABORATIVO BIM MULTIDISCIPLINAR
 Uró-Costa, Alejandro; Jiménez-de-Lope, José María.....Pág.295
- 3.11 PROCESO DE CALIDAD EN BIM
 Reina-Rojas, Andrea y Sarrocco, Matteo.....Pág.306
- 3.12 DEL CAD AL BIM (PROCESO DE CAMBIO DE UN ESTUDIO ARGENTINO Y SUS COMITENTES)
 Flah,Stella.....Pág.315

FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM

Aprendizaje en formato plano. Otros métodos de implantación BIM en educación universitaria

Alfaro-González, Jesús^a; Valverde-Cantero, David^b; Cañizares-Montón, José Manuel^c; Martínez-Carpintero, Jesús Ángel^d

^aArquitecto. Profesor TEU. BIM Manager IP Grupo BIM_UrbEdSo. Dpto Ingeniería de Edificación. Universidad de Castilla-La Mancha. España. jesus.alfaro@uclm.es, ^b ^cEscuela Politécnica de Cuenca. Dpto Ingeniería Civil y de la Edificación. UCLAM. Grupo BIM_UrbEdSo. España. david.valverde@uclm.es, ^dIngeniero de Edificación. BIM Manager. jesusangelmartinezcarpintero@gmail.com

Abstract

The implementation of the BIM methodology in the field of university education requires strategies that solve the usual problems arising from the rigidity of the curricula, the immobility of certain departments and / or teachers, the lack of collaborative spirit between areas, etc. all this must stop being the excuse in which to hide the frustration. Our experience starts from the conviction of the goodness and success of the methodology and the need to be integrated into the training from the first courses, the generosity in the expansion of knowledge, the absence of hierarchies in the process and the motivation of the students.

The basis of our experience is based on the complicity between students and teachers in a single and participatory work table without levels. This situation disinhibits the activity of both and turns the challenges, successes and failures into a common experience in the process of finding solutions that is highly rewarding for both. The use of contests, competitions, etc., undertaken jointly by students, alumni and professors is still the excuse on which to put the practice into practice, which subsequently translates into more stable structures that precede, which could be, an authentic implementation systematized and integrated in the rest of the academic structures.

Keywords: *implementation, training, collaboration, motivation, competition, methodology, BIM*

Resumen

La implantación de la metodología BIM en el ámbito de enseñanza universitaria precisa de estrategias que solventen los problemas habituales derivados de la rigidez de los planes de estudio, el inmovilismo de ciertos departamentos y/o profesores, la ausencia de espíritu colaborativo entre áreas, etc., debiendo todo ello dejar de ser la excusa en la que esconder la frustración. Nuestra experiencia parte del convencimiento de la bondad y éxito de la metodología y la necesidad de ser integrada en la formación desde los primeros cursos, la generosidad en la expansión del conocimiento, la ausencia de jerarquías en el proceso y la motivación del alumnado.

La base de nuestra experiencia se fundamenta en la complicidad entre alumnado y profesorado en una mesa de trabajo única y participativa sin niveles. Esta situación desinhibe la actividad de ambos y convierte los retos, éxitos y fracasos en una experiencia común en el proceso de búsqueda de soluciones que resulta altamente gratificante para ambos. La utilización de concursos, competiciones, etc., acometidos conjuntamente entre alumnos, exalumnos y profesores no deja de ser la excusa sobre la que poner el práctica el procedimiento que posteriormente se traduce en estructuras más estables que preceden, lo que podría ser, una auténtica implantación sistematizada e integrada en el resto de estructuras académicas.

Palabras clave: *implantación, formación, colaboración, motivación, concurso, metodología, BIM*

Introducción

La expansión de la aplicación de la metodología BIM ha sido interpretada en la Escuela Politécnica de Cuenca (EPC) como una oportunidad para organizar las acciones que en esta línea se venían realizando y proponer otras nuevas dentro del entorno del trabajo colaborativo, en un marco único para analizar y evaluar diferentes acciones para promover y profundizar en la filosofía BIM en el seno del Grado en Ingeniería de Edificación.

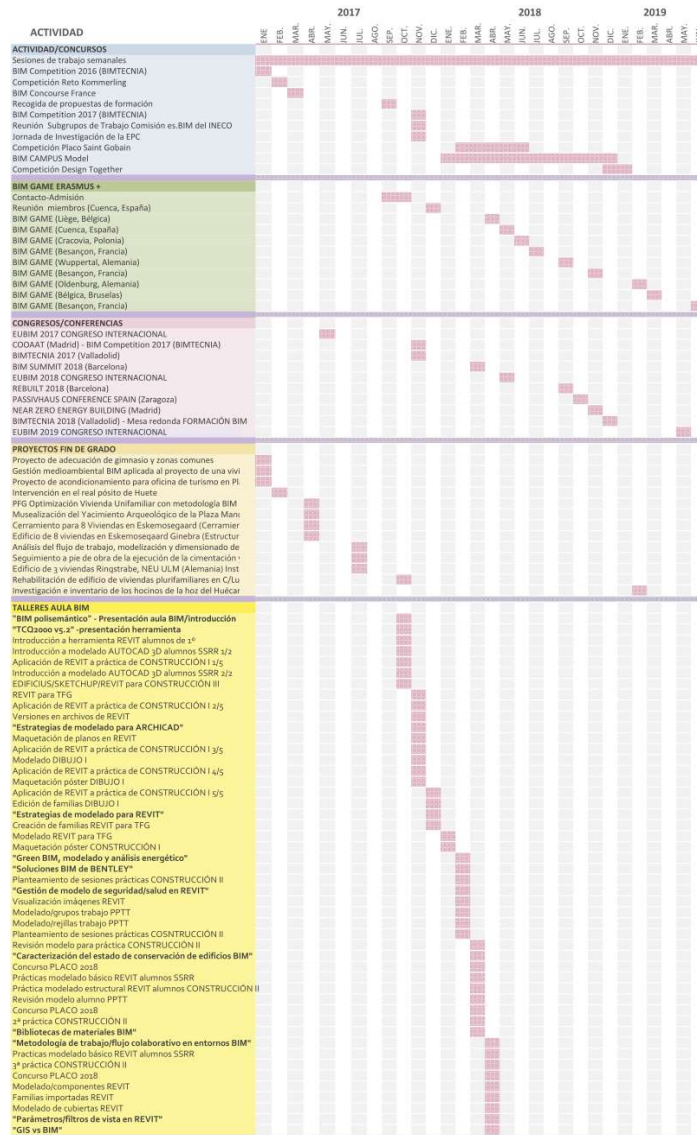


Fig 1. Planificación Gantt. Fuente: elaboración propia

Independientemente de las acciones concretas que se han llevado a cabo incluidas en un Proyecto de Innovación docente que se ha desarrollado durante los dos últimos cursos, se han planteado de una serie de estrategias-recomendaciones que no teniendo que ver directamente con la metodología BIM tienen que mucho que ver con esas otras destrezas “blandas” que aportan ayuda a ese otro 80% de la metodología que no es el 20% correspondiente al conocimiento de los múltiples software que lo conforman. Para ello, hemos elegido un esquema de ponencia sistemático que parte de un estado actual de la situación, establece unos objetivos, expone unas dinámicas que se han llevado a cabo y acaba dando una conclusión para cada caso.

(En realidad, para el desarrollo de la comunicación se ha partido de un Excel que ordenara las ideas y de un Gantt (Fig. 1) que las clasificara y las pusiera en el tiempo)

1. Metodología académica previa habitual

1.1. Sistemas de enseñanza de otros tiempos

1.1.1. *Objetivos para la implantación metodológica*

No se pretende cambiar los contenidos, pero sí la Metodología. El principal objetivo es el de diseñar y poner en práctica un conjunto de acciones que permitan dotar de carácter integrador las técnicas de trabajo colaborativo BIM en el Grado de Ingeniería de Edificación. Se pretende con ello que la experiencia sirva de ejercicio integrador de coordinación transversal y horizontal de la titulación, además de permitir la elaboración y desarrollo de prácticas docentes innovadoras que supongan la mejora y renovación del proceso enseñanza-aprendizaje de nuestros estudiantes.

En este marco, los objetivos específicos de este proyecto son:

1. Analizar, organizar y profundizar en aquellos aspectos prioritarios del entorno colaborativo BIM que debieran formar parte del currículum de las asignaturas y/o materias.
2. Definir prácticas y/o experiencias guiadas por asignatura y/o materias sobre un único modelo de información.
3. Establecer una estrategia de coordinación tanto vertical como horizontal para la configuración curricular.

1.1.2. *¿Qué hemos hecho nosotros?*

Ante la idea de admitir que efectuar un cambio completo y simultáneo no es viable, demostrar que es posible con casos reales.

Para la consecución de los objetivos se propone una metodología de trabajo basada en el trabajo colaborativo, coordinado entre las distintas asignaturas y/o materias, como entorno sobre el que poder recoger/filtrar/utilizar los avances/incidencias que, propuestos tanto por el profesorado como por los alumnos, estén relacionados con el desarrollo de cada una de las asignaturas y del trabajo planteado en ellas; en dicho entorno será posible abordar con ayuda (colaborativa) las cuestiones relacionadas con el uso de herramientas, la interoperabilidad entre estas, la utilización de plataformas de archivo colaborativas, etc.

- Programación por cursos
- Actividades desarrolladas
 - Incentivar a los alumnos a participar en **CONCURSOS BIM**
 - “aula BIM EPCu”
 - “Trabajo/Prácticas ”

Conclusión. Es prioritario empezar. Lo ideal sería una planificación completa a nivel de Centro y de Plan de Estudios, pero ante la imposibilidad de conseguirlo, es importante iniciar el proceso como un cambio metodológico, sin afectar a contenidos o competencias.

1.2. "Siempre ha funcionado". Fuerte reticencia al cambio

1.2.1. *Objetivos para la implantación metodológica*

Se requiere un mínimo estímulo para adaptarse a los cambios metodológicos. En este sentido, se aboga por fomentar la corresponsabilidad profesor-alumno para optimizar el aprendizaje.

1.2.2. *¿Qué hemos hecho nosotros?*

Demostrar que la metodología no impide adquirir conocimientos y destrezas, sino hacer ver que ésta puede acelerar y facilitar el aprendizaje.

La necesidad de realizar el proyecto en un entorno común toma como eje vertebrador un aula-taller de trabajo colaborativo denominada "aula_BIM", punto de referencia de los alumnos y profesores, la cual se desarrolla físicamente en un espacio específicamente habilitado/equipado para tal fin, alejado del esquema tradicional de aula y más cercano al de taller de informática con la idea de que resulte más flexible y garantice la interacción entre los asistentes. Las acciones desarrolladas en el aula_BIM tuvieron su origen en la experiencia de los Concursos BIM. La participación en un proyecto común junto con la tensión de la entrega en tiempo y forma, generó un espíritu de equipo fundamental que se trasladó con posterioridad a otras experiencias académicas.



Fig 2. Sesiones de trabajo colaborativo Aula BIM. Fuente: Elaboración propia

Conclusión. El profesor mantiene su estatus de tutor y garantía de que los conocimientos impartidos se corresponden con lo establecido en los planes de estudio. Sólo tiene que permitir que las nuevas tecnologías y metodologías entren en la dinámica de la enseñanza. Tampoco se le exige que las domine, pero sí que vele por la veracidad e idoneidad técnica de los resultados. El alumno participa con la aportación de un conocimiento del software por encima del profesor, pero necesita de su experiencia y conocimiento para canalizar los resultados que arroja el software.

1.3. La persona (profesor) como "propietario" de la materia

1.3.1. Objetivos para la implantación metodológica

Ante la imagen tradicional del profesor como dueño de su asignatura, se ha de velar por el aprendizaje como tarea común entre profesor y alumno.

1.3.2. ¿Qué hemos hecho nosotros?

Asumir que el aprendizaje es cosa de dos que trabajan aprendiendo juntos.

Dicho espacio/entorno sea durante un concurso o en el aula_BIM, se plantea como el punto de encuentro/convivencia de los alumnos y profesores que sirve para organizar toda la información multidisciplinar, donde los alumnos desarrollan de forma guiada las prácticas de cada asignatura/materia implicada, coordinadas previamente por los profesores, sirviendo así mismo como medio desde el cual plantear/desarrollar cualquier tipo de actividad con influencia directa o indirecta en el proceso de aprendizaje, planteando experiencias (concursos, colaboraciones, proyectos "extraacadémicos") que, al igual que el profesor, constituyen una fuente de aprendizaje, permitiendo así optimizar y mejorar el rendimiento, así como la calidad global de dichos trabajos



Fig 3. Entrega de Premios BIM Competition - BIMTECNIA 2016 (2º premio) y 2017 (1er premio). Fuente: Elaboración propia

Conclusión. Cada uno, profesor y alumno, tiene sus propias responsabilidades en el proceso de aprendizaje, pero ambos se necesitan mutuamente. El profesor aprenderá las bondades de la metodología BIM y el alumno pedirá rigor y solvencia técnica a lo que software puede hacer. Son absolutamente compatibles y complementarios. Libertad de Cátedra, no propiedad de cátedra

1.3.3. Objetivos para la implantación metodológica

Adoptar acuerdos metodológicos comunes que no impidan ejercer la libertad de cátedra.

1.3.4. ¿Qué hemos hecho nosotros?

La potestad del fundamento científico y técnico de los contenidos siempre es responsabilidad del profesor. Una vez definido el marco de actuación, se hizo necesario configurar los talleres que dotaran de contenido al proyecto para alcanzar los objetivos marcados, y con este fin el aula_BIM se convierte en una herramienta transversal a los discursos reglados de las asignaturas establecidas en el plan de estudios. No digamos la experiencia de participar en un concurso-competición donde se requiere una colaboración que navegue en una única dirección para conseguir el objetivo. Es más, estar fuera de las ataduras habituales de créditos, planes y programas de asignaturas específicas, incrementa la creatividad y la experimentación. Es un territorio de investigación a caballo del conocimiento y de las posibilidades-dominio del software.

En el plano académico reglado: A lo largo del curso los alumnos pueden trabajar en talleres y actividades, orientados a los distintos niveles de conocimiento, sobre modelos de edificios comunes seleccionados para varias asignaturas, de manera que cada una de ellas pueda valorar y evaluar las competencias específicas que le correspondan, dentro de su propia programación docente.

Conclusión. La metodología BIM es una herramienta de apoyo que se adapta a cualquier dinámica de organización del aprendizaje. Simplemente hay que permitir que lo haga.

1.4. "El alumno sólo aprende lo que el profesor enseña". Sistema unidireccional de transmisión de información

1.4.1. Objetivos para la implantación metodológica

Fomentar el aprendizaje por proyectos. La simple transmisión de información está superada. El profesor como tutor-orientador.

1.4.2. ¿Qué hemos hecho nosotros?

Formato Plano, Mesa común de experimentación: Trabajar en un grupo sin más jerarquías que las que da el conocimiento en cada área o metodología. Habitualmente, las decisiones por conocimiento de la disciplina la da el profesor y la destreza en software BIM corresponde al alumno.

La dinámica de los concursos o proyectos con plazo fijado da oportunidades y situaciones singulares donde las soluciones “aparecen” tras sesiones dialécticas entre profesores y alumnos hablando y proponiendo al mismo nivel.



Fig 4. The BIM Game. Sesiones en Besançon (Francia) y Oldenburg (Alemania). Fuente: Elaboración propia

Conclusión. Empoderar la capacidad de aprendizaje del alumno de manera colaborativa aporta unos magníficos resultados. Aumenta su autoestima, se incrementa su implicación y responsabilidad en dar respuesta a un "equipo". La sensación de pertenencia al mismo mejora la seguridad del alumno y le permite afianzar los conocimientos. La experiencia de participación en los concursos para la mayoría de ellos fue muy valorada por la novedad y por la sensación de “sentirse gratamente valorado por la pertenencia a un equipo con un objetivo común”.

1.5. “Hasta que yo no lo domino, no lo puedo enseñar”

1.5.1. Objetivos para la implantación metodológica

Generar la cooperación alumno-profesor. Las destrezas y los conocimientos deben ser complementarios, no antagónicos.

1.5.2. ¿Qué hemos hecho nosotros?

Tranquilizar al profesorado dejándole su potestad en el dominio de la materia y su evaluación, pero pidiéndole que permita la aplicación de nuevas metodologías para conseguirlo.

Tratándose de la expansión de la metodología BIM, se entendió que una manera de fomentar la implementación era “no alterar” el statu quo ni el confort space de lo ya normado/establecido. Por ese motivo, lo novedoso de la implantación de esta herramienta está en que se lleva a cabo con superposición paralela, voluntariedad, programa abierto, multidisciplinar, multinivel, ausencia de jerarquías, formato plano y, sobre todo, generosidad de los intervinientes.

Conclusión. El aprendizaje, afortunadamente, no depende en exclusiva del profesor. Obsesionarse en considerarse "dueño y administrador" del conocimiento no es una imagen que se adapte ampliamente al mundo de la información en el que vivimos. La imagen del profesor como colaborador, orientador, tutor, y "auriga" de sus alumnos creemos que puede ser mucho más eficaz.



Fig 5. Sesiones de trabajo alumnos – profesores Grupo CuBIM. Concursos Reto Kommerling y BIM Concourse France.
Fuente: Elaboración propia

1.6. "Primero los conocimientos básicos, luego las herramientas"

1.6.1. *Objetivos para la implantación metodológica*

Incorporar el aprendizaje metodológico en BIM desde el principio, ya que permite asimilar igual o mejor los conocimientos básicos.

1.6.2. *¿Qué hemos hecho nosotros?*

Dejar que el alumno experimente y desarrolle su conocimiento del software a partir de tutoriales propios de la plataforma, pero tutorizando, orientando y evaluando los resultados por parte del profesor-tutor.

Durante el desarrollo de los concursos o proyectos con entrega acotada temporalmente ha habido numerosas ocasiones en las que alguno de los alumnos o profesores ha tenido que enfrentarse, de nuevas, a un software que no había utilizado con anterioridad. La capacidad de obtener resultados en situaciones de tensión y compromiso con el resto de miembros del equipo, aumenta notablemente los resultados en el aprendizaje. Además familiariza al alumno (y al profesor) con software y metodologías que no había aplicado antes, llegando a conclusiones y procesos que sería difícil que hubiera aplicado en un estado inmovilista de transmisión de información.

Conclusión. Por fin una metodología que implica-obliga a la colaboración entre áreas de conocimiento desde el primer momento. Algo que reproduce exactamente lo que la realidad profesional exige. Nadie se opone a la prioridad de los conocimientos básicos primero, pero no se puede considerar la metodología BIM como una "especialización" posterior, sino como un sistema colaborativo coordinado en el que aprender los conocimientos de manera ordenada y gradual.

1.7. "Aquí esta lo mío". Trabajos en grupo

1.7.1. *Objetivos para la implantación metodológica*

Estandarizar los sistemas de documento único colaborativo y las herramientas habituales de comunicación, comprobación, ratificación de tareas.

1.7.2. *¿Qué hemos hecho nosotros?*

Implantar sistemas de comunicación (Slack), Ordenación y ratificación de tareas (Trello), clasificación del trabajo en plataformas comunes con documentos colaborativos (Google Drive) para cada Concurso y para muchas asignaturas. Esto que en un principio puede resultar novedoso o snob estando todos en la misma aula, se torna muy eficaz para el trabajo on-line. Efectivamente las posibilidades de consulta, trabajo en común se multiplican y permiten extender sin esfuerzo el desarrollo de las actividades más allá de horarios y

de aulas. Por otro lado, se tiene un entorno de trabajo profesional fuera de las redes habituales (whatsapp, Facebook, etc.) y que si permite la interacción profesores-alumnos manteniendo el rol de cada uno, pero aproximándolos en un único formato de comunicación.



Fig 6. Trabajos en entorno colaborativo para los concursos BIM Competition BIMTECNIA 2016 y 2017. Fuente: Elaboración propia

Conclusión. La incorporación de herramientas de comunicación, comprobación, registro y archivo de documentación y tareas que permiten saber quién, cuándo, cómo y por qué ha hecho o dicho algo, aumenta sobremanera el rigor, la disciplina y la responsabilidad en el trabajo del alumno con respecto al equipo. Asimismo, extiende el formato plano propuesto más allá de la presencialidad de una manera controlada.

2. Contenidos desintegrados y secuenciales

2.1. “No sé lo que hacen otros profesores”. Independencia absoluta de asignaturas

2.1.1. *Objetivos para la implantación metodológica*

Integrar paquetes de conocimiento entre áreas para su aplicación a proyectos y concretos..

2.1.2. *¿Qué hemos hecho nosotros?*

Plantear el problema como IPD desde el principio. Incorporar **proyectos "mochila"** para cada alumno de manera que vaya aplicando sobre el mismo los conocimientos y problemas que competen a cada asignatura. De esta manera, el portfolio del alumno se va enriqueciendo con cada aportación. Se empieza a trabajar con un modelo que se va perfeccionando (Ds) y enriqueciendo progresivamente (LODs).

Siendo éste el fin último a alcanzar, y para poder lograr un alto nivel en las ya citadas competencias, se hace necesario que se trabajen desde las distintas asignaturas mediante la realización de trabajo y/o prácticas guiadas que permitan al alumno poner en práctica lo realizado en los talleres de forma coordinada y colaborativa. Esto ha promovido las actividades llevadas a cabo en el aula_BIM por parte de las asignaturas participantes del proyecto, pudiendo así trabajar en profundidad los objetivos previamente marcado en las asignaturas.

Conclusión. Entendemos que el aprendizaje por proyectos es la situación ideal para la implantación de la metodología BIM a lo largo de todo el proceso de aprendizaje. Los proyectos "mochila" propios de cada alumno permiten entender al alumno que está tratando de un todo en conjunto, un proyecto global.

2.2. Coordinación horizontal habitualmente insuficiente

2.2.1. *Objetivos para la implantación metodológica*

Distribución coordinada de las "Ds" de la metodología BIM entre áreas de conocimiento.

2.2.2. ¿Qué hemos hecho nosotros?

A partir de una visión global e integrada del problema, segregamos el trabajo por áreas de conocimiento para tener controles de integración periódicos. En el desarrollo de concursos, tras la determinación de las áreas de trabajo (modelado 3D, planificación 4D, Cuantificación 5D, Evaluación energética sostenibilidad 6D, FM 7 D, Seguridad y salud 8D, ...) se iniciaba el trabajo en TODAS las áreas de manera simultánea, detectando los problemas a resolver desde cada una de las "D", tras un primer análisis se mantenía una reunión periódica que permitía superar un primer nivel de definición (LOD 100) que no contraviniera ninguno de los preceptos básicos de cada área hasta llegar a un consenso que permitiera avanzar al siguiente nivel de definición.

En la coordinación del aula_BIM: La primera acción fue analizar las necesidades en relación a los aspectos prioritarios del entorno colaborativo BIM que debieran formar parte del currículum de las asignaturas y/o materia mediante reuniones entre coordinadores del proyecto con los profesores de las asignaturas implicadas en el proceso, a fin de secuenciar de forma lógica los objetivos a alcanzar para la inclusión de la metodología BIM por curso, sin olvidar integración de competencias por áreas de conocimiento: área gráfica, áreas de construcción y estructuras, área de proyectos técnicos, áreas de patología, seguridad y calidad de los materiales...

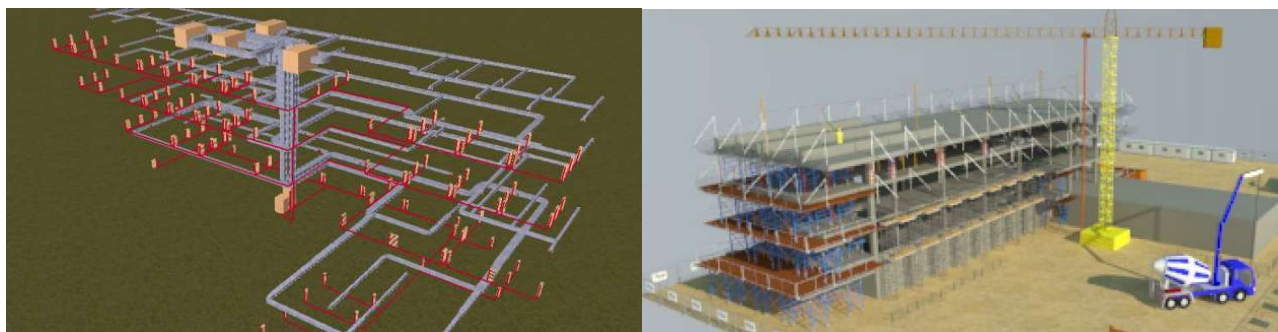


Fig 7. Modelos multidisciplinarios para concurso BIM COMPETITION BIMTECNIA. Modelo MEP y Seguridad y Salud

Conclusión. Los trabajos comunes a varias disciplinas o que evalúen diferentes disciplinas con un acuerdo previo con el alumno o alumnos permite sinergias que son prácticamente simulacros de situaciones y problemas típicos de la vida profesional. Los "escenarios" practicados en BIM GAME son una reproducción práctica de los mismos.

2.3. Coordinación vertical disociada entre áreas

2.3.1. Objetivos para la implantación metodológica

Distribución coordinada de los LODs de la metodología BIM en cada área de conocimiento.

2.3.2. ¿Qué hemos hecho nosotros?

No permitir avances o toma de decisiones en un LOD 100 que habrá que cambiar en un LOD 200. Tener la seguridad en la toma de decisiones que está contemplado todo lo que hay que tener en cuenta en ese momento antes de avanzar en el proceso.

Resulta preciso definir las prácticas guiadas de cada asignatura y/o materias sobre un único modelo de información que permitiera al alumno progresar escalonadamente en el control, definición y gestión del proceso constructivo, asociando la secuencia de cursos/semestres del Plan de Estudios a los distintos niveles de definición (LODs) del modelo.

Conclusión. El alumno y los profesores deben tener un mapa que organice la distribución de la adquisición del conocimiento, las destrezas BIM y su coherencia global.

3. Contenidos desintegrados y secuenciales

3.1. “¿Preparamos a los estudiantes como futuros profesionales conforme demanda el sector?”

3.1.1. *Objetivos para la implantación metodológica*

Incorporar las necesidades de la empresa en los objetivos de formación.

3.1.2. *¿Qué hemos hecho nosotros?*

Buscar tutores-empresa que co-dirijan TFG junto con profesores. La aportación de experiencia de la empresa al alumno se compensa con la aportación metodológica en BIM que el alumno hace a la empresa.

Con respecto a las actividades realizadas y en relación a las temáticas y las herramientas utilizadas los resultados ponen de manifiesto que se está en práctica de las principales herramientas en cuanto a demanda del sector, destacando especialmente el uso de aquellas propias de modelado debido a que parte de los usuarios inician en el mundo BIM, y previendo que según avance la demanda de los usuarios se empiece a tratar software específico relacionado con otras áreas BIM-4D, 5D, 6D.

Conclusión. La conexión entre periodo de aprendizaje y conexión con la realidad profesional es fundamental. Saber transmitir en todo momento al alumno por qué necesito conocer esto y para qué me va a servir.

3.2. “Si la enseñanza y el aprendizaje no integra contenidos, ¿cómo queremos que el IPD sea práctica habitual?”

3.2.1. *Objetivos para la implantación metodológica*

Planificar problemas-escenarios concretos que requieran el planteamiento de soluciones concretas y coordinadas entre distintos roles.



Fig 8. Sesiones de trabajo The BIM GAME en Cuenca (España) y Besançon (Francia)

3.2.2. *¿Qué hemos hecho nosotros?*

En el desarrollo de los concursos, las soluciones rara vez se toman de manera independiente en una única área, ya que simplemente no es posible.

Dichas experiencias, refiriéndonos a concursos y otros proyectos “a media escala”, sirven para incentivar y reactivar la voluntad y predisposición de alumnos (y profesores) para afrontar ya desde el entorno universitario “retos” que planten la necesidad de establecer estrategias cercanas a un escenario real, cercano a la necesidad de colaboración, cooperación y comunicación del entorno laboral, aclarando el concepto de Entrega de Proyecto Integrado

Conclusión. Dejar claro que la realidad es compleja y polifacética. Aunque el análisis por disciplinas de la realidad facilite su comprensión, no hay que olvidar que estamos, siempre, hablando de un conjunto. La visión conjunta y colaborativa de la metodología BIM es fundamental para adquirir esta comprensión.

3.3. ¿Para cuándo el IPD desde el primer proyecto de Primero con diferentes LOD para cada curso?

3.3.1. *Objetivos para la implantación metodológica*

Abrir la mentalidad del alumno de primero a un planteamiento global del proyecto considerando todo su Ciclo de Vida.

3.3.2. *¿Qué hemos hecho nosotros?*

La adquisición de conocimientos en los Planes de Estudio, establece una secuencia desagregada del conocimiento. En la ejecución de los Concursos, cada alumno perteneciente a un área, se sabe parte de un conjunto en cuya evolución participa con reuniones periódicas donde expone y comprueba la compatibilidad de las soluciones de su área con las del resto.

Conclusión. Es imposible afrontar problemas complejos en un entorno colaborativo si no se ha participado previamente en simulacros durante el proceso de aprendizaje. El profesor y el alumno deben ser conscientes CUANTO ANTES de esa mentalidad y de adecuación de la metodología BIM a la misma

4. Conclusiones

- La amplia mayoría del alumnado y el profesorado coinciden en que las técnicas de trabajo colaborativo BIM son muy importantes en la formación del Ingeniero de Edificación.
- La decisión de entrar a participar en los Concursos BIM como algo ajeno a actividad académica reglada constituyó un antes y un después en la implantación.
- Las experiencias extra-académicas por su libertad de realización, por la ausencia de un evaluador entre los miembros y por el tratamiento de igual a igual, ha dado amplios niveles de satisfacción entre el alumnado.
- Sobre la percepción del grado de implantación de la metodología BIM en el grado, hay discrepancia entre la opinión mayoritaria del alumnado, que lo considera medio-alto en un 80%, y la del profesorado, que lo degrada a medio-bajo en un 90% de los encuestados. Claramente el efecto de reticencia al cambio, también en un sector del alumnado que prefiere el sistema tradicional de aprendizaje, pesa bastante en estos resultados, lo cual no invalida el sistema.
- La opinión del alumnado y el profesorado es coincidente sobre su percepción del grado de esfuerzo necesario al respecto de la implementación de las metodologías BIM. Para la amplia mayoría supone un esfuerzo extra, pero asumible, sobre todo cuando se experimentan las consecuencias de haber implantado la herramienta correspondiente.

En cuanto a la actividad específica Aula_BIM

- La asistencia entre el alumnado ha estado en torno al 50% de las sesiones, siendo inferior el porcentaje de profesores que han asistido con cierta frecuencia.
- El nivel de los talleres se percibe como bastante adecuado en general entre el profesorado, mientras que el alumnado ofrece disparidad de opiniones.
- Sobre la utilidad de los talleres para fomentar/catalizar la metodología BIM, encontramos un paralelismo con las respuestas de la pregunta anterior.
- Más del 75% del profesorado, y más del 90% del alumnado, considera que la iniciativa del aula_BIM debiera repetirse en próximos cursos. Por supuesto, sujeto a cambios/modificaciones propuestas.

A la vista de los resultados, son muchos los aspectos a mejorar y/o reforzar, ya que aún se considera bajo el grado de implementación efectiva, y las opiniones sobre la forma en la que se está produciendo la

implementación se reconocen mejorables. Sin embargo, del análisis de estas encuestas también surgen acciones y aspectos que se pueden abordar de forma inmediata para revertir esa visión, como, por ejemplo:

- Parece evidente que el éxito de la implementación de la metodología BIM en el grado requiere de una mayor implicación del profesorado.
- Mejorar la planificación de las sesiones de trabajo con el fin de que las mismas se encuentren asociadas de una forma más directa y definida a los trabajos/prácticas que se realizan en las asignaturas.
- Priorizar el trabajo sobre proyectos comunes en los que el trabajo colaborativo entre distintas áreas y asignaturas permita al alumno adquirir las competencias relacionadas con la metodología BIM conforme avanza de curso.
- Continuar fomentando la participación del alumnado de grado en actividades relacionadas con la realización de proyectos o concursos fuera de la actividad académica reglada sigue constituyendo una experiencia de iniciación fundamental porque explica y permite experimentar muchos conceptos BIM no necesariamente relacionados con el software que es muy difícil introducir dentro de una enseñanza reglada. Y eso, para que la implantación sea efectiva, sigue siendo FUNDAMENTAL.

5. Referencias

ALFARO GONZÁLEZ, J., VALVERDE CANTERO, D., CAÑIZARES MONTÓN, J. M.; MARTÍNEZ CARPINTERO, J. A., PÉREZ GONZÁLEZ, P. E., J. 2018. "El BIM-LaB como aglutinador de la experiencia de implantación BIM académica y científica para profesores, alumnos y exalumnos de la Escuela Politécnica de Cuenca. UCLM " en *The international BIM conference, EUBIM 2018*. Valencia: EDITORIAL UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. p. 57-66. ISBN 978-84-9048-712-9.

CAÑIZARES MONTÓN, JM., ALFARO GONZÁLEZ, J., VALVERDE CANTERO, D., MARTÍNEZ CARPINTERO, J. A. y PÉREZ GONZÁLEZ, P. E. 2017. Valencia. "Experiencia docente de integración de metodología BIM para el concurso BIM VALLADOLID 2016" en *The international BIM conference, EUBIM 2017*. Valencia. EUBIM. p. 86-95. ISBN 978-84-9048-623-8.

ESCUELA POLITÈCNICA DE CUENCA. 2018. *Grado en Ingeniería de Edificación*. <<https://www.uclm.es/cuenca/epc/gradoedificacion>> [Consulta: 1 de marzo de 2019]: EPCu.

HOLCER, D. 2018. Valencia. "Developing a curriculum for BIM in Higher education" en *The international BIM conference, EUBIM 2018*. Valencia: EDITORIAL UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. ISBN 978-84-9048-712-9.

OLIVER FAUBEL, I. 2015. Integración de la metodología BIM en la programación curricular de los estudios de Grado en Arquitectura Técnica/Ingeniería de Edificación. Diseño de una propuesta. Tesis Doctoral. Valencia: Universitat Politècnica de València, <<https://riunet.upv.es/handle/10251/61294>> [Consulta: 1 de marzo de 2019]

PÜTZ, C; CUBA SEGURA, J.A.; HEINS, C; HELMUS, M; MEINS-BECKER, A; KELM, A; GROßER-ARNAULT, H; 2017. Valencia. "The BIM GAME: De las políticas de integración de bim a la formación de los futuros profesionales de la construcción" en *The international BIM conference, EUBIM 2017*. Valencia. EUBIM. ISBN: ISBN 978-84-9048-623-8

VALVERDE CANTERO, D., CAÑIZARES MONTÓN, JM., MÁRQUEZ VEGA, D., PÉREZ GONZÁLEZ, P. E., PESO PASCUAL, R. J. 2016. "Implementación BIM en la ESCUELA POLITÈCNICA DE CUENCA, experiencia piloto en PROYECTOS TÉCNICOS 15-16" en *The international BIM conference, EUBIM 2016*. Valencia: EUBIM. p. 34-45. ISBN 978-84-9048-252-2.

Interoperabilidad de sensores de bajo coste con modelos BIM mediante programación visual paramétrica

Rodríguez-Triguero, Jose Carlos^a; Castilla-Pascual, Francisco Javier^b; Lozano-Galant, Fidel^c; Lozano-Galant, Jose Antonio^d

^aIngeniero de Caminos (España) josecarlos.rt@outlook.es, ^bDoctor Arquitecto. Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) fcojavier.castilla@uclm.es, ^c Master BIM y arquitecto. GmasP, Valencia. flozano@gmasp.es, ^dDoctor Ingeniero de Caminos. Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación. (UCLM) jeseantonio.lozano@uclm.es

Abstract

The current advances in Smart Cities technology trend towards the creation of complex and interconnected systems, through the application of new software tools and devices based on the Internet of Things, Big Data and so on. However, the cost of certain elements and devices (such as monitoring of environmental and confort parameters) is oftenly very high, leading to exclusive procedures and being used only in relatively singular works or in those in which they have been found, or is foreseeable, to find pathologies. From this point emerges the need for proposing the development of versatile and reliable monitoring protocols from open source digital prototyping platforms and the use of low-cost sensors, in order to lay aside that exclusivity. Thus, it could be possible to contribute to the expansion of the field of application to get greater efficiency and sustainability together.

This paper demosnstrates and shows the most effective options of interoperability of low-cost sensors with BIM models to make possible the development of BIM 7D stage, by monitoring thermal data and synchronizing and live updating in a virtual model. This will make possible more accurate simulations, as well as the improving decision-making process over the entire lifecycle of the infrastructure.

Keywords: Interoperability, BIM 7D, Parametric Visual Programming, Low-Cost Sensors, Monitoring, Arduino, Autodesk Revit, Dynamo.

Resumen

La coyuntura tecnológica actual de las ciudades Inteligentes se orienta hacia la creación de sistemas complejos e interconectados, con aplicación de nuevas herramientas y dispositivos basados en Internet de las Cosas (IoT), Big Data, etc. Sin embargo, el coste de determinados elementos (como los de monitorización de parámetros de confort ambiental en edificios) suele ser elevado, lo que conlleva a su exclusividad y a utilizarse únicamente en obras relativamente singulares o en aquellas en las que se han encontrado, o es previsible, encontrar patologías. De ello surge la necesidad de plantear el desarrollo de protocolos de monitorización versátiles y económicos a partir de plataformas de prototipado digital de código abierto y la utilización de sensores de bajo coste, a fin de dejar a un lado la antedicha exclusividad y poder, así, contribuir a la ampliación de su campo de aplicación en pos de una lograr una mayor eficiencia y sostenibilidad en conjunto.

Este trabajo estudia y muestra las alternativas más viables de interoperabilidad de sensores de bajo coste con modelos BIM para posibilitar el desarrollo de la fase BIM 7D, mediante la monitorización de datos térmicos y sincronización en tiempo real para su visualización en un modelo virtual. Esto permitirá la calibración de simulaciones más precisas, así como la mejora del proceso de toma de decisiones durante el ciclo de vida de la infraestructura.

Palabras clave: Interoperabilidad, BIM 7D, Programación visual paramétrica, Sensores bajo coste, Monitorización, Arduino, Autodesk Revit, Dynamo.

Introducción

Durante el ciclo de vida de los edificios, tanto en construcción como en fase de servicio, el constructor o la propiedad pueden medir diversos parámetros físicos (desplazamientos, deformaciones, temperaturas, gasto energético...) con objeto de saber si una determinada infraestructura se comporta de la manera prevista o las acciones a las que está sometida son las consideradas en fase de proyecto. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los técnicos deciden realizar tareas de reparación o mantenimiento en las infraestructuras sin conocer el estado real de las mismas, basándose en la información que proporcionan las inspecciones visuales y su propia intuición y experiencia. Pese a su utilidad, los sistemas de apoyo a la toma de decisiones aún no se han desarrollado operativamente debido a la complejidad de aunar avanzados y complejos aspectos científicos, matemáticos y prácticos en áreas tan dispersas como la identificación de parámetros, la monitorización, el análisis dinámico, la eficiencia energética y las técnicas de fiabilidad.

Por otra parte, el marco económico actual y el fuerte empuje de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) ha propiciado, en los últimos años, la aparición de nuevos planteamientos y soluciones tecnológicas. Aun cuando los avances en electrónica son inmensos y el mercado está saturado de instrumentos y sensores que permiten tomar y almacenar datos, estos no suelen ser nada económicos, existiendo la necesidad de disponer de aparatos que recopilen y almacenen información a bajo costo (Azúa, Vázquez, Arteaga, & Hernández, 2017). Es por ello que, en los últimos años, surge la aparición de plataformas de microcontroladores de muy bajo coste, como Arduino o Raspberry Pi, que pueden hacer uso de multitud de sensores y elementos que permiten programar aplicaciones a un bajo coste (Menéndez Fernández, 2015).

Algunos de estos ejemplos de aplicación del uso de bajo coste son: web interactiva para monitoreo, análisis y control de procesos con Arduino y Raspberry (Herrera, Moreno, Hernández, Vázquez, & Palacios, 2015), sistema de monitorización y telegestión remota basado en Arduino para Smart Buildings (Sánchez, 2014), sistema ubicuo de control y monitoreo del hogar usando un teléfono inteligente basado en Android (Piyare, 2013), sistema de red de sensores inalámbricos usando Raspberry Pi y Arduino para aplicaciones de monitoreo ambiental (Ferdoush & Li, 2014), plataforma basada en Arduino para la recopilación de datos ambientales de interior a largo plazo (Syed Ali, Zanzinger, Debose, & Stephens, 2016), tecnologías digitales de código abierto para el monitoreo de bajo coste de construcciones históricas (Basto, Pelà, & Chacón, 2017), etc. Cuando ello es unido a la utilización de la metodología BIM, se obtienen estudios tales como: monitoreo del confort térmico en el metro utilizando modelado de información de construcción (Marzouk & Abdelaty, 2014), integración de sensores medioambientales con BIM: casos de estudio usando Arduino, Dynamo, y Revit API (Kensek, 2014), metodología para generar entradas de geometría automáticamente para la simulación de rendimiento energético desde los IFC de modelos BIM (Giannakis, y otros, 2015), desarrollo de un sistema de integración de datos en tiempo real basado en BIM mediante un sistema de gestión de edificios (Umar Khalid, Khalid Bashir, & Newport, 2017), etc.

Con objeto de establecer un protocolo válido para la obtención de datos de sensores ambientales en distintos espacios de un edificio y que sean fácilmente reconocibles en el modelo BIM del mismo, se han realizado unas primeras pruebas de interoperabilidad entre diferentes softwares de modelado, programación visual y plataforma de obtención de datos, exponiéndose a continuación los resultados con mejores prestaciones.

1. Herramientas utilizadas

1.1 Software de modelado y programación visual

Como punto de partida se planteó el trabajo con los software BIM y CAD, Autodesk Revit y Rhinoceros 3D, respectivamente, así como Tekla Structures (pensando en la posibilidad de incluir también sensores de desplazamiento en elementos estructurales). Una de las premisas del trabajo es la utilización de software libre y de código abierto, en la medida de las posibilidades, ya que las herramientas de programación visual paramétrica, y los plugins asociados (Dynamo y Grasshopper), sí se encuentran enfocados a tener en cuenta

estas consideraciones, pero, sin embargo, en el caso de los software de modelado esto no es así (la disponibilidad de estos es muy reducida y, en caso de existir, no permiten desarrollar un rango funcional tan amplio como las versiones de pago), lo cual derivó en la necesidad de descartar Tekla Structures ante la imposibilidad de adquirir su asociado plugin de programación para Grasshopper. Como nexa clave de unión que ha hecho factible la vinculación, entre el mundo real (sensores físicos) y el mundo virtual (modelo BIM), se ha utilizado la herramienta Firefly, definida como punto crítico para alcanzar la interoperabilidad en tiempo real, permitiendo el flujo entre antedichos mundos, lo que permite la posibilidad de explorar prototipos virtuales y físicos.

1.2 Arduino

Es una plataforma de electrónica de código abierto basada en hardware y software de fácil uso. Las placas Arduino pueden leer entradas (luz en un sensor, un dedo en un botón, un mensaje de Twitter, etc.) y convertirlo en una salida (activar un motor, encender un LED, publicar algo en línea, etc.) enviando un conjunto de instrucciones al microcontrolador, para lo cual utiliza un lenguaje de programación basado en Wiring y un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) basado en Processing. Las placas Arduino están disponibles comercialmente en forma de placas ensambladas o también en forma de kits DIY (Zhou, 2015), siendo utilizada en el presente trabajo la placa Arduino UNO R3.

1.3 Sensores de temperatura

Por otra parte, el sensor utilizado es un LM35 (TO-92), comúnmente conocido como “Sensor de Precisión de Temperatura Centígrada”, el cual se trata de un dispositivo con circuito integrado de precisión, para la medición de temperatura, con una tensión de salida lineal proporcional a la temperatura centígrada. Tiene una ventaja sobre los sensores de temperatura lineal calibrados en Kelvin [°K], ya que no se requiere que el usuario sustraiga una gran tensión constante de la salida para obtener una conveniente escala Centígrada.

2. Montaje del sistema y conexiones entre software

2.1 Circuito de lectura con Arduino

El sistema de toma de datos de temperatura lo forma la placa de Arduino UNO, que consta de un microcontrolador ATmega328 (el cual trabaja con un voltaje de operación de 5 [V]), un regulador de voltaje integrado que permite alimentar externamente con una fuente de poder que opere en un rango de 6 a 20 [V] (aunque se recomienda no salir de los límites de 7 a 12 [V]) y un consumo de corriente de 40 [mA]; 14 entradas/salidas digitales, de las cuales 6 se pueden utilizar como salidas PWM (Modulación por Ancho de Pulsos) y otras 6 son entradas analógicas; resonador cerámico de 16 [MHz], un conector USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP y un botón de reseteo (Azúa, Vázquez, Arteaga, & Hernández, 2017). A esto se le añade un cable USB, un set de cables de conexión y el sensor de temperatura, descrito con anterioridad. El esquema de montaje (*figura 1*) y el código implementado en el IDE de Arduino (*figura 2*) se muestran a continuación:

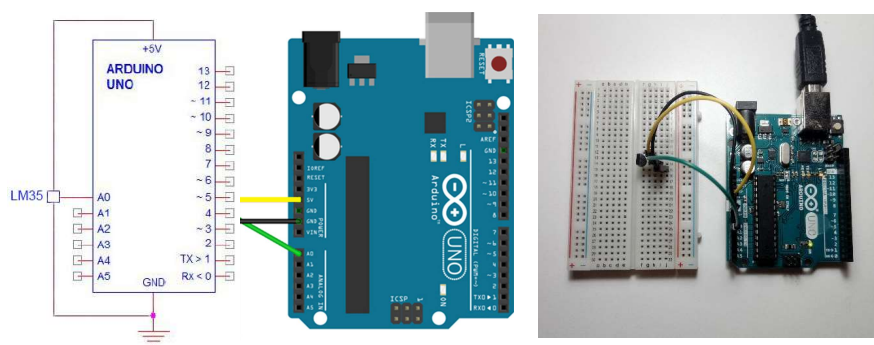


Figura 1. Esquema eléctrico y de montaje del circuito con Arduino. Fuente: Rodríguez Triguero (2018).

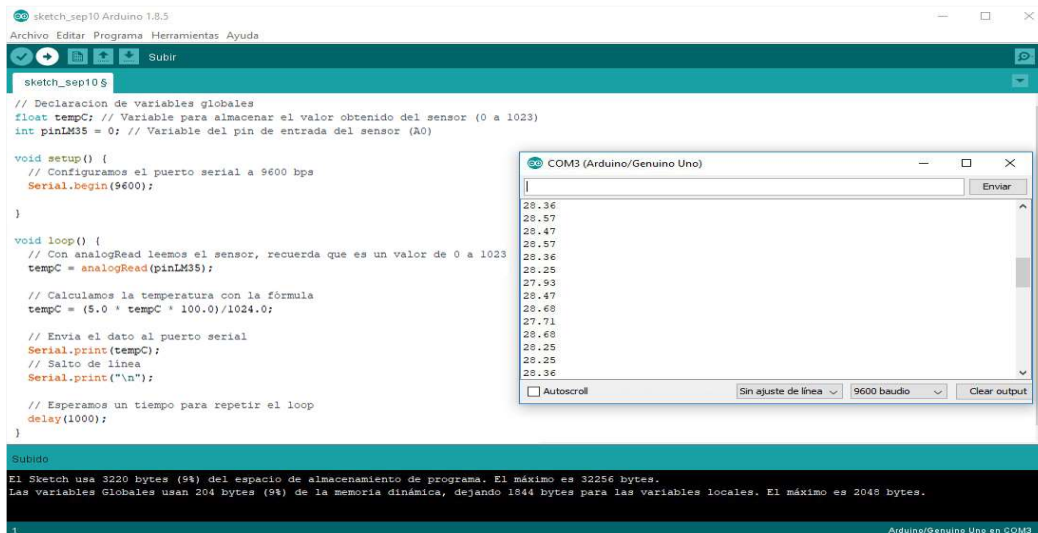


Figura 2. Compilación del código de medición de temperatura con Arduino escrito en el IDE. Fuente: Rodríguez Triguero (2018).

2.2 Conexión puente Arduino-Firefly

Al igual que ocurría con Arduino, Firefly es un software libre, por lo que su descarga se puede realizar de manera gratuita a partir del apartado de descargas de su página web, para lo cual únicamente se requiere un nombre y una dirección de correo electrónico para su envío. Un aspecto a tener en cuenta es que, al realizar la descarga de Firefly, se indica que su última versión (1.0.0.70) fue publicada el 25 de marzo de 2015, lo cual hace pensar en una posible incompatibilidad de versiones pues, por otra parte, la última versión de Arduino en el momento de realización del presente trabajo (1.8.5) data del 29 de septiembre de 2017. Ello es corroborado en (Muut, 2018) donde tal problema es puesto de manifiesto en las últimas versiones de Arduino. Por tanto, tras la instalación de la versión más reciente de Firefly, para poder seguir trabajando es necesario tener una versión del IDE de Arduino anterior a la 1.6.5 o, en caso de optar por hacerlo con una versión más reciente (como es el caso), es preciso modificar el firmata para posibilitarlo (figura 3).



Figura 3. Compilación del firmata modificado de Firefly en la versión 1.8.5 de Arduino. Fuente: Rodríguez Triguero (2018).

2.3 Conexión entre softwares de modelado, programación visual paramétrica y Arduino

Para llevar a cabo las verificaciones de conexión, en el presente estudio se han considerado diferentes posibilidades, a fin de probar los diferentes procesos que pudieran ser llevados a cabo mediante este

procedimiento. Así pues, no solo se han utilizado diferentes herramientas para su comparación, sino que se han analizado las conexiones recíprocas de entradas y salidas, entre las diferentes herramientas, y de manera tanto analógica como digital (figura 4).



Figura 4. Caminos de verificación de conexiones analizados. Fuente: Rodríguez Triguero (2018).

Para ello, las primeras fases del estudio consisten en la previa comprobación de las conexiones, entre sí, de manera aislada para, posteriormente, ir conectando las nuevas herramientas de manera progresiva. En el caso de las entradas y lecturas analógicas, estas son desarrolladas mediante la utilización del esquema mostrado en la figura 1, mientras que, para el caso contrario, para los procesos de salida y escritura digital, es empleado el circuito más sencillo posible basado en la utilización de un diodo LED. Efectuadas las verificaciones en las fases previas, la fase de conexión entre los diferentes software de modelado, programación visual paramétrica y Arduino es llevada a cabo como composición de los procesos previos ya comprobados (Rodríguez Triguero, 2018).

3. Lectura de datos y asociación al modelo

En este caso, la consideración clave de la fase es cómo asociar los datos de lectura de Arduino, obtenidos a través de las mediciones del sensor LM35-TO92, con un parámetro perteneciente a alguno de los elementos modelados.

Si bien Autodesk Revit permite la total parametrización, tanto de los elementos (así como su vinculación a las diversas disciplinas AEC existentes), como del propio proyecto en sí, no todas las posibilidades de propiedades paramétricas que permite crear son compatibles con hacer posible el desarrollo de la presente fase.

Concretamente, para poder efectuar la vinculación, en tiempo real, entre las mediciones obtenidas del sensor de temperatura y un nuevo parámetro del elemento asociado, a partir del análisis de las diversas posibilidades que, en principio, podría plantearse que existen para poder ser llevado a cabo, a raíz de este estudio queda comprobado que el modo en que ello sea factible requiere no solo acceder a la edición de la propia familia del elemento considerado (para editar las propiedades del tipo de familia), sino que la creación del nuevo parámetro a vincular sea de categoría ejemplar si se requiere facilitar su visualización. En este caso se ha creado un nuevo parámetro de temperatura asociado a una habitación del modelo.

Teniendo ello en cuenta, a partir de la creación del correspondiente algoritmo, es posible verificar la correcta conexión establecida a partir de la visualización simultánea de la lectura de datos en tiempo real en el algoritmo de Dynamo y el parámetro creado en las propiedades del elemento de Autodesk Revit (figura 5).

Por otra parte, en el caso de Rhinoceros 3D, si bien algunos problemas acontecieron durante las fases de comprobación (derivadas del hecho de no tratarse de una herramienta BIM, sino CAD, aunque ello pudiese ser solventado mediante la instalación del plugin VisualARQ), ahora también aparecerían nuevas dificultades de asociación de los datos al modelo ya que, a diferencia de Dynamo (el cual posee tres posibilidades de interacción entre el programa de modelado y el algoritmo: manual, automática y periódica), Grasshopper únicamente cuenta con la primera de ellas, lo cual permite la vinculación de los datos, pero no su visualización en tiempo real desde las propiedades del modelo.

4. Verificación de las vinculaciones tras la exportación a formato IFC

Aun verificada la conexión entre los software de modelado, programación y Arduino llevada a cabo en la anterior fase, así como a la demostrada posibilidad de sincronización en tiempo real mediante Dynamo y

Revit, es preciso considerar que, pese a que en casos de emplear estas vinculaciones para determinadas acciones de mantenimiento, o similares, de las infraestructuras (para lo cual el software de modelado podría seguir siendo de utilidad permitiendo la total monitorización y visualización de los elementos en tiempo real), pueden existir otras situaciones que precisen de la utilización de otro software distinto (como simulaciones con mayor precisión basadas en los datos obtenidos a partir de las mediciones efectuadas por cualquier tipología de sensor).

Es a razón de ello por lo cual surge la idea de contemplar la posibilidad de ser necesaria la exportación de antedichos valores, asociados a los parámetros de los elementos, a otros software de diversa índole mediante los archivos estándar de intercambio de datos en formato IFC.

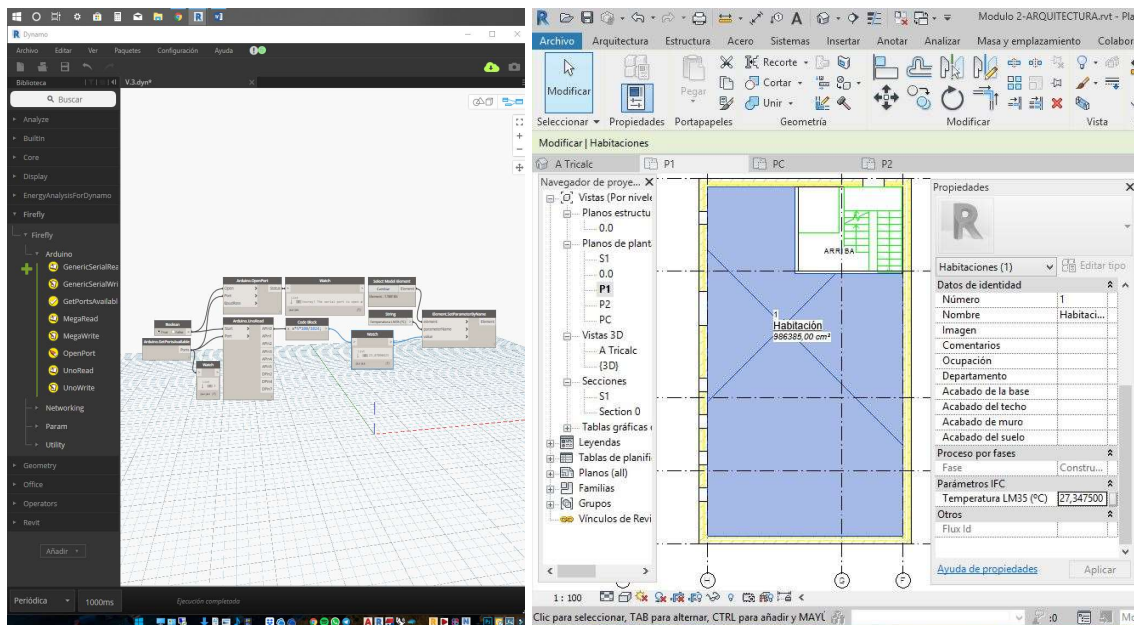


Figura 5. Lectura de datos y asociación al modelo en tiempo real. Fuente: Rodríguez Triguero / Castilla Pascual (2018).

En Autodesk Revit, se encuentran disponibles numerosas opciones de configuración para la importación y exportación de las versiones IFC2x2, IFC2x3 e IFC4, sin embargo, desde Rhinoceros 3D no es posible realizar exportación a IFC (salvo que se haya instalado el anteriormente mencionado plugin para posibilitar trabajar con el programa como una herramienta BIM, como es el caso).

Teniendo en consideración todo lo anterior, así como el hecho de poder exportar la totalidad de los parámetros de Revit o, por el contrario, únicamente los relativos al estándar IFC, llevando a cabo dicho proceso y, posteriormente, abriendo el archivo IFC mediante un visualizador o, tal y como indica (Jiménez Abós, 2018), mediante la apertura con el Bloc de Notas, puede comprobarse la correcta exportación del parámetro creado y su vinculación con la última medición realizada por el sensor (figura 6).

```
#373= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ID de tipo',$,IFCLABEL('Muro b
  \X2\00E1\X0\sico: Por defecto - 30 cm'),$);
#374= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('TemperaturaLM35',$,IFCREAL(27.347500),$);
#375= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('Tipo',$,IFCLABEL('Muro b\X2\00E1\X0\sico: Por
  defecto - 30 cm'),$);
```

Figura 6. Comprobación de la existencia del parámetro creado y su medición asociada en el archivo IFC exportado. Fuente: J.C. Rodríguez / F.J. Castilla (2018).

5. Conclusiones

A partir del desarrollo llevado a cabo, puede extraerse que no todas las herramientas presentan el mismo grado de interoperabilidad, pues ello depende, en gran medida, de la impronta asociada a la concepción intrínseca y desarrollo de los propios programas desde su propia creación. En este sentido, las elucubraciones previas al desarrollo del estudio hacían plantear que los resultados que se obtendrían con Autodesk Revit y Dynamo serían mejores a los obtenidos con Rhinoceros y Grasshopper, tomando en consideración la diferencia categórica entre sendos programas de modelado concebidos como herramientas BIM y CAD, respectivamente, lo cual ha sido finalmente comprobado.

Mediante la utilización combinada de Autodesk Revit, Dynamo, Firefly y Arduino, se ha obtenido una plena interoperabilidad entre los datos, asociados a las lecturas provenientes de las mediciones de los sensores, y los parámetros de nueva creación o, en determinados casos, existentes, correspondientes a los elementos modelados, además de lo cual se verificó el funcionamiento de la sincronización en tiempo real entre ambos.

Por el contrario, mediante el uso combinado de Rhinoceros, VisualARQ, Grasshopper, Firefly y Arduino, los resultados obtenidos son análogos, pero, en este caso, logrando un grado de interoperabilidad menor dado que, mediante el empleo de estas herramientas, no existe posibilidad alguna de sincronización en tiempo real de la vinculación entre los parámetros y los datos de los sensores. Esto es debido a que, si bien en el caso de Revit y Dynamo la interacción puede realizarse de tres maneras (manual, automática o periódica), en el caso de Rhino y Grasshopper únicamente existe la primera de ellas (mediante el horneado o 'bake' de los scripts del algoritmo), no existiendo ninguna posibilidad de interacción automática o periódica entre sendos programas.

También, cabe que destacar la constatación de la conservación de los parámetros asociados a las mediciones de sensores, así como al dato asociado a la última lectura realizada por el dispositivo, una vez que el elemento, o proyecto en su totalidad, es exportado a un archivo estandarizado de formato IFC para su posterior importación y empleo en otro software distinto al de modelado, aumentando el campo de aplicación y otorgando una gran utilidad a la investigación llevada a cabo.

6. Futuras líneas de investigación

Si bien el trabajo desarrollado contribuye a despejar ciertas incógnitas planteadas sobre el tema en cuestión tratado, de forma simultánea, ello provoca la generación de nuevas preguntas, ideas o planteamientos que suponen la consideración de nuevas líneas de investigación relacionadas, que pueden ser objeto de interés, dando continuidad al propio trabajo desarrollado.

En relación con las herramientas empleadas, pese a que en el presente estudio se haya apostado por la utilización de entornos gráficos de programación visual paramétrica (y, más concretamente, por software libre y de código abierto), en determinados software de modelado se incluyen herramientas para llevar a cabo la programación sin necesidad de emplear programas adicionales: Revit API (en el caso de Autodesk Revit) y Tekla Open API (en el caso de Tekla Structures), por lo que sería de interés hacer lo propio mediante el empleo estas herramientas, así como mediante el uso de otros entornos de desarrollo integrados y lenguajes de programación como, por ejemplo, Matlab.

Así mismo, otra posible línea de trabajo sería dar continuidad al presente desarrollo de la dimensión BIM 7D, más concretamente, mediante el estudio de la conexión de los datos y parámetros, vinculados en esta investigación, con sistemas BMS y GMAO, haciendo uso del formato de intercambio COBie, a efectos de facilitar las labores de Facility Management.

7. Referencias

- Azúa, M., Vázquez, M. A., Arteaga, R., & Hernández, R. (2017). Sistema de adquisición de datos de bajo costo con la plataforma arduino. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(1), 1-12.
- Basto, C., Pelà, L., & Chacón, R. (2017). Open-source digital technologies for low-cost monitoring of historical constructions. *Journal of Cultural Heritage*, 25, 31-40.
- Ferdoush, S., & Li, X. (2014). Wireless Sensor Network System Design using Raspberry Pi and Arduino for Environmental Monitoring Applications. *Procedia Computer Science*, 34, 103-110.
- Giannakis, G. I., Lilis, G. N., Garcia, M. A., Kontes, G. D., Valmaseda, C., & Rovas, D. V. (2015). A methodology to automatically generate geometry inputs for Energy Performance Simulation from IFC BIM models. 14th Conference of International Building Performance Simulation Association, (págs. 504-511). Hyderabad (India).
- Herrera, R., Moreno, R., Hernández, M. d., Vázquez, M. R., & Palacios, T. B. (2015). Aplicación web interactiva para monitoreo, análisis y control de procesos con Arduino y Raspberry. *Revista Tecnología Digital*, 5(1), 1-20.
- Jiménez Abós, P. (10 de septiembre de 2018). ¿Por qué es necesario poder editar IFC's? Obtenido de buildingSMART Spain: https://www.buildingsmart.es/2018/09/10/por-qu%C3%A9-es-necesario-poder-editar-ifc-s/?utm_source=dldr.it&utm_medium=twitter
- Kensek, K. M. (2014). Integration of Environmental Sensors with BIM: case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API. *Informes de la Construcción*, 66(536), e044.
- Marzouk, M. M., & Abdelaty, A. (2014). Monitoring thermal comfort in subways using building information modeling. *Energy and Buildings*, 84, 252-257.
- Menéndez Fernández, J. (2015). Estudio de vibración en pasarelas metálicas utilizando modelos reducidos de laboratorio (Trabajo Fin de Grado). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona (España).
- Muut. (12 de septiembre de 2018). Firefly. Obtenido de <https://muut.com/i/firefly/faq-frequently-asked-ques:error-uploading-firmata-in>
- Piyare, R. (2013). Internet of Things: Ubiquitous Home Control and Monitoring System using Android based Smart Phone. *International Journal of Internet of Things*, 2(1), 5-11.
- Rodríguez Triguero, J. C. (2018). Estudio sobre la interoperabilidad de sensores de bajo coste con modelos BIM mediante programación visual paramétrica (Trabajo Fin de Máster). Universidad de Castilla-La Mancha, Ciudad Real (España).
- Sánchez, J. R. (2014). Sistema de monitorización y telegestión remota basado en Arduino para Smart Buildings (Trabajo Fin de Grado). Universidad Politécnica de Valencia, Gandía (España).
- Syed Ali, A., Zanzinger, Z., Debose, D., & Stephens, B. (2016). Open Source Building Science Sensors (OSBSS): A low-cost Arduino-based platform for long-term indoor environmental data collection. *Building and Environment*, 100, 114-126.
- Umar Khalid, M., Khalid Bashir, M., & Newport, D. (2017). Development of a Building Information Modelling (BIM)-Based Real-Time Data Integration System Using a Building Management System (BMS). *Building Information Modelling, High Performance Design and Smart Construction*, 93-104.
- Zhou, Z. (2015). Review of Modern technology in Civil Engineering Aspect, and Analysis of small-scale structures via 3D printing and low cost electronics (Trabajo Fin de Máster). Universidad de Sheffield, Sheffield (Reino Unido).

Heritage Building Information Modelling (HBIM) como herramienta para la gestión del uso público del patrimonio arquitectónico

Salvador-García, Elena^a; García-Valdecabres, Jorge^b; Viñals Blasco, María José^c; Moret Colomer, Salvador^d

Instituto de Restauración del Patrimonio, UPV, España. elsalgar@upvnet.upv.es, ^b Instituto de Restauración del Patrimonio, UPV, España jgvalde@ega.upv.es, ^c Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, UPV, España mvinals@upv.es, ^d Estudio Salva Moret, España estudio@salvamoret.com

Abstract

The conservation of the architectural heritage and its transmission to future generations is a social responsibility. The public use of the architectural heritage sites contributes to give them ongoing life while retaining memories and knowledge, and promotes the social interest for its conservation. Generally, the most important challenge for managing public use is to establish a sustainable relationship between visitors and heritage assets. Heritage Building Information Modeling (HBIM) has proven to be a useful tool for improving the efficiency in managing the use and the maintenance of historic buildings.

This paper aims to show how HBIM model operates by developing the case study of the religious complex of San Juan del Hospital (València, Spain), following the Design Science Research (DSR) methodological approach. Results indicate that HBIM models really facilitate the management of the public use of the heritage sites, optimize the planning and strategic decision making process in the definition of the touring pattern, and facilitate the estimation of the recreational carrying capacity. Thus, HBIM contributes to minimize the visitor negative impacts and to improve the quality of the visitors' experience.

Keywords: HBIM, Cultural Heritage, Public Use, Visitors Management, Recreational Carrying Capacity

Resumen

La sociedad es responsable de la conservación del patrimonio arquitectónico y de su transmisión a las generaciones futuras. El uso público del patrimonio arquitectónico contribuye a darle vida, a la vez que conserva la memoria y promueve el interés social por su conservación. Generalmente, el mayor desafío en la gestión del uso público es establecer una relación sostenible entre los visitantes y los bienes patrimoniales. Heritage Building Information Modelling (HBIM) ha demostrado ser una herramienta útil para mejorar la eficacia de la gestión del uso y mantenimiento de los edificios históricos.

Este artículo tiene como objetivo mostrar como funciona el modelo HBIM para la gestión del uso público mediante el desarrollo del caso de estudio del conjunto religioso de San Juan del Hospital (Valencia, España), siguiendo el enfoque metodológico del Design Science Research (DSR). Los resultados indican que los modelos HBIM realmente facilitan la gestión del uso de los espacios patrimoniales, optimizan la planificación y el proceso de toma de decisiones estratégica en la definición del patrón de la visita, y a su vez, facilitan la estimación de la Capacidad de carga recreativa. Por lo tanto, HBIM contribuye a minimizar los impactos negativos de los visitantes y a mejorar la calidad de la experiencia de la visita.

Palabras clave: HBIM, Patrimonio cultural, Uso público, Gestión de visitantes, Capacidad de carga recreativa

Introducción

La Carta de Atenas (1931), profundamente convencida de que la mejor garantía de la conservación de los monumentos viene del afecto y del respeto del pueblo, recomienda destinar los bienes patrimoniales a una función útil para la sociedad. En el mismo sentido, la Carta Internacional de Turismo Cultural (ICOMOS, 1999) señala que el uso público del patrimonio contribuye a darle vida, a la vez que conserva su memoria y promueve el interés social por su conservación. La creciente expansión del turismo cultural de las últimas décadas ha motivado la necesidad de gestionar de modo sostenible y responsable la interacción entre patrimonio y turismo con una doble finalidad: minimizar el impacto negativo de las visitas en términos de conservación y mejorar la calidad de la experiencia de la visita (García Hernández, 2001). Por ello, desde la década de los años 90' del siglo XX se trabaja en el desarrollo de nuevas técnicas y herramientas para mejorar la gestión sostenible del binomio patrimonio-turismo. Entre ellas, se encuentra el cálculo de la Capacidad de carga recreativa que determina el número máximo de visitantes que puede albergar un espacio patrimonial sin poner en riesgo su conservación (Manning y Lawson, 2002) y establece las medidas de gestión de los flujos de visitantes que se aplican con el fin de descongestionar los espacios saturados y distribuir las presiones turísticas (Troitiño Vinuesa, 2000). Además, tiene como objetivo ofrecer una experiencia turística de calidad a los visitantes, facilitando para ello las necesarias condiciones de confort físico y psicológico (Viñals *et al.*, 2014).

No obstante, existe una falta de eficacia en el sistema de trabajo tradicional de la conservación del patrimonio, tal como han identificado Angulo (2012) y Parisi *et al.* (2019), debido a que los diferentes ámbitos de la conservación (documentación, intervención, mantenimiento y gestión del uso público) trabajan de manera independiente y la información de las disciplinas involucradas (arquitectos, historiadores, arqueólogos, gestores culturales, etc.) se encuentra dispersa, incompleta, desactualizada e inaccesible.

El sistema Building Information Modelling (BIM) aplicado al patrimonio arquitectónico, denominado *Historic o Heritage BIM* (HBIM), tal como señalan Hawas y Marzouk (2017), permite centralizar en un repositorio común, la información geométrica y semántica de los bienes patrimoniales, procedentes de todas las disciplinas involucradas en su conservación. Esta fuente de información es fiable, estructurada y actualizada, y fomenta la colaboración rigurosa entre distintas disciplinas, mejora la accesibilidad al conocimiento y la toma de decisiones (Historic England, 2017; Edwards, 2017). Existen evidencias en la revisión de la literatura de que HBIM mejora la gestión de la información del edificio histórico durante todo el ciclo de vida (Parisi *et al.*, 2019), especialmente para las labores de documentación (García-Valldecabres *et al.*, 2016), intervención (Bruno *et al.*, 2018), mantenimiento (Fassi *et al.*, 2016), divulgación (Brumana *et al.*, 2013) y gestión (Armisen Fernández *et al.*, 2016). Sin embargo, no ha evidenciado ningún estudio específico sobre la aplicación de HBIM para la gestión de las visitas públicas (Salvador-García *et al.*, 2018).

Esta investigación plantea la hipótesis de que HBIM puede ser una herramienta útil para mejorar la eficiencia en la gestión de las visitas del patrimonio arquitectónico. Por tanto, este artículo tiene por objetivo desarrollar por primera vez una aplicación práctica del uso de HBIM para la gestión de las visitas públicas, mediante el desarrollo del caso de estudio del Conjunto religioso de San Juan del Hospital de Valencia.

El documento se estructura en cuatro apartados. En esta introducción se expone el planteamiento del problema de partida y se analiza los estudios previos en el área de investigación, determinando las lagunas en el conocimiento actual y también plantea el objetivo específico del estudio. El apartado de metodología describe y justifica el método de investigación, el caso de estudio presentado y el procedimiento desarrollado. El apartado de resultados muestra los hallazgos obtenidos, y en la discusión y conclusiones se evidencia en qué medida este estudio ha contribuido a la ciencia, además de señalar las futuras líneas de investigación.

1. Metodología

La aproximación metodológica empleada para este estudio es el Design Science Research (DSR), que se usa para desarrollar un artefacto innovador que resuelva un problema práctico (Simon, 2006). Este estudio

forma parte de una investigación más amplia que persigue desarrollar como artefacto, un protocolo HBIM que permita mejorar la eficiencia en la gestión de las visitas públicas del patrimonio cultural. Siguiendo las etapas del DSR propuestas por Van Aken (2004), una vez identificado y entendido el problema y desarrollado el protocolo teórico, es necesario realizar una implementación práctica de dicho protocolo con el fin someterlo a una posterior evaluación de expertos. Este artículo muestra los resultados de la implementación práctica del protocolo HBIM para la gestión de las visitas, aplicado al caso de estudio del Conjunto de San Juan del Hospital de Valencia. Este conjunto religioso, fundado en el siglo XIII por la Orden de San Juan del Hospital tras la reconquista de Valencia, es un claro ejemplo de la arquitectura gótica mediterránea. El conjunto conserva en la actualidad la iglesia del siglo XIV, la capilla barroca de Santa Bárbara construida en el siglo XVII y vestigios del primer cementerio medieval de la ciudad compuesto por una capilla funeraria, una panda de arcosoleos y la cripta de Santa Bárbara. El edificio se encuentra protegido legalmente por la figura de Bien de Interés Cultural y Museo de Sitio. La iglesia comparte su función pastoral y labor social con el desarrollo de visitas públicas. Si bien actualmente no presenta problemas de saturación turística, la propiedad ha mostrado su interés por aplicar el sistema HBIM para mejorar la gestión de las visitas públicas.

1.1 Preparación del modelo

Con el fin de disponer de un modelo HBIM del Conjunto Histórico completo, donde implementar la gestión de las visitas, se partió de un modelo HBIM previo compuesto por el Patio Sur, Iglesia y Capilla de Santa Bárbara y se completó con el modelado de las zonas faltantes: Tránsito, Patio Norte, Sala del Museo y edificios colindantes. Ambos modelos se realizaron mediante el software *REVIT* de Autodesk a partir de una nube de puntos obtenida mediante la técnica del escáner láser. Debido a que el modelo previo había sido desarrollado por diferentes profesionales (García-Valldecabres *et al.*, 2016; Forero León, 2018; Mogená Sánchez, 2018), en distintos momentos y para diferentes fines; no existía un criterio único de trabajo y fue necesario preparar el modelo. La primera labor de preparación del modelo consistió en decidir los vínculos que se enlazaban permanentemente al modelo principal y cuales se mantenían como vínculos externos. En segundo lugar, se llevó a cabo la limpieza de los elementos solapados o duplicados y la unificación de la categorización de los elementos de REVIT. Por último, se completó el modelo HBIM de las zonas faltantes.

1.2 Preparación de la información

Tras la preparación del modelo HBIM, se definieron las necesidades de este modelo para la gestión de las visitas y se estudió la manera de estructurar la información para obtener los siguientes entregables: 1. Identificación de los hitos con valor patrimonial intrínseco y turístico; 2. Diseño y gestión del itinerario turístico; 3. Zonificación de usos y determinación de la Superficie Útil de Recreación (SUR); y 4. Determinación de la Capacidad de carga recreativa.

1.2.1. Identificación de los hitos turísticos

Con el fin de localizar los hitos turísticos, se empleó la categoría de “modelo genérico” de REVIT, se representó a modo de chincheta de localización y se ubicó en el punto de observación idóneo del hito. A cada hito, se le asignaron parámetros de “accesible”, “visitable”, criterios de valoración intrínseca y criterios de valoración turística. Los criterios de valoración intrínseca y turística que se integraron en el modelo HBIM fueron los propuestos por Viñals *et al.* (2017) para las fichas de puesta en valor y planificación turística del patrimonio construido. Para la valoración intrínseca se emplearon los criterios de: significancia, representatividad, singularidad, integridad, autenticidad, contextualización y para la valoración turística: atractividad, resistencia, disponibilidad, accesibilidad del elemento, factibilidad, valores educativos y funcionalidad. Todos los criterios se valoraron en base a una escala de valor del 1-5. A continuación, se definió un código de color de diferente intensidad, que permitía resaltar los hitos mejor valorados.

El continuo mantenimiento que requieren los hitos turísticos (elementos y espacios), planteó la necesidad de indicar la disponibilidad temporal que tenían para la visita; es decir, si era posible visitarlo. Para ello, se

generó un parámetro de “sí/no disponible” y se indicó el motivo en caso de no disponibilidad: “en préstamo” “en restauración”, “otro uso temporal”, “por razones de investigación” “otros” y se añadió un campo de “comentarios”.

El itinerario de la visita se creó con un modelo genérico similar al empleado para representar el recorrido de evacuación de incendios de los edificios.

1.2.2. Determinación de la Capacidad de carga recreativa

El proceso de la determinación de la Capacidad de carga recreativa, en base al método desarrollado por Viñals *et al.* (2017) consta de los siguientes pasos: zonificación de los usos, identificación de las Unidades Espaciales (UE), determinación de la Superficie Útil de Recreación (SUR) de las UE y cálculo de la Capacidad de carga recreativa siguiendo unas operaciones matemáticas sencillas.

Con el fin de zonificar los usos de las estancias, se empleó la categoría de “Área” de REVIT por ser la más apropiada para delimitar distintos usos de un mismo espacio, no acotados por elementos constructivos físicos. Se diferenciaron tres usos “visita pública”, “zona de circulación” y “no visitable” diferenciados mediante un código de color y se detalló el uso específico de cada espacio: “uso religioso”, “uso privado”, “uso cultural ocasional”, “uso administrativo” y “aseos”, indicando la compatibilidad de uso de los espacios.

Para zonificar las Unidades Espaciales (UE), se empleó la categoría de “Habitación” de REVIT, ya que permite asignarle un uso y asociarle los hitos turísticos que contiene cada UE. Esta categoría además, permite asignarle propiedades de área, perímetro y volumen, aspectos fundamentales para el cálculo de la Capacidad de carga recreativa y parámetros de acabado de suelo, techo, muros, etc, que pueden ser de gran utilidad para registrar el estado de conservación actual y planificar el programa de conservación preventiva.

El siguiente paso que se siguió para calcular la Capacidad de carga recreativa fue la determinación de la Superficie Útil de Recreación (SUR), que es aquella que queda disponible para la visita pública tras restar a las Unidades Espaciales, la “Superficie No Útil de Recreación” (SNUR). La SNUR la integran superficies que no pueden emplearse para la visita pública por varios motivos: “razones conservacionistas”, “fragilidad”, “seguridad”, “incompatibilidad de usos” o por la “disposición espacial de componentes internos” (muebles, columnas, etc.) que impiden su uso para la visita. Para acotar estos espacios, dado que no se encuentran delimitados por elementos constructivos, se empleó la categoría de “Área” de REVIT. Con el fin de obtener la actualización en tiempo real de las SUR y SNUR, se desarrolló una definición de DYNAMO que relaciona ambos parámetros y genera un archivo de EXCEL donde se extrae la SUR de cada UE del modelo de REVIT.

En este archivo EXCEL, se han añadido las operaciones matemáticas necesarias para calcular la Capacidad de carga recreativa de cada UE. La división entre la SUR y el estándar personal de proxémica (espacio interpersonal de interacción cuando se desarrolla una actividad en grupo), ha permitido calcular el número de personas en cada unidad espacial (UE) que pueden realizar la actividad al mismo tiempo (PAMT), en condiciones de confort físico y psicológico. Los estándares de proxémica que se han empleado para desarrollar una actividad en grupo en espacios cerrados, es de 1,2 m², y para espacios abiertos, 1,5 m², siguiendo las propuestas de Hall (1982). El tamaño del grupo se ha determinado teniendo en cuenta las características del espacio patrimonial y la función religiosa que comparte con el uso turístico. Para calcular el número de grupos simultáneos que puede haber en cada UE, se ha dividido el PMAT entre el tamaño del grupo y se le ha aplicado el factor limitante de distancia mínima admisible entre grupos para alcanzar el confort visual y acústico durante las visitas. A partir de la experiencia práctica en el desarrollo de rutas e itinerarios turísticos, se toma los 25 metros como distancia mínima de referencia entre grupos en espacios cerrados y 50 metros en espacios abiertos. Para calcular el coeficiente de rotación de los grupos en un mismo día, se ha dividido el horario de visita disponible, entre el tiempo medio de duración de la actividad. No obstante, se ha considerado la configuración espacial del edificio para determinar la posibilidad de simultanear varios grupos. Finalmente, el número máximo de visitantes que admite un espacio patrimonial,

se obtiene al multiplicar el número de grupos simultáneos y el coeficiente de rotación. De esta forma, se obtiene una información muy útil para gestionar los flujos de visitantes en condiciones de confort. No obstante, para garantizar la conservación del elemento patrimonial se han de realizar estudios sobre los impactos derivados de las visitas, de esta forma, poder acotar mejor el número de visitantes.

2. Resultados

Tras la limpieza de los elementos solapados y duplicados, la unificación de la categorización de los elementos del modelo y el modelado de los elementos constructivos faltantes, se dispuso de un modelo HBIM completo del Conjunto de San Juan del Hospital para implementar de manera práctica la gestión de las visitas públicas (Fig. 1).

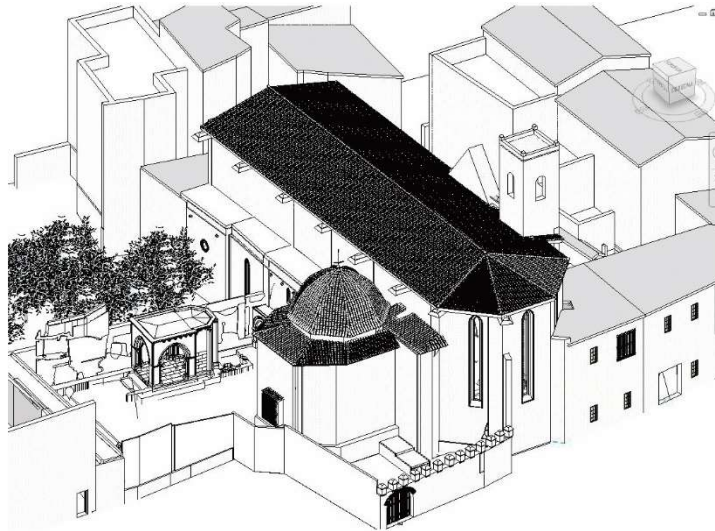


Fig. 1 Modelo HBIM del Conjunto de San Juan del Hospital de Valencia. Fuente: propia (2019)

2.1. Identificación de los hitos turísticos

La integración de los nuevos parámetros y la información relativa a los hitos turísticos, ha permitido visualizar los hitos en un plano 2D y resaltar aquellos que presentan mayor valor turístico (Fig. 2). También se ha generado un listado de los hitos turísticos que contiene cada UE, a través de una tabla de planificación.



Fig. 2 Vista 2D de los hitos turísticos resaltados con mayor valor de atraktividad. Fuente: propia (2019)

Para facilitar la visualización 3D y localización de los hitos, se han destacado en color naranja. Tal como se aprecia en la figura 3, y a modo de ejemplo, la fuente islámica a pesar de disponer de un elevado valor intrínseco de “atractividad”, su valor turístico de “disponibilidad” es 0, ya que la posibilidad de observación es nula por tratarse de un elemento arqueológico no visitable en la actualidad, por ese motivo no parece resaltado como hito turístico.

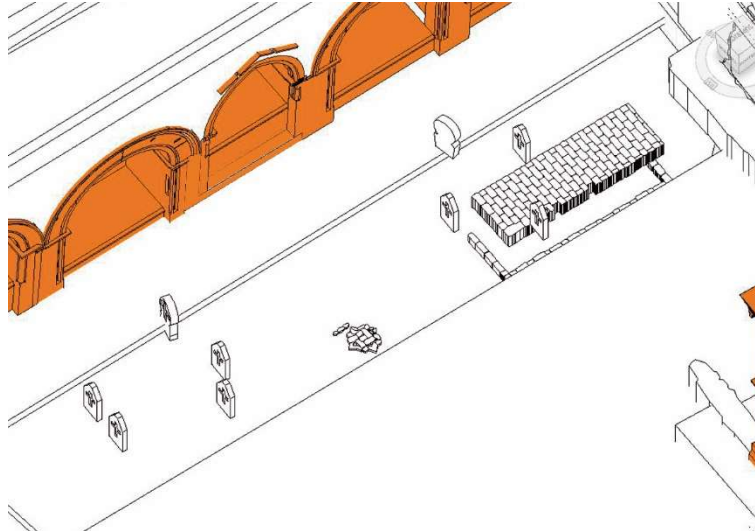


Fig. 3 Vista 3D de los hitos turísticos resaltados. Fuente: propia (2019)

Al incluir los parámetros de la disponibilidad de la visita de los hitos turísticos, ha sido posible generar un listado de los hitos disponibles e indicar y describir los motivos en caso de no disponibilidad (Fig 4).

<Hito - Estado visitable / no>				
A	B	C	D	E
Hito - nombre	Estado del Hito	Descripción del estado del hito	Hito - accesible	Disponible
Arcoaliso familia Fernández H.	Disponible		<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Cabecera de la iglesia	Disponible		<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Capilla de San Miguel Arcángel	Disponible		<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Capilla de Santa Bárbara	En restauración	Restaurando sillería	<input type="checkbox"/>	NO
Capilla funeraria	Disponible		<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Cripta de Santa Bárbara	Disponible		<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Cruces del tránsito	Disponible		<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Fuente islamica	Otros		<input type="checkbox"/>	NO
Panda sur de Arcosóteos	Disponible		<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Portada románica Norte	Disponible		<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Portada Sur	Disponible		<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Sala Museo	Disponible		<input checked="" type="checkbox"/>	SI
Testero iglesia	Disponible		<input checked="" type="checkbox"/>	SI

Fig. 4 Tabla de la disponibilidad de visita de los hitos. Fuente: propia (2019)

El itinerario de la visita, generado como un modelo genérico, es similar al empleado para representar el recorrido de evacuación de incendios. El itinerario recorre los hitos turísticos más destacados que se encuentran disponibles, para una duración media de visita de 1 hora (Fig. 5).

2.2. Determinación de la Capacidad de carga recreativa

La generación de las áreas relativas a los usos de los espacios y su diferenciación mediante un código de color, ha facilitado la obtención de un plano de zonificación de usos más visual.

La información introducida en el modelo HBIM relativa a las Unidades Espaciales, ha permitido generar un plano de zonificación de las cinco UE del Conjunto: Tránsito, Patio Norte, Sala Museo, Iglesia, Patio Sur, diferenciadas según un código de color y donde quedan indicadas sus superficies útiles (Fig. 6).

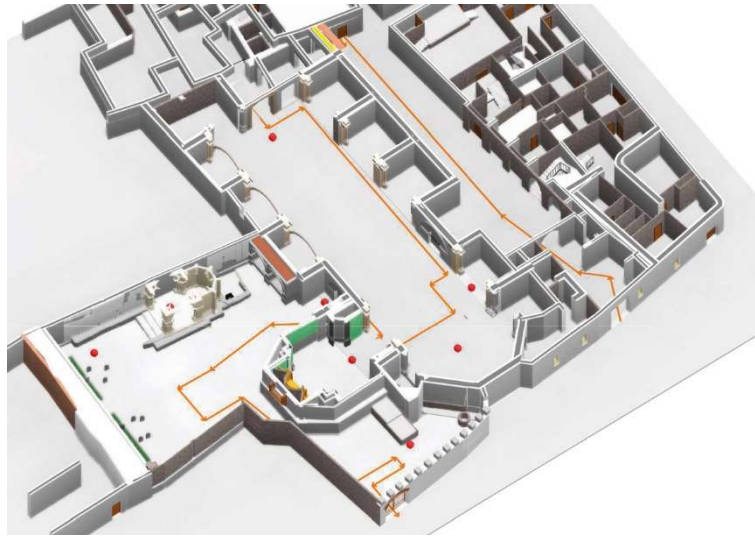


Fig. 5 Vista 3d del itinerario de visita. Fuente: propia (2019)

Para delimitar las superficies no útiles de recreación (SNUR), se ha acotado un área paralela a la fábrica histórica “por razones conservacionistas” con el fin de minimizar los riesgos por desgaste que puedan provocar las visitas públicas. Se han identificado además, las superficies que presentan mayor fragilidad: arcóleos del Patio Sur, pinturas murales de la capilla de San Miguel Arcángel, pavimento de la capilla funeraria y esgrafiados de la capilla de Santa Bárbara. Los espacios que presentaban limitaciones por “seguridad” han sido: la primitiva capilla y la cripta de Santa Bárbara. Los espacios de circulación y los espacios comprendidos entre el punto idóneo de observación de los hitos y los propios hitos (cuenca visual), se han considerado como espacios incompatibles con el tránsito de personas. Por último, se han considerado los bancos de la iglesia y altares de las capillas laterales como “componentes internos” limitantes para el uso de visita pública.

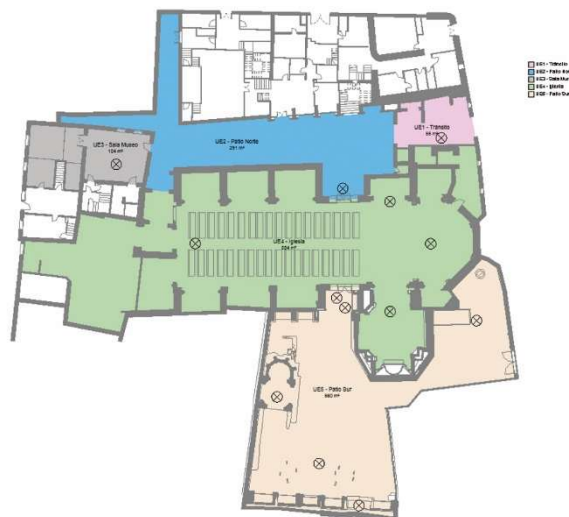


Fig. 6 Plano 2D de las Unidades Espaciales (UE). Fuente: propia (2019)

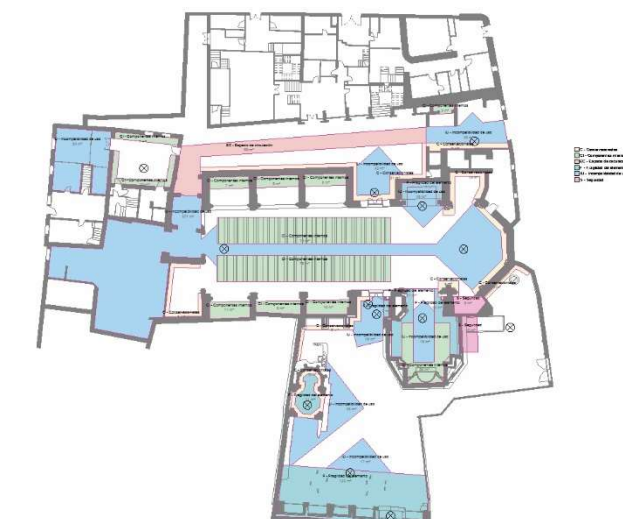


Fig. 7 Plano de superficie no útil de recreación (SNUR) Fuente: propia (2019)

La definición de DYNAMO que se ha desarrollado permite relacionar la SUR y la SNUR y actualizarlas en tiempo real. Además, esta definición permite extraer la SUR de las Unidades Espaciales a un EXCEL donde se han desarrollado las operaciones para el cálculo de la Capacidad de carga recreativa.

Para calcular el número de personas al mismo tiempo (PAMT) que pueden desarrollar la visita pública en una unidad espacial, se ha dividido la SUR de cada unidad, entre el estándar de proxémica. El tamaño del grupo idóneo que se ha establecido para las visitas de este Conjunto religioso, ha sido de 12 personas. Para calcular el número de grupos simultáneos que puede contener cada UE, se ha dividido el PMAT entre el tamaño del grupo (12 personas). Al número de grupos simultáneos se le ha aplicado el factor limitante de la distancia mínima de confort visual y acústico a cada UE. Este cálculo ha evidenciado que el espacio más desfavorable para alojar varios grupos simultáneos es la Sala del Museo; por ese motivo, se ha determinado que únicamente puede haber 1 grupo simultáneo por UE. Para calcular el coeficiente de rotación, se ha dividido las 4 horas de visita al día, entre 1 hora de duración media de la visita. Esta operación ha dado como resultado un coeficiente de rotación mínimo de 4 visitas al día. No obstante, considerando la configuración espacial del edificio, existe la posibilidad de programar 2 visitas por hora, saliendo con una diferencia entre grupos de 30 minutos o incluso 3 visitas por hora, iniciando cada 20 minutos. Esto daría un total de 4, 8 o 12 visitas por día en condiciones de confort físico y psicológico. Para calcular la Capacidad de carga recreativa, se ha multiplicado 1 grupo simultáneo por ser el más desfavorable por el coeficiente de rotación, que pueden ser 4, 8 o 12. Por tanto, considerando los grupos de 12 personas, la capacidad de carga recreativa por UE más desfavorable es de 144 visitantes por día.

3. Discusión y conclusiones

Los resultados obtenidos en este estudio han demostrado que HBIM puede ser una herramienta útil para facilitar el análisis, planificación y la toma de decisiones de los agentes involucrados en la gestión de las visitas públicas del patrimonio construido (propietario, gestor cultural, técnico en interpretación, guía-intérprete). Específicamente, es útil para identificar y georeferenciar los hitos turísticos, para facilitar el análisis virtual de las opciones del itinerario de visita, gestionar la visita en base a los elementos y espacios no visitables temporalmente, facilitar el cálculo de la Capacidad de carga recreativa y detectar virtualmente los riesgos de impacto del visitante en términos de conservación. Además esta información geométrica y semántica del bien patrimonial rigurosa, fiable y unificada, puede mejorar la eficacia en el desarrollo de materiales divulgativos como modelos en 3D para paneles interpretativos, mapas para la visita, etc. por parte de diseñadores, infografistas, etc.

Si bien para realizar este estudio ha sido necesario integrar los parámetros de valoración intrínseca de los elementos, como fase previa para identificar los hitos turísticos, lo más apropiado sería introducirlos en el

modelo HBIM durante la fase de registro y documentación del bien por los agentes técnicos (arquitecto, historiador, arqueólogo, etc). Los parámetros de valoración turística deben integrarse en la fase de gestión de uso público por los agentes involucrados en la gestión cultural del bien.

La decisión de zonificar las Unidades Espaciales mediante la categoría de “Área” al inicio del proceso de implementación, generó una serie de problemas, especialmente cuando dos hitos pertenecían a la misma UE; por ello, finalmente se optó por redefinir las UE y zonificarlas mediante “Habitaciones”.

Este trabajo ha presentado los resultados preliminares de la investigación que se está llevando a cabo y requiere el desarrollo de más aplicaciones prácticas y casos de estudio. No obstante, se estima que los resultados presentados en este artículo son un buen comienzo y se han identificado ya futuros desarrollos encaminados a profundizar en el estudio de la automatización del diseño de itinerario de la visita. También se identifica la combinación de los datos obtenidos mediante sensores, con los modelos HBIM y el software de simulación de peatones MASSMOTION de Oasys, como un buen medio para facilitar la simulación y análisis de la movilidad y uso que hace el visitante del espacio patrimonial y así, emplear posteriormente ese análisis para mejorar la planificación de los flujos de visitantes.

4. Referencias

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* [en línea], vol. 0, no. 9, pp. 11-25.

ARMISÉN FERNÁNDEZ, A., B. GARCÍA FERNÁNDEZ-JARDÓN, F.J. MATEOS REDONDO, L. VALDEÓN MENÉNDEZ y A. ROJO ÁLVAREZ, (2016). Plataforma virtual para el diseño, planificación, control, intervención y mantenimiento en el ámbito de la conservación del patrimonio histórico «PetroBIM». *Congreso Euro-Americano REHABEND 2016* [en línea]. Burgos (España): s.n., pp. 1-8. Disponible en: http://www.geaasesoriageologica.com/noticias/adjuntos/69.pdf%0Ahttp://petrobim.com/2017/05/14/los-cuatro-pilares-de-la-gestion-de-patrimonio-resueltos-con-petrobim/?utm_campaign=shareaholic&utm_medium=linkedin&utm_source=socialnetwork.

BRUMANA, R., D. ORENI, A. RAIMONDI, A. GEORGOPOULOS y A. BREGIANNI, (2013). From survey to HBIM for documentation, dissemination and management of built heritage: The case study of St. María in Scaria d’Intelvi. *Digital Heritage International Congress*. S.l.: s.n., pp. 497-504.

BRUNO, S., M. DE FINO y F. FATIGUSO, (2018). Historic Building Information Modelling: performance assessment for diagnosis-aided information modelling and management. *Automation in Construction* [en línea], vol. 86, pp. 256-276. [Consulta: 16 octubre 2018].

CONFERENCIA INTERNACIONAL DE ARQUITECTOS Y TÉCNICOS DE MONUMENTOS HISTÓRICOS, (1931). Carta de Atenas. [en línea]. Atenas: [Consulta: 13 septiembre 2018]. Disponible en: <https://ipce.mecd.gob.es/dam/jcr:40dcc432-525e-43a7-ac7a-f86791e2f5e6/1931-carta-atenas.pdf>.

EDWARDS, J., (2017). It’s BIM but not as we know it! En: Y. Arayaci, J. Counsell, L. Mahdjoubi, G.A. Nagy, S. Hawas y K. Dweidar (eds.), *Heritage building information modelling*. London & New York: Routledge Taylor and Francis Group,

FASSI, F., A. MANDELLI, S. TERUGGI, F. RECHICHI, F. FIORILLO y C. ACHILLE, (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 (Eds.) (ed.), *International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics*. S.l.: Springer International Publishing Switzerland, pp. 139-157.

FORERO LEÓN, D., (2018). *Mejora del modelo Historic Building Information Modeling (HBIM) para la gestión de fases histórico-constructivas. Aplicación al caso de la nave de la iglesia de San Juan del Hospital en Valencia*. Valencia: Inédito.

GARCÍA-VALLDECABRES, J. (IP), M.C. LÓPEZ GONZÁLEZ, E. SALVADOR-GARCÍA, R. MARCH OLIVER y I. JORDÁN PALOMAR, (2016). *El diseño de una base de datos, modelo para la gestión de la información y del conocimiento del Patrimonio Arquitectónico*. 2016. Valencia: Inédito.

GARCÍA-VALLDECABRES, J., E. PELLICER ARMIÑANA y I. JORDÁN PALOMAR, (2016). Scientific literature review for existing buildings and theoretical method: proposal for heritage data management using HBIM. En: A. Library (ed.), *Construction Research Congress*. San Juan de Puerto Rico: s.n., pp. 228-238.

GARCÍA HERNÁNDEZ, M., (2001). *Turismo y conjuntos monumentales: capacidad de acogida turística y gestión de flujos de visitantes*. S.I.: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Geografía e Historia.

HALL, E.T., (1982). *The hidden dimension*. New York: Anchor Books Editions.

HAWAS, S. y M. MARZOUK, (2017). Integrating Value Map with Building Information Modelling Approach for Documenting Historic Buildings in Egypt. En: Y. Arayaci, J. Counsell, L. Mahdjoubi, G. Nagy, S. Hawas y K. Dewidar (eds.), *Heritage Building Information Modelling*. London & New York: Routledge. Taylor& Francis Group, pp. 62-72.

HISTORIC ENGLAND, (2017). BIM for Heritage. Developing a Historic Building Information Model. [en línea]. Swindon: Disponible en: <https://content.historicengland.org.uk/images-books/publications/bim-for-heritage/heag-154-bim-for-heritage.pdf/>.

ICOMOS, (1999). Carta Internacional sobre Turismo Cultural. [en línea]. México: [Consulta: 13 septiembre 2018]. Disponible en: https://www.icomos.org/charters/tourism_sp.pdf.

MANNING, R.E. y S.R. LAWSON, (2002). Carrying Capacity as "Informed Judgment": The Values of Science and the Science of Values. *An International Journal for Decision Makers, Scientists and Environmental Auditors*, vol. 30, no. 2, pp. 157-168.

MOGENA SÁNCHEZ, R., (2018). *Diseño de un protocolo para la definición LOD en HBIM. Aplicado a la Capilla de Santa Bárbara de San Juan del Hospital en la ciudad de Valencia*. Valencia: Inédito.

PARISI, P., M. Lo TURCO y E.C. GIOVANNINI, (2019). The value of knowledge through H-BIM models: Historic documentation with a semantic approach. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W9, no. February, pp. 581-588.

PARISI, P., M. Lo TURCO, E.C. GIOVANNINI, D. MODELING y P. DOCUMENTATION, (2019). The value of knowledge through H-BIM models: Historic documentation with a semantic approach. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. XLII-2/W9, no. February, pp. 581-588.

SALVADOR-GARCÍA, E., J. GARCÍA-VALLDECABRES y M.J. VIÑALS BLASCO, (2018). The use of HBIM models as a tool for dissemination and public use management of historical architecture: a review. *Int. J. Sus. Dev. Plann*, vol. 13, no. 1, pp. 96-107.

SIMON, H.A., (2006). *Las ciencias de lo artificial*. Granada (España): Comares Editorial.

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

VAN AKEN, J.E., (2004). Management research on the basis of the design paradigm: The quest for field-tested and grounded technological rules. *Journal of Management Studies*, vol. 41, no. 2, pp. 219-246.

VIÑALS BLASCO, M.J., M. MAYOR SALVI, I. MARTINEZ SANCHIS, P. ALONSO-MONASTERIO FERNÁNDEZ y M. MORANT GONZÁLEZ, (2017). *Turismo sostenible y patrimonio: herramientas para la puesta en valor y planificación*. Valencia: Valencia : Universitat Politècnica de València, D.L. 2017.

VIÑALS, M.J., M. MORANT y L. TERUEL, (2014). Confort psicológico y experiencia turística. Casos de estudio de espacios naturales protegidos de la comunidad Valenciana (España). *Boletín de la AGE*, vol. 65, pp. 293-316.

Gestión Integrada de fachadas por medio de un sistema de automatización en tiempo real

Guillermo-Ramirez, Carlos Gilberto^a

^aArquitecto.Madrid, España. guilcarlos@gmail.com

Abstract

Can a BIM Manager be a fundamental piece in the economic development of a country? Can he reduce greenhouse gas (CO₂) emissions in real time? This research work aims to demonstrate that it is possible.

Spain produces 330 million tons of CO₂/ year. The government has committed to lowering them by 20% by 2030. Building is a sector with a huge impact on CO₂ emissions.

The concern of owners or tenants of buildings lies in controlling or reducing operational costs. Office buildings consume two thirds of the total energy consumed, where facilities in general account for 90% of total expenditure.

This research is divided into three stages: the first is to find the climatological conditions of the project site, to establish the incidence of the sun with the envelope of the building, the coefficient of thermal transfer and a family of adaptive component. Then, an analysis of each room of the building (temperature, occupation, ventilation, etc.) is done. Finally, the temperature of each room in real time is monitored.

The integrated management of facades by means of a real-time automation system can be a useful tool in the control of CO₂ emissions.

Keywords: Asset management, Smart Facades, CO₂ Emissions, Continuous Improvement, Facility, Monitoring, Rehabilitation.

Resumen

¿Puede un BIM Manager ser pieza fundamental en el desarrollo económico de un país? ¿Bajar las emisiones de efecto invernadero (CO₂) en tiempo real? Este trabajo de investigación pretende demostrar que es posible.

España produce 330 millones de toneladas de CO₂/año. El gobierno se ha comprometido a bajarlas un 20% para el 2030. La edificación es un sector de enorme impacto en las emisiones de CO₂.

La preocupación de dueños o arrendatarios de edificios radica en controlar o disminuir los costos operacionales. Los edificios de oficinas consumen dos tercios de la energía total consumida, donde las instalaciones en general representan el 90% del gasto total.

Esta investigación se divide en tres etapas: la primera es hallar las condiciones climatológicas del lugar del proyecto, establecer la incidencia del sol con la envolvente del edificio, el coeficiente de tramitancia térmica y una familia de componente adaptativo. Posteriormente, se analiza el interior de cada estancia del edificio (temperatura, ocupación, ventilación, etc). Por último se monitoriza la temperatura de cada estancia en tiempo real.

La gestión integrada de fachadas por medio de un sistema de automatización en tiempo real, puede ser una herramienta útil en el control de las emisiones de CO₂.

Palabras clave: Gestión de activos, Fachadas inteligentes, Emisiones CO₂, Mejora continuada, Facility, Monitorización, Rehabilitación.

Introducción

Un BIM manager debe ser responsable de gestionar la información de una edificación, tanto en modelos previos a la construcción como en proyectos ya construidos. Tiene un papel clave en la toma de decisiones, contrastando datos reales, costos de construcción e impacto de la edificación. Debe participar en todo el proceso: desde el equipo de diseño inicial (BIP, CDE, BEP, etc...), hasta su proyección, así como en el seguimiento de la edificación, ya que junto con el Energy Manager, establece los consumos en tiempo real, datos históricos, informes de evolución y de desvío respecto a lo preestablecido.

La edificación es un sector de enorme impacto en la evolución del consumo de energía y las emisiones CO₂. En el conjunto de la Unión Europea, los edificios son responsables del 40% del consumo final de energía y del 36% de las emisiones de dióxido de carbono. En España, las viviendas y los edificios del sector terciario representan el 26% del consumo de energía total, un 17 y un 9% respectivamente. (1)

Existe en la actualidad un amplio consenso sobre la importancia estratégica de los edificios para alcanzar los objetivos comunitarios de eficiencia energética y de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. La construcción de nuevos edificios bajo requisitos de diseño y eficiencia energética mucho más exigentes que los actuales y que demanden poca o ninguna energía –edificios de consumo de energía casi cero o nulo– será una obligación para los países de UE a partir del 31 de Diciembre del 2020.(1)

Por otro lado el aumento de los costes de energía ha sido el principal impulsor del crecimiento de los sistemas BAS (Building automation system), apoyados por los beneficios que otorga controlar con un ambiente confortable y seguros en las edificios comerciales y de oficinas, los cuales se reflejan en significativas reducciones de los costos de operación, mayor seguridad y rendimiento de los usuarios.

Este trabajo de investigación se divide en tres partes: la primera parte se hace desde el exterior y consiste en hallar las condiciones climatológicas del lugar del proyecto; la segunda, interiormente dentro de cada estancia, recinto o espacio del edificio, determinando los sistemas de climatización utilizados y estableciendo las condiciones de confort térmico para los usuarios; y la tercera una monitorización en tiempo real, para lo cual nos valdremos de la integración de los sistemas BAS con herramientas de programación.

Se pretende así incorporar controladores inteligentes, adecuadamente distribuidos, que operen de forma independiente, pero que sean supervisados por un software central que permita controlar los consumos de energía del edificio en tiempo real.

1. Marco teórico

Las emisiones de gases de efecto invernadero en España se dispararon un 4.4% en el 2017. Es el mayor incremento interanual desde el año 2002. Actualmente producimos 334 millones de toneladas de CO₂, el gobierno se ha comprometido a llegar al año 2030 con un 20% menos de emisiones respecto al año 1990. Esto implica una reducción de más de 100 millones de toneladas menos. (2).

Además, la preocupación constante de los dueños o arrendatarios de edificios, radica en controlar o disminuir los costos operacionales. Los edificios de oficinas comerciales consumen más energía que cualquier otro edificio comercial, debido a que dos tercios de la energía total consumida corresponden a electricidad, donde la iluminación, los equipos de oficinas y HVAC representan el 90% del gasto total.

La WWF sostiene que la única fórmula realmente eficaz para reducir las emisiones y el consumo de energía del sector de la edificación es a través de la disminución de la demanda energética del parque ya edificado, mejorando los niveles de aislamiento de los edificios.

España en los últimos años se ha provisto de diversas políticas y normativas con la finalidad de mejorar el comportamiento energético del sector de la edificación.



Fig. 1 Evolución de la emisión de gases del efecto invernadero en España. Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica. (2018)

- CTE. Código técnico de la edificación 2006
- Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios 2007
- Certificación energética para edificios de nueva construcción. 2007
- Plan estatal de vivienda y rehabilitación. 2009 – 2012
- Plan de ahorro y eficiencia energética 2008 – 2012 (PAEE+)

Principalmente las ayudas que ofrece este último, están orientadas a la renovación de equipos térmicos.

La rehabilitación representó en el 2009 tan solo el 19% de la inversión total de la construcción en España frente al 43 % de media de la UE.

Los sistemas BAS consisten en un control digital directo (DDC) para proporcionar costos de operaciones más bajos y facilidad de operación. Los controladores PID (es un mecanismo de control simultaneo por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial), de microprocesadores supervisan y ajustan los sistemas de edificios para optimizar su rendimiento y el rendimiento con otros sistemas con el fin de minimizar la potencia total y el consumo de combustible de la instalación. (1)

2. Metodología

2.1. Softwares

Revit

Dynamo

Phyton

2.2. Método

2.2.1. Primera fase

El punto de partida es un modelo con elementos constructivos detallados, sobre el cual se realiza un análisis de la configuración energética: mediante REVIT se establecen los parámetros de proyecto antes de realizar la simulación. Desde la pestaña *Analizar*, se selecciona la opción de *cargas de calefacción y refrigeración* y se determinan los parámetros generales: tipología del edificio, ubicación del proyecto, fase, envolvente, etc.

Se utilizan los datos de la geo-localización que nos proporciona REVIT, utilizando la herramienta de *configuración del sol*. Se tienen en cuenta la activación o no de la opción *Usar horario de verano*, para

aquellas zonas donde se utilice horarios diferenciados por invierno o verano, como es el caso de este proyecto.

En cuanto al clima, se puede activar la opción *Usar estación meteorológica más próxima*. De esta forma, el programa se encarga de recoger los datos climatológicos actualizados de la zona.

Posteriormente y mediante el nodo *SunSetting.CurrentDateTime*, la información obtenida de REVIT, se incorpora en el prototipo virtual de DYNAMO y se determina la normal de los rayos solares, que inciden en la fachada y con la colocación de filtros de colores se identifica cuál es la zona más afectada por la radiación solar, según la hora, el día, el mes o el año a estudiar, en este caso particular el 24 de Mayo de 2019, a las 10am.

Modelo con Dynamo: El flujo de trabajo será: definición de niveles, creación de piel del edificio y por último definición de una familia de componente adaptativo.

Definición de niveles del edificio: Con DYNAMO se hace un árbol algorítmico donde se definen los niveles con un *Integer slider*; luego la altura entre pisos con un *Number slider*, con el nodo de *Level.ByelevationAndName*, para darle el nombre que se quiera a cada nivel. De esta manera, se definen los 40 niveles y la altura entre pisos de 3.50 m.

Definición de la piel del edificio: Para crear la forma, se establecen tres circunferencias, que van a definir la piel del edificio. Determinamos la ubicación de las circunferencias: una de ellas será la base, otra irá a un 60% de la altura del edificio (es una medida arbitraria), y la última en el nivel 40 del edificio. El siguiente paso es, mediante un *Loft*, conectar las tres circunferencias y crear la piel del edificio.

Definición de una familia de componente adaptativo: Para terminar con el volumen del edificio, se crea una familia de componente adaptativo en REVIT. Es una adaptación del panel de muro cortina basado en un patrón. Esta familia permite repetir sistemas generados por una matriz. La idea es crear una familia dividida en dos partes: una parte será maciza con una tolerancia de hasta un 99% con respecto a la parte transparente, y la otra parte será también transparente, con una tolerancia de hasta un 99% con respecto a la parte maciza. La finalidad es controlar la radiación solar dentro de cada estancia del edificio, mediante un sistema pasivo automático. En DYNAMO, se adapta esta familia recién creada a la piel, por intermedio de un nodo *AdaptiveComponent.ByPoint*. Así se obtiene un volumen con una tolerancia en la familia de un 50% de opacidad, con un 50% de transparencia.

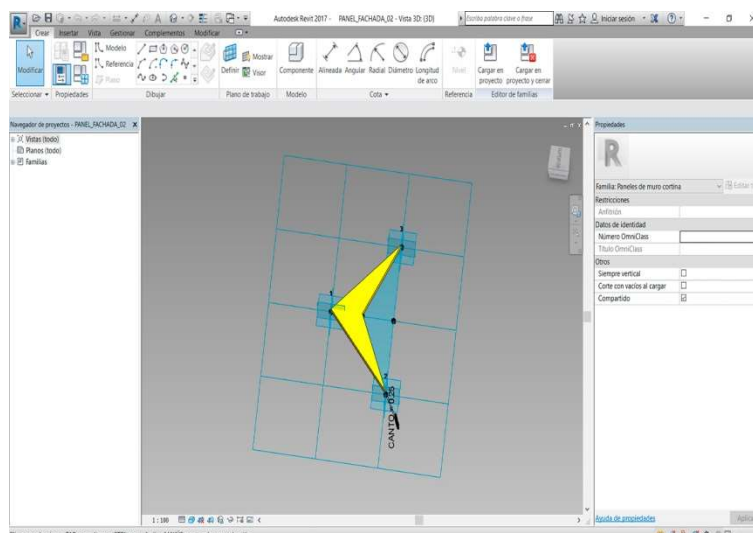


Fig.2 Familia de componente adaptativo.

2.2.2. Segunda fase

En este modelo, se utilizará una sonda de temperatura (DS18B20), conectada a una placa de ordenador (SBC), RASPBERRY Pi, ya que este ordenador es compatible con PHYTON, un lenguaje de programación

que a su vez es compatible con DYNAMO. El objetivo es tener una lectura real, sometiendo a la sonda de temperatura a diferentes condiciones de frío y calor, para que generen una lectura en tiempo real de qué temperatura tenemos, dependiendo de las condiciones atmosféricas del exterior, descritas en la primera fase.

Aunque en un proyecto real, la medición de las condiciones internas cambia con el nivel de ocupación del recinto, la actividad del usuario, el tipo de uso del local, ventilación, climatización y humedad del aire; para el modelo del que se parte, no se tendrán en cuenta todos estos factores.

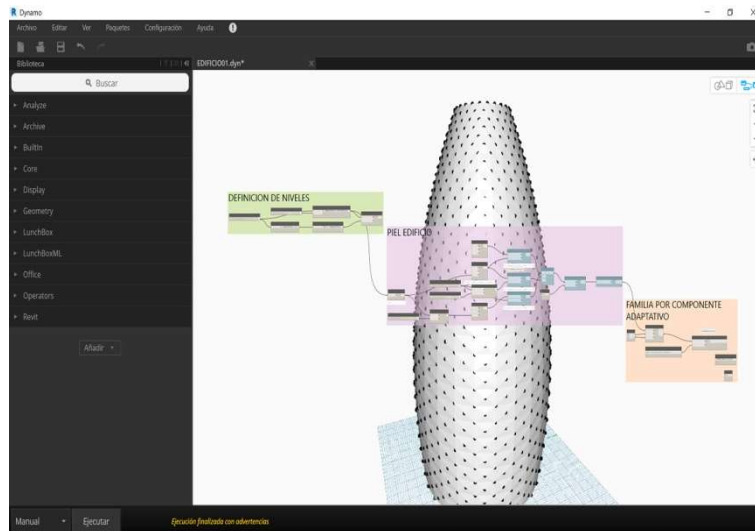


Fig. 3 Prototipo realizado en DYNAMO

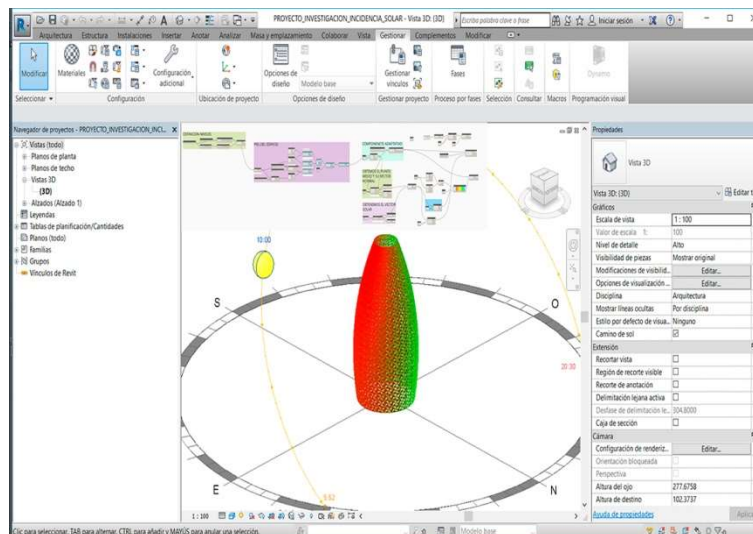


Fig. 4 Incidencia de la normal del sol sobre fachada de prototipo

2.2.3. Tercera fase

Se utilizarán los siguientes materiales:

- Una RASPBERRY Pi 3 B+.
- Sensor de Temperatura DS18B20.
- Resistencia de 5 K ohmios.
- Una placa BOARD.
- Tres cables de puente hembra y macho.
- Conexión a Internet.
- Teclado.

- Ratón.
- Pantalla con cable HDMI.

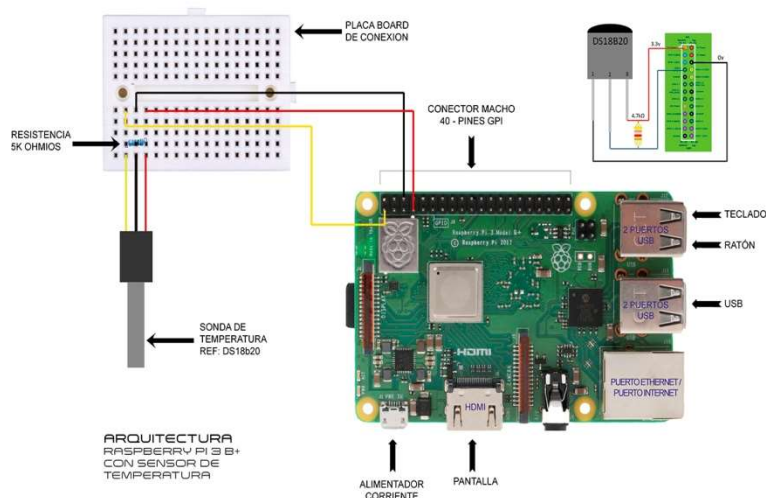


Fig. 5 Arquitectura de conexión de Raspberry Pi 3B plus con sonda de temperatura

Primero se conecta la sonda de temperatura a la BOARD, luego se conectan los cables puentes, prestando atención al cable de tierra, para que coincida con el cable del medio de la sonda de temperatura; se coloca en la BOARD una resistencia de 5 K ohmios. Esta resistencia conecta el pin derecho al pin del medio. Esto se denomina resistencia de extracción y se usa para garantizar que el pin central este siempre encendido. Posteriormente, se conecta el teclado, el ratón, el HDMI y la alimentación de energía a la RASPBERRY Pi, y se arranca desde el escritorio.

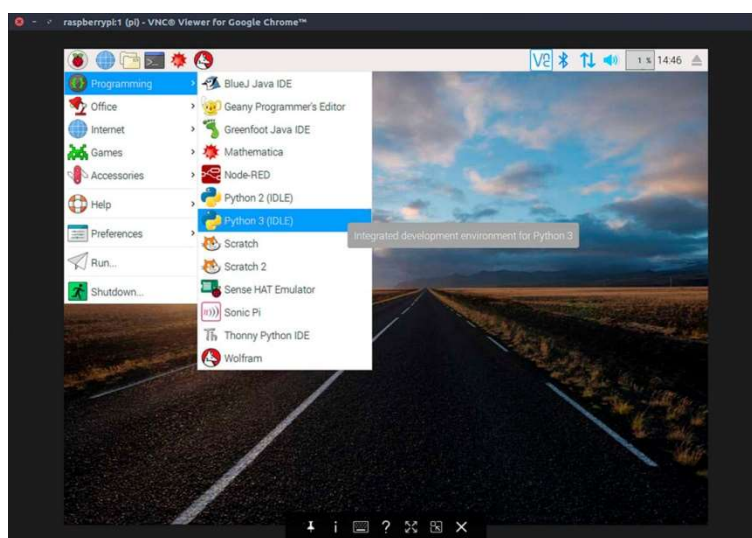


Fig. 6 Interfaz de la VCN-Raspberry Pi

Configuración de la RASPBERRY Pi: Se requieren dos pasos para habilitar la sonda de Temperatura.

Instalar biblioteca de PYTHON: Primero se debe instalar una biblioteca de PYTHON, código escrito previamente que permite el código de PYTHON esto nos permitirá poder comunicarnos con el sensor de temperatura. La biblioteca se llama w1thermsensor. Para instalarla, necesitamos usar la *Terminal*. Puede encontrar el icono del *terminal* en la parte superior izquierda de la pantalla.

Cuando se abra el terminal, ingrese lo siguiente para instalar la biblioteca, simplemente presione *ENTER* para comenzar.

```
sudo pip3 install w1thermsensor
```


Así se tiene la biblioteca de PYTHON. Cerrar la ventana de la Terminal.

Interfaz: El DS18B20 utiliza una interfaz serial de 1 cable, este es el pin central del sensor, que está conectado a la RASPBERRY PI a través del cable negro en el diagrama. Para comunicar la RASPBERRY PI con este pin y se usa la herramienta de configuración de la RASPBERRY PI, que se encuentra en el menú de *Preferencias*. Cuando se abra, haga clic en la pestaña *Interfaces* y luego haga clic en *Habilitar* para la interfaz 1-Wire. Ahora haga clic en *Aceptar* y se le pedirá que reinicie, al aceptar, dejará que la RASPBERRY PI se reinicie en el escritorio.

Escribiendo el código de python: Este proyecto recopilará la temperatura del sensor DS18B20 cada segundo o cada intervalo determinado (aquí, por ejemplo, con intervalos de cada segundo), y lo imprimirá en la pantalla. El código se ejecutará para siempre.

Para escribir el código usaremos el Editor de PYTHON 3 que se encuentra en el menú de *Programación*.

Cuando se abra la aplicación, haga clic en *Archivo >> Nuevo* para crear un nuevo documento en blanco. En esta nueva ventana, haga clic en *Archivo >> Guardar* y llame al proyecto *temperature-sensor.py*.

El primer paso en cualquier proyecto de PYTHON que utiliza bibliotecas es importar las bibliotecas que se desean utilizar. En este caso, se importa el tiempo para controlar la frecuencia con la que se recopilan los datos del sensor, y se importa *w1thermsensor* para permitir que el proyecto se comunice con el sensor.

```
import time
from w1thermsensor import W1ThermSensor
```

Sensor: Se debe crear un objeto para almacenar una conexión del sensor. Entonces, en lugar de escribir *W1ThermSensor()* cada vez que se quiera usar el sensor, se almacenará la conexión en un objeto llamado *sensor*.

```
sensor = W1ThermSensor()
```

Para obtener los datos del sensor de temperatura cada segundo y correr para siempre se usa un *bucle True* para ejecutar el código dentro de él para siempre.

```
while True:
```

El bucle, lo primero que debe hacer es obtener la temperatura actual del sensor DS18B20 y luego almacenarla en una variable llamada *temperatura*. Las variables son cajas / contenedores en los que se puede almacenar cualquier dato.

```
temperature = sensor.get_temperature()
```

Teniendo los datos, se imprimen en la pantalla usando la función *imprimir()*. Pero se utilizan los datos en forma de una oración que determine cuál es la temperatura en grados centígrados. Para esto se usa un truco de Python llamado *formato de cadena*: usamos *un%s* que formateará los datos de temperatura de un flotador (un número con un lugar decimal), a una cadena (texto, caracteres que pueden imprimirse pero no usarse en ninguna ecuación matemática).

```
print("The temperature is %s grados" % temperature)
```

La última línea de código PYTHON le indicará a la RASPBERRY PI que espere 1 segundo entre una lectura de temperatura.

```
time.sleep(1)
```

Listado de Código Completo: El código debería coincidir aproximadamente con este:

```
import time
from w1thermsensor import W1ThermSensor
```

```

sensor = W1ThermSensor()

while True:

    temperature = sensor.get_temperature()

    print("The temperature is %s grados" % temperature)

    time.sleep(1)
    
```

Por último se da a *guardar* en PYTHON y luego *ejecutar*.

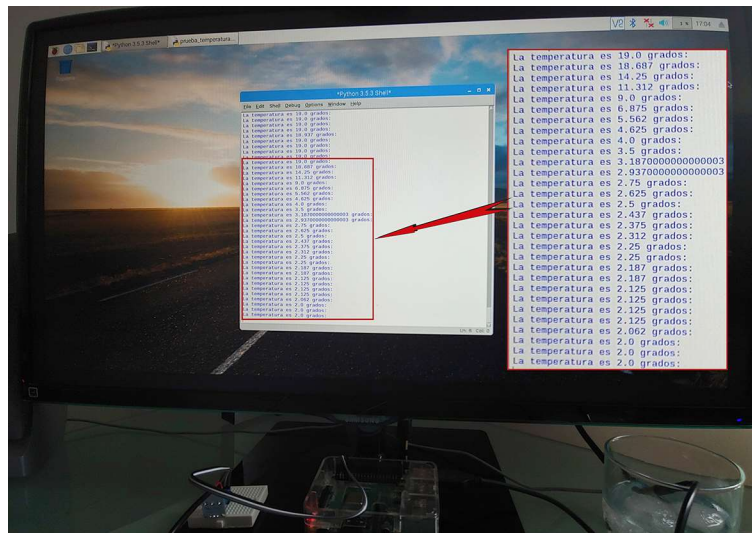


Fig. 7 Resultados en tiempo real con intervalos de un segundo (frío)

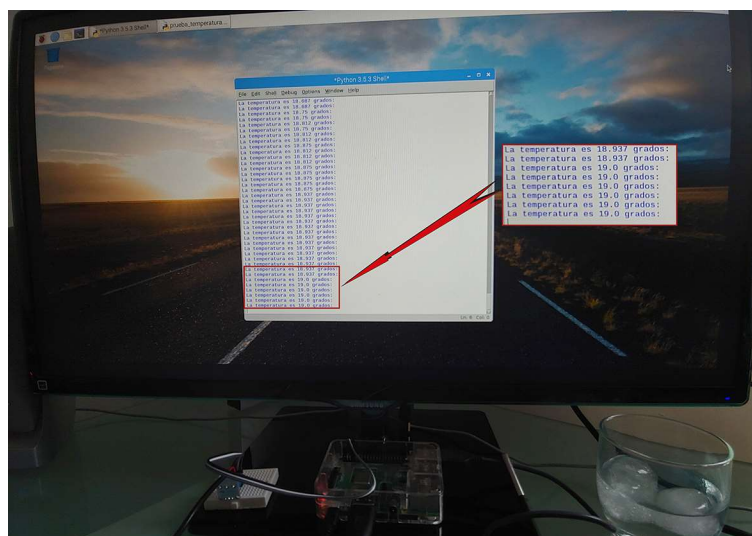


Fig. 8 Resultados en tiempo real con intervalos de un segundo (calor)

3. Discusión

La metodología BIM nos permite adelantarnos a los posibles problemas que se vayan a generar en el edificio. El objetivo de esta investigación es generar una solución de confort térmico para los usuarios de una edificación, sin incrementar la producción de CO2 y disminuyendo costos de construcción y mantenimiento del activo.

El modelo inicial que se escogió para esta investigación fue un prototipo virtual, pero el campo de utilización de esta tecnología pretende abarcar bien sea un modelo en sus etapas iniciales de diseño (masas

conceptuales), o bien un modelo con elementos constructivos detallados. En un modelo real, se debe incluir en la primera fase, un análisis de la composición de las capas de la envolvente del edificio, para hallar el coeficiente de transmitancia térmica, que en este modelo no se ha hecho.

Uno de los aportes de este proyecto, es el análisis en fase de pre-construcción, de las condiciones térmicas, tanto internas como externas, que afectarán al edificio en tiempo real, determinándolas desde las fases iniciales de diseño.

Para la primera fase, también se podría realizar el modelo con REVIT, donde el volumen del edificio está hecho con una masa por revolución y a través del cual se obtiene un volumen del prototipo no paramétrico. Sin embargo, REVIT no es compatible con PHYTON. Una de las limitaciones de este estudio, es que por ahora sólo se puede utilizar para un software de modelado.

En esta investigación, se ha decidido utilizar DYNAMO, ya que a través de la automatización de los árboles algorítmicos y la compatibilidad con el lenguaje de programación PHYTON, simplifica y concreta el proceso de lectura de temperatura en rangos de tiempo determinados, que serán la condicionante para la modificación de la fachada y los sistemas de climatización.

No obstante, la principal dificultad que se ha presentado en este estudio, es conseguir la adecuada comunicación entre DYNAMO y PHYTON, ya que al ser este último un lenguaje informático, es un área de conocimiento que no se maneja con frecuencia en arquitectura, así que la difusión de su implementación, implica una formación específica por parte del profesional a quien le compete.

La estrategia para extrapolar los resultados de esta investigación, es el uso de los BAS (Building Automation System), que integran diferentes tipos de disciplinas, para un control más fácil y exhaustivo de las sistematizaciones, con menores costos.

En una búsqueda de publicaciones, se encuentran algunos trabajos de facility (10, 11, 12), con integración de los sistemas IoT (Internet of things) y BIM. El que resulta más sugestivo es el de Kai-Ming y cols, en el cual se visualizan los datos de sensores en BIM en diferentes escenarios de un mismo recinto, con el fin de tomar decisiones complejas en facility, integrando información multidisciplinar.

Este proyecto, pretende crear una línea de investigación para el aprovechamiento de la integración de las disciplinas de programación con la información BIM. Futuros estudios pretenden integrar, por ejemplo, variables como la humedad del aire, que también puedan repercutir en la gestión de las instalaciones de un edificio.

4. Conclusiones

La contribución de los modelos paramétricos o prototipos virtuales, en cuanto a poder establecer o crear parámetros de una forma colaborativa, con todos los que actúan en la realización de un proyecto, y la conexión con los lenguajes de programación, nos abre muchas posibilidades de obtener información veraz y precisa de consumos, evolución, control de costes, producción de CO₂, etc. Dicha conexión hará todo este proceso más predecible, evitando desvíos económicos debidos malas decisiones en fases de pre-construcción y construcción, y/o a aumentos de costes durante el ciclo de vida del edificio.

La compatibilidad de programas de script visuales que permitan crear algoritmos personalizados con lenguajes de programación, unidos a los actuales softwares de modelado de información de construcción, pueden ser una prometedora herramienta para la optimización de procesos de edificación.

5. Referencias

ASOCIACIÓN DE CIENCIAS AMBIENTALES (2014) *Pobreza Energética en España. Análisis de Tendencias*. <<http://bit.ly/1B50iYL>> [Consulta: 09 de Diciembre 2018]

AZHAR, S. (2011). "Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risk and challenges for the AEC industry" en *Leadersh. Manag. Eng.* 11, p.241-252.

- GOLABCHI, A., AKULA, M, KAMAT, V. (2016) "Automated building information modeling for fault detection and diagnostics in commercial HVAC systems". *Facilities*, 34, p. 233-246.
- GRUPO DE TRABAJO SOBRE REHABILITACION-GTR (2014). *Estrategia para la Rehabilitación. Claves para Transformar el sector de la Edificación en España*. <<http://bit.ly/JisuRM>> [Consulta: 03 de Diciembre 2018]
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA -IDAE. (2011) *Evaluación del potencial de climatización con energía solar térmica en edificios*. <<https://www.idae.es/en/publications/evaluacion-del-potencial-de-climatizacion-con-energia-solar-termica-en-edificios>> [Consulta: 09 de Diciembre 2018]
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA -IDAE.(2016) *Bienestar térmico en un espacio climatizado*. <<https://www.idae.es/noticias/bienestar-termico-en-un-espacio-climatizado>>[Consulta: 09 de Diciembre 2018]
- INSTITUTO VALENCIANO DE LA EDIFICACIÓN (2011) *Propiedades de Aislantes Térmicos para Rehabilitación Energética*.<<http://bit.ly/1aJNjD3>>[Consulta: 23 de Diciembre 2018]
- KAIN-MING, C.; REN-JYE, D.; YI-JU W. (2018) "An Automated IoT Visualization BIM platform for Decision Support in Facilities Management". *Applied sciences*, 8, 1086; <doi:10.3390/app8071086>
- KENSEK, K.M. (2014) "Integration of Environmental Sensors with BIM: Case studies using Arduino, Dynamo and the Revit API". *Informes Constr.*, 66, 536.
- PLANELLES, M. (2018). "España debe reducir un tercio sus gases de efecto invernadero en poco más de una década" *El País*. <<https://elpais.com/politica/2018/07/09/actualidad>>[Consulta: 15 de Diciembre 2018]
- WORLD WILDLIFE FUND-WWF. (2010): *Potencial de Ahorro Energético y de Reducción de Emisiones de CO2 del Parque Residencial existente en España en 2020*.<<https://www.wwf.es/?40760/Potencial-de-Ahorro-Energético-y-de-Reduccion-de-Emisiones-de-CO2-del-Parque-Residencial-existente-en-Espaa-en-2020>>[Consulta: 03 de Diciembre 2018]
- WORLD WILDLIFE FUND-WWF. (2013.) *Proyecto "Mejora la Energía de tu Comunidad"* <<https://www.wwf.es/?24640/WWF-la-Fundacin-Biodiversidad-y-la-Fundacin-Reale-presentan-la-campaa-Mejora-la-energa-de-tu-comunidad>>[Consulta: 03 de Diciembre 2018]
- WORLD WILDLIFE FUND-WWF. (2015) *"Proyecto Piloto de Rehabilitación Energética de un Edificio Residencial en Madrid-Lecciones Aprendidas"* <<https://www.wwf.es/?33340/WWF-y-la-Fundacin-Reale-mejoran-la-calidad-de-vida-en-un-edificio-con-un-proyecto-piloto-de-rehabilitacin-energetica>>[Consulta: 03 de Diciembre 2018]

Blockchain implementation in AEC sector: issues and opportunities

Pattini, Giulia^a; Di Giuda, Giuseppe Martino^a; Seghezzi, Elena^a and Paleari, Francesco^a

^a Department of Architecture, built environment and construction engineering, Politecnico di Milano, Italy.
giulia.pattini@mail.polimi.it

Abstract

This paper aims to analyse in detail the national and international Blockchain level of implementation, focusing in particular on its adoption in the AEC sector. Due to the variety of disciplines involved, the construction sector has always suffered from lack of trust, incomplete sharing and transparency of information flow throughout the process execution. In this context, the progressive introduction of BIM has enabled the generation and management of project 3D models, encouraging the complete information sharing and the collaboration among project participants. However, this methodology raises a number of relevant issues such as the property and the incorruptibility of the model information, making the information reliability matter fundamental. In this context, the Blockchain implementation can provide a trustworthy infrastructure for information management during the design, tender and construction phases. This research intends to investigate the execution of public procurement through the integration and the use of Blockchain technology. The main objectives are the analysis of every single phase of the construction process, the identification of the primary problems in terms of information sharing and consequent loss of time and costs and finally the demonstration of how the use of the Blockchain methodology allows to contain and solve all these issues..

Keywords: Blockchain, Smart Contracts, public tender, BIM, information trust, information immutability.

Resumen

El objetivo de este documento es analizar en detalle el nivel de implementación nacional e internacional de la Blockchain, centrándose en su adopción en el sector AEC. Debido a la variedad de disciplinas, el sector de la construcción siempre ha sufrido de falta de confianza y transparencia en el flujo de información durante el proceso. La progresiva introducción de BIM ha permitido la generación y gestión de modelos 3D de proyectos, fomentando el intercambio de información y la colaboración entre los participantes. Esta metodología plantea cuestiones relevantes como la propiedad y la incorruptibilidad de la información del modelo, por lo que la fiabilidad de información es fundamental. En este contexto, la implementación de Blockchain puede proporcionar una infraestructura fiable para la gestión de información durante las fases de diseño, licitación y construcción. Esta investigación considera la ejecución de contratación pública a través de la integración y el uso de la tecnología Blockchain. Los objetivos principales son el análisis de las fases del proceso de construcción, la identificación de problemas principales en términos de compartir información y la consecuente pérdida de tiempo y costes y la demostración de cómo el uso de la metodología Blockchain permite contener y resolver todos estos problemas.

Palabras clave: Blockchain, Smart Contracts, licitación pública, BIM, confianza de información, inalterabilidad de información

Introduction

Thanks to its ability to revolutionize international markets, Blockchain can be considered as the main technology characterizing the digital transition currently observed within the most advanced world economies. Blockchain is a methodology capable of managing contracts and transactions through which assets are organized and guarded, social actions are governed and relations between nations, institutions and individuals are guided (Shen and Pena-Mora 2018). The performance of a good construction process requires trust among the operators, the implementation of BIM models has fostered the project information exchange and collaboration, however the reliability and the transparency of each transition aren't always guaranteed. Despite the innovative digital approach to the process, in a complex and growing construction sector the maintenance of trust among stakeholders is difficult, the links are too complex hindering the information sharing with consequent waste of time and process costs (Institution of Civil Engineers 2018). In this dynamic context, Blockchain stands as a solution ensuring a transparent information distribution among the participants of the network by diverting the control of information by a single subject.

1. Blockchain technology

The Blockchain as a Distributed Ledger Technology (DLT) is a distributed data logging and maintenance system that depends on and is ensured by the *consensus mechanism* implemented by the agents. The autonomy and updating of the information contained in the blocks are in fact subject to verification and authorization by all participants (Garzik and Donnelly 2018).

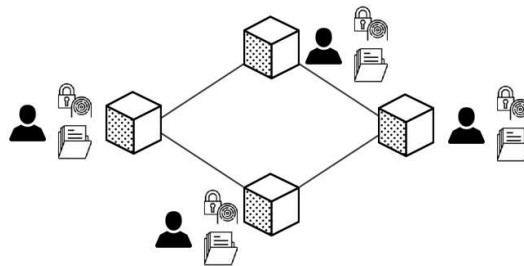


Fig. 1 DLT organization

1.1. Structure and main features

To better understand how Blockchain applications work, it is useful to outline their structure, consisting of a chain of blocks that develops within a distributed database - public ledger - on which are recorded series of operations encrypted in time sequence. Each block represents a link in the chain, initially completed and validated with information on the operations received and then closed and characterized by its own identification code, thus being unchangeable. Each new block is located at the top of the chain and contains the identifier of the previous block, thus creating a database of all operations in chronological order. The Blockchain can be defined as a system that allows the acquisition of a certain data in computer format, making it true and unchangeable without the control of a third authority. The information recorded on the Blockchain is therefore verified, controlled and validated by the entire network, and not by a third-party through the *consensus mechanism*. The distributed database prevents the structure alteration and the content violation because the same information entered and validated in the chain are distributed, then stored in all nodes that compose it. The decentralized system based on *consensus mechanisms* gives participants the autonomy to evaluate and approve the data entered in the chain, thus making unnecessary the presence of a third figure to verify the data value (Kshetri 2017).

Given the recent spread of technology, its correct implementation is achieved identifying the areas in which the application of the Blockchain is convenient. The main benefits offered by the use of technology can be summarized in:

- Intermediaries elimination;
- Information inalterability;
- Information traceability.

Despite the advantages that the use of Blockchain technology offers, it is worth considering that its youth will lead in the coming years to conflicting debates about the its real applicability and usefulness. The challenges and obstacles in the Blockchain implementation that can be detected today are not only of a technical nature but involve several areas, including man as a subject who decides to adopt this new technology, the national economy that must support the digital transition and the institutions that must regulate the transition itself. Identifying in advance the limitations allows to study possible countermeasures before the actual use of the technology. The main limitations that influence the use of technology can be identified in:

- Innovative technology;
- Digitalized asset;
- Operators education.

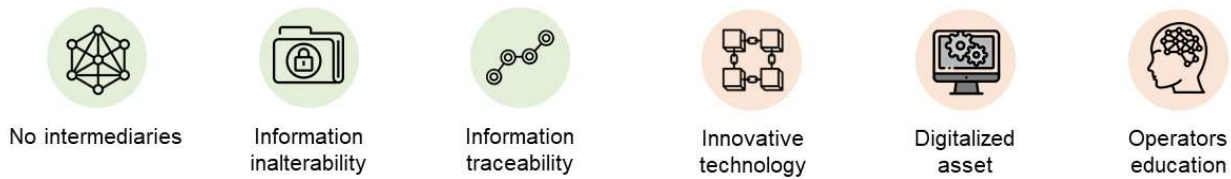


Fig. 2 Blockchain benefits and limitations

While Blockchain could solve some of the issue that arise with the use of BIM, one of its protocols has the potential to revolutionise the relationship between construction projects and to establish longstanding contractual procedures. The Blockchain as a DLT technology supports different digital transition protocols: thanks to its programmable nature it allows the proper use of Smart Contract, i.e. contracts written in code capable of executing the clauses established and shared by the contracting parties automatically and independently. This technology highlights the traditional contract system revolution where the parties draft the essential terms of the agreement through a descriptive language. The implementation of Smart Contract instead promotes the representation of clauses in the form of structured data executable by means of computer protocols with a high degree of accuracy compared to those defined by traditional language. Smart Contract protocol allows the legislative, IT and financial fields to be combined in an original way, modelling the traditional idea of contract law (Giancaspro 2017).



Fig. 3 Smart Contract based on Blockchain main features

2. Actual Blockchain implementation

Despite the various obstacles that the adoption of technology must consider, thanks to its nature Blockchain supports lean processes, i.e. the respect of time, cost and quality, the reliability of data and the streamlining of activities. The distributed validation mechanism and the sharing of reliable information encourages participants to be more accountable for their work (Kshetri, 2018). Thanks to the features offered by Blockchain recent surveys have focused on assessing the impact caused by the adoption of technology within different industries (Carson et al. 2018).

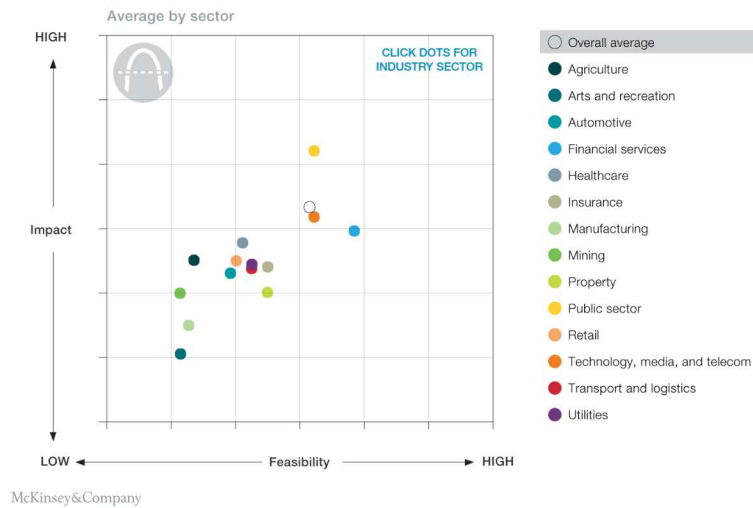


Fig. 4 Blockchain opportunities by industrial sector. Source: McKinsey, (2018)

Together with private industrial sectors, many public administrations are taking an interest in the technology implementation within their own processes in order to improve the way they manage urban contexts. Many cities and nations around the world are supporting Blockchain initiatives, setting goals and pursuing approaches that keep up with technology. Although various sectors are now exploring and testing Blockchain applications in their processes, its investigation in the construction sector is still meager and at a conceptual level (Mason 2017).

2.1. AEC sector

Given the increasing construction projects complexity – sets of processes, products and materials – both the change in project management technologies and the creation of an information sharing environment are necessary to support activities. Traditional information sharing methods can in fact hinder the sector evolution as they negatively influence three fundamental aspects of the process:

- Trust among participants;
- Supply chain control;
- Asset management.

Considering the process nature and the critical trend that has characterized the construction sector in recent years, a research carried out within the Italian context has identified the main factors that currently hinder proper management of the process and consequently the results that can be obtained (European Commission 2017). These critical aspects can be summarized in:

- Productivity decrease;
- Demand reduction;
- Time and cost excess;
- Contract fragmentation and variation.

The multidisciplinary and the number of participants in the construction process makes it difficult to manage and resolve the above limitations. Communication among the various work areas and their operators, due to different interests and approaches, can be overshadowed to the detriment of compliance with the overall process objectives. A collaborative approach to the construction process allows a positive departure from the usual procedures with consequent limitations containment or overcoming. In this context, it is legitimate to believe that fair communication between operators can favor the implementation of the contract activities and the consequent compliance with the clauses predefined in it (Hsiao 2016).

The digital transition that has recently influenced the construction sector procedures has allowed to modify and evolve the communication methods between the project participants. While in the past the contractor was the main custodian of the documentation, the current BIM approach to the project guarantees the digital

information exchange, offering a single database containing all the data created and shared by the operators during all phases of the construction process.

3. BIM implementation

The digital transition involving the construction sector is characterized by the implementation of different tools and modeling software that support an efficient drafting of the project and an interactive documents and construction phases control. As mentioned in the previous paragraph, the most significant innovation is represented by Building Information Modelling, which acts both as a guarantor of integrated processes between participants and as a database containing all the digital information of every aspect of the building. Most of the planning and design activities are now fully digitized and the information associated with them is structured through the BIM technology which in this way induces a significant change in both the approach to the construction process and to the execution of each activity (Di Giuda and Villa 2016).

3.1. Structure and main features

Considering what has just been said, BIM is much more than an asset digital model because it defines the modalities with which the model is integrated in the general construction system, the procedures through which information is added or extracted from the same and the creation, use and management criteria of the informative model.

Despite the fact that in the last ten years there has been a significant spread of BIM methodology use, the actual potential offered by it has yet to be reached. The information quantity and level of detail present in the model vary according to the project type and the construction sector in which it operates. The model levels are in fact distinguished by the assignment of dimensions associated with the model itself; currently five dimensions are identified starting from the 3D dimension that gives the model geometric information, up to the 7D dimension that assigns data relative to the building state of performance for monitoring the entire life cycle efficiency (Institution of Civil Engineers 2018).

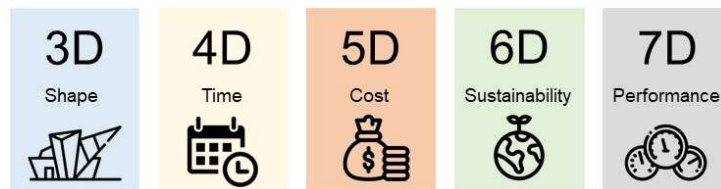


Fig. 5 BIM dimensions

Thanks to the above characteristics it is possible to understand the divergence between the digital and the traditional approach. In the last, project information – technical and legal nature – is collected in sheets signed directly by the authors, while in a BIM process all the information is contained in the model composed of all the elements associated with parameters related to the geometric, physical and maintenance characteristics. The creation of such a digital database facilitates the information sharing among participants who can refer to a single source of information, identify and consult the desired documents and check the work progress at any time. The BIM methodology implementation and the development of its dimensions allows to manage in a transparent way all the project significant information and avoid the frequent disputes and contentious emergence in the construction processes often caused by a partial sharing of information.

Despite the above advantages, recent research has questioned the actual effectiveness of the technology, highlighting some limitations to be taken into account when implementing a BIM process (Turk and Klinc 2017). Some of the problems consist in the impossibility to define:

- Model properties;
- Right of modification;

- Error responsibility;
- Intellectual property of information.

Although the progressive use of the BIM methodology and related supporting technologies has significantly renewed and improved the usual procedures pursued in the construction sector, the issues not yet resolved make it legitimate to assume an integration between the BIM and Blockchain in order to overcome the limitations previously identified.

4. Integration between BIM and Blockchain

Considering BIM methodology as a shared database among the project participants aimed at exchanging information on each process phase, it is fair to assume the activities of sharing, managing and recording data by means of an information model supported by the Blockchain (Turk and Klinc 2017). The sharing information digital register offered by the technology ensures the data reliability, integrity and transparency by fostering loyal cooperation and trust between operators. The Blockchain implementation within the construction process is able to solve and overcome the potential limitations encountered during the execution of a BIM process.

Since both the BIM approach and the Blockchain technology are based on the creation and management of a single source of information related to the process, it is legitimate to assume and investigate how to integrate them during the execution of the construction process, from the design to the building lifecycle. Due to the comparison and coordination of multiple disciplines, construction projects are often characterized by a large amount of data that can be stored in the BIM model and ensured from the point of view of reliability and transparency if stored in the shared register offered by Blockchain. The combination of the information model and the distributed digital database makes it possible to create a single effective shared source of information relating to the project, considered therefore as the only source of truth that guarantees the reliability of the data, the congruence of the sources of information and the identity of the subjects responsible for the activities.

In this innovative context, the project BIM model is therefore the only source of information accessible and consultable by all participants. The information in it is reliable and unchangeable, in a similar process execution the use of Blockchain technology further strengthens the development of the BIM model, ensuring a feeling of trust between operators. Since any information stored in the Blockchain database is traceable and unchangeable, time wasted and redundant verification of shared data due to frequent lack of trust among project participants are eliminated.

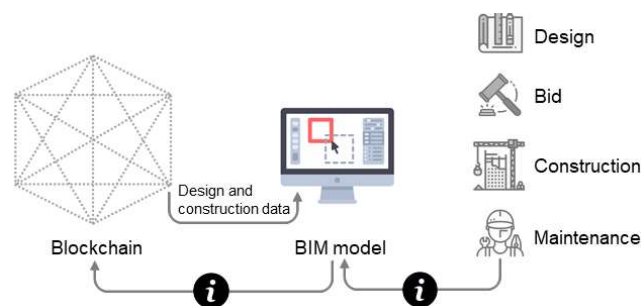


Fig. 6 BIM+Blockchain coordination

4.1. Benefits in construction process

The potential offered by the use of Blockchain allows to remove the limitations that have recently discouraged the creation of the BIM model such as reliability, traceability, disintermediation, recording of changes and data ownership. It is therefore possible to highlight the main benefits that can be obtained through the joint use of BIM and Blockchain.

4.1.1. Collaborative environment creation

Coordination between the BIM model and the distributed database containing all process information such as design decisions, verification, procurement and information sharing during construction operations ensures the creation of a single, reliable and unchangeable register. This construction process source of information establishes a collaborative environment among all participants and defines transparently the responsibilities and duties of each, reducing or eliminating the emergence of any misunderstandings and subsequent conflicts between the parties. Undoubtedly, the implementation of Blockchain technology within a construction process pursued through a BIM approach introduces a feeling of trust inherent in the system: the archiving and traceability of every decision and every project change allows to create a cooperative environment.

4.1.2. Intellectual properties preservation

In addition to supporting the creation of a collaborative environment, the distributed database allows to store and trace the information intellectual property contained in it and entered by each party of the process. Thanks to the collaboration created, it is possible that the research and work activities lead to the creation of new products or services, which are often limited for fear of not being able to associate the rights related to their designer. This happens to the ideas and information included in the BIM models where the integration of Blockchain can act positively as a register in which the copyrights of any innovative contribution or project modification are stored, stimulating operators to disseminate such ideas in other projects.

4.1.3. Smart Contract execution

If the two benefits illustrated above are mainly attributable to the design phase, the implementation of Smart Contract associated with the evolution of the BIM model is also relevant during the construction phase. The simultaneous progress between the BIM model and the execution of Smart Contract makes it possible to automate all the delivery phases. By its nature Smart Contract allows for economic transition when the predefined criteria are met, i.e. when the requirements of the contracting parties are met.

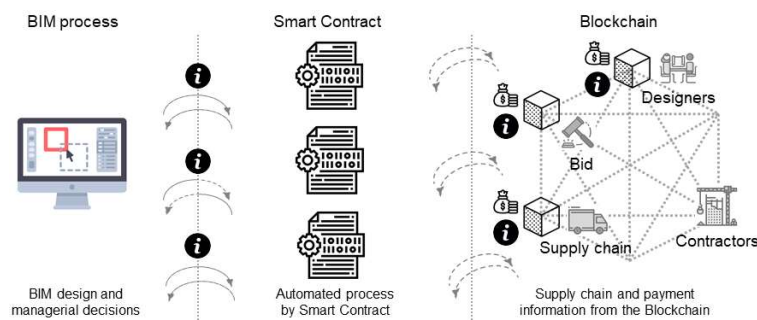


Fig. 7 BIM enables Blockchain technology

The relationship among the parties involved in the whole process is often characterized by the presence of asymmetrical information during the design, tender, construction and management phase, generating conflicts and mistrust with consequent impediments to the contract execution. For these reasons, the integration between the BIM model and the Blockchain illustrated so far is useful in making the activities carried out during the process explicit and visible, highlighting the honesty of those who act. Considering the benefits, various public administrations, including the Italian one, are committed to understand the potential uses of the Blockchain in order to eliminate and manage in an optimal way the traditional criticalities.

4.2. Implementation in contract execution

The BIM model development based on a distributed digital register, updated and modified with the contract execution progress, allows to archive all the transitions made by drawing up a non-modifiable chronology of all the construction process stages. The Blockchain properties, guaranteeing the unchangeability of the data and the presence of a widespread control of every single step of the procedure, are therefore well disposed to face the waste of time and cost due to the lack of trust and the absence of a transparent sharing of information between the participants in the different process stages.

The possible uses and therefore the advantages that can be obtained through the BIM model development to support all the contract execution phases - design, commissioning, construction and management of the asset - based on the distributed database Blockchain are highlighted below.

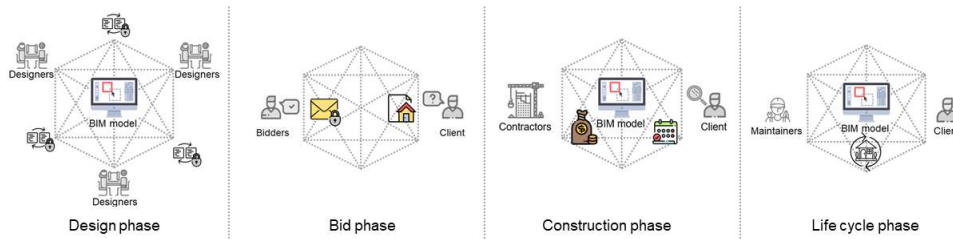


Fig. 8 BIM+Blockchain in contract execution phases

4.2.1. Design

The design levels preparation based on BIM methods allows to share and exchange all the project information through a single digital platform. The integration of these digital methods with the shared Blockchain database allows to create a truly collaborative process that limits the gap between digital information modeling and the management of project information - administrative, financial, insurance - typically expressed in sheets. The possibility of associating automatic payments to the data present in the model through the use of Smart Contract guarantees an exhaustive implementation of the engineering and architecture service contracts and therefore the respect of the requests expressed by each person involved. In this regard, the usual BIM model is no longer considered as a central data sharing environment based on a cloud platform governed by a third party, but rather as a peer-to-peer data exchange environment in which each participant can define and control the ownership of information in an immutable way.

4.2.2. Bid

Due to the frequent ambiguities that arise during tender procedures, the presence of a distributed ledger in which all information is stored in a transparent, permanent and accessible manner helps to contain any doubts. The digital tools implementation provided by the distributed platform, characteristic of the Blockchain technology, would make it possible to store in an immutable way all the main tender documents: that is, the information models presented both by the client and by the bidders.

The procedure described above guarantees the immutability and transparency of the tender documents published by the client. The procedures and criteria for evaluating the bids are accessible to all participants, making the reasons for the award explicit and eliminating any possible operational ambiguity. In the same way, the tenderers bids are also deposited in an unchangeable way on the distributed register, the client can access them only at the end of the reception phase, thus ensuring effective competition and giving all participants the opportunity to observe all the bids and to analyze them compared to the predefined award criteria.

4.2.3. Construction

The 4D and 5D dimensions model development allows to update and monitor the construction phase progress, the BIM model representing the site allows to understand the actual works state and the

continuous progress information storage allows to understand the causes and trace those responsible in case of delays or budget excess. In this way, the client can control the actual activities progress and the sharing of information relating to the construction site is immediate and transparent.

The Blockchain use during the construction activity is also useful in controlling the supply chain: materials that arrive at the site are traced along the entire route and therefore in case of defects or delays you can consult each stage of processing that was recorded on the Blockchain database and then connected to it internally to the BIM model (Kouhizadeh and Sarkis 2018).

Finally, the record of both supplies and work status information allows the Smart Contract to be performed correctly. The connection between the information model, i.e. the activities progress, and the computational contract allows automatic payments to be issued whenever the milestone set by the work program is reached.

4.2.4. Life cycle

Once the endeavour is completed, it is possible to create the as-built model of the building containing all the information relating to each component actually built. Through the entire asset life cycle, the BIM model implementation based on Blockchain facilitates the satisfaction of the circular economy principles (Marzouk, Azab, and Metawie 2018). Some building component data collected during the construction phase and stored in the distributed registry can support future maintenance, replacement and dismission activities during the operational phase. The constant components conservation and maintenance state updating makes it possible to use the BIM model as a database of materials and therefore to facilitate a considerable reduction in waste.

In addition, in the presence of plant terminals equipped with smart interfaces, it is possible to envisage the execution of Smart Contract for maintenance work on plant devices in the building. Once the intervention has been carried out, in fact, the maintenance technician can insert the activity carried out into the machine, which confirms the fulfillment of Smart Contract clauses, releasing automatically the payment.

Considering this preliminary analysis of the integration of the BIM approach and Blockchain technology in the development of procurement process, it has been realized that one of the most encouraging prospects offered by technologies is the reduction of information asymmetry between all contracting parties. The data definition, updating and validation by the participants allow them to access and consult, throughout the entire process, complete and truthful information thus increasing mutual trust. Such a technological enhancement would ensure that operators have a transparent understanding of the procedures for the award of contracts and that the client has a reliable check of the data relating to competitors, their offers and commitment.

5. Conclusion

The topics discussed in this paper demonstrate how the integration of the BIM model and Blockchain technology can offer benefits and add value to the main stages of contract execution. The BIM model can either incorporate information from Blockchain distributed ledger, such as material properties, supply documents or status, or send to Blockchain information about model changes that need to be updated and used later in the execution of Smart Contract, for the automatic release of payments or the definition of new supply orders (Carson et al. 2018). The construction sector has always been characterized by aspects that, due to ambiguity or incompleteness, often generate conflicts during the contract execution. The absence of a truthful and complete information exchange among the participants, the lack of responsibility, origin and tracking of information, the sporadic recording of changes and the difficult disciplines interoperability facilitate the emergence of misunderstandings, discussions and disputes among participants influencing in a negative way the progress and the results in terms of time and cost compliance.

Faced with these criticalities, the potentials offered by the Blockchain and BIM model development allow to address and govern positively the aforementioned problems thanks to applications that allow to streamline and improve the contract management, ensuring transparency in the information sharing and traceability.

Unlike some industries, the construction sector has not yet developed an effective digital ecosystem and investments in new technologies. In the presence of a constant increase in project complexity, the promising integration between Blockchain technology and BIM is a key step in the sector progress. Blockchain technology is here and although it is at an early stage of development with many challenges it presents a relevant opportunity for all companies in the construction industry to emerge as more effective, transparent and sustainable entities (Institution of Civil Engineers 2018).

6. Future developments

Thanks to the topics covered, it has been demonstrated that the adoption of new technologies is able to revolutionize the contract execution practices. The Blockchain technology can in fact guide a lean construction process, by reducing the industry fragmentation and complexity, making it a single trusted entity. The integration of the BIM model and Blockchain technology creates a single source of true information about all aspects of the process, giving the digital project model the only reliable tool to support the development and management of all phases of the construction process - from the design phase to the operation along the whole lifecycle (Wang et al. 2017).

Given the innovative nature of the technologies presented, it is not possible to think that professionals linked to tradition can rely with simplicity to a digital system that, based on protocols and codes, is able to manage and execute independently the contractual clauses. What is evident, is that construction industry stakeholders need to think about these issues and together develop the best possible tools and procedures to address them. In order to facilitate the adoption and integration of these technologies the change of mentality and training are necessary since the intellectual and technological leap required is significant and may not be shared and approved initially by the community. The construction sector is one of the largest industrial sectors in the world and its structure is the foundation for economic growth and productivity. It is therefore essential to support and facilitate the digital transformation of processes in order to adapt and prepare the practices of the sector for further and possible future digital challenges.

7. References

- CARSON, B., ROMANELLI, G., WALSH, P. and ZHUMAEV, A. (2018). "Blockchain beyond the Hype: What Is the Strategic Business Value?" *McKinsey & Company*, no. June: 1–19. <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/blockchain-beyond-the-hype-what-is-the-strategic-business-value>.
- EUROPEAN COMMISSION (2017). "European Construction Sector Observatory - Country Profile: Italy" 39 (2): 175–78. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2008.02.007>.
- GARZIK, J. and DONNELLY, J., C. (2018). "Blockchain 101: An Introduction to the Future." In *Handbook of Blockchain, Digital Finance, and Inclusion, Volume 2*, 179–86. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812282-2.00008-5>.
- GIANCASPRO, M. (2017). "Is a 'Smart Contract' Really a Smart Idea? Insights from a Legal Perspective." *Computer Law and Security Review*. <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2017.05.007>.
- DI GIUDA, G., M. and VILLA, V. (2016). *Il BIM. Guida Completa Al Building Information Modeling per Committenti, Architetti, Ingegneri, Gestori Immobiliari e Imprese*.
- HSIAO, J., I-H. (2016). "Smart Contract on the Blockchain - Paradigm Shift for Contract Law?," no. 685–694. <https://doi.org/10.17265/1548-6605/2017.10.002>.
- INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS (2018). "Blockchain Technology in the Construction Industry," no. December.
- KOUHIZADEH, M. and SARKIS, J. (2018). "Blockchain Practices , Potentials , and Perspectives in Greening Supply Chains." <https://doi.org/10.3390/su10103652>.
- KSHETRI, N. (2017). "Blockchain's Roles in Strengthening Cybersecurity and Protecting Privacy." *Telecommunications Policy*, 1027–38. <https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.09.003>.
- MARZOUK, M., AZAB, S. and MAHMOUD, M. (2018). "BIM-Based Approach for Optimizing Life Cycle Costs of Sustainable Buildings." *Journal of Cleaner Production* 188: 217–26. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.280>.

MASON, J. (2017). "Intelligent Contract and the Construction Industry." *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction* 9.

SHEN, C. and FENIOSKY, P., M. (2018). "Blockchain for Cities - A Systematic Literature Review." *IEEE Access*, 1–33. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2880744>.

TURK, Z. and KLINC, R. (2017). "Potentials of Blockchain Technology for Construction Management." *Procedia Engineering* 196 (June): 638–45. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.052>.

WANG, J., WU, P., WANG, X. and SHOU, W. (2017). "The Outlook of Blockchain Technology for Construction Engineering Management." *Frontiers of Engineering Management* 4 (1): 67. <https://doi.org/10.15302/J-FEM-2017006>.

Post-occupancy evaluation and BIM methodology: a state of the art of predictive information for building management system

Pellegrini, Laura^a; Di Giuda, Giuseppe Martino^a; Schievano, Marco^a y Locatelli, Mirko^a

^aDepartment of Architecture, built environment and construction engineering, Politecnico di Milano, Italy
laura2.pellegrini@mail.polimi.it

Abstract

This research aims at investigating the application of Post-Occupancy Evaluations (POE). The operational phase has the maximum impact on costs during the life of a building. It is essential to optimize building performances during this phase to ensure functionality and efficiency. POE are mainly used to define energy performances, but other aspects have impacts on functionality and consumptions: effective occupants' behaviour, usage models and supplies planning. The application of POE on existing buildings can provide information on actual uses, supply needs and users' behaviour. The goal of this paper is to provide a complete state of the art about POE fields of use and tools currently used to perform POE combined with BIM methodology. A literature review in national and international contexts can find opportunities and weaknesses about current uses of POE. A main aspect is the large amount of data collected during POE. The research intends to explore the potential application of IoT sensors and Machine Learning techniques to POE. Further developments are the application of POE to bridge the gap in the process of digitalization of the operational phase, providing predictive information for building management.

Keywords: Post-occupancy Evaluation; operational phase; IoT sensors; Machine Learning; digitalization; performances optimization.

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo la aplicación de las Evaluaciones de Post-ocupación (POE). La fase operativa tiene el máximo impacto en costes durante la vida útil de un edificio. Es esencial optimizar las prestaciones durante esta fase para garantizar funcionalidad y eficiencia. Los POE se utilizan principalmente para definir el rendimiento energético, pero hay otros aspectos que influyen en la funcionalidad y los consumos. La aplicación de POE en edificios existentes puede proporcionar información sobre los usos reales, las necesidades y el comportamiento de los usuarios. El objetivo de este trabajo es proporcionar un estado del arte sobre los campos de uso de POE y las herramientas utilizadas para realizar POE en combinación con metodología BIM. Una revisión de la literatura en contextos nacionales e internacionales puede encontrar oportunidades y debilidades sobre los usos actuales de POE. Un aspecto principal es la gran cantidad de datos recopilados durante POE. La investigación pretende explorar la aplicación potencial de los sensores de IO y las técnicas de aprendizaje automático a los puntos de entrada. Otras novedades son la aplicación de POE en el proceso de digitalización de la fase operativa, proporcionando información predictiva para la gestión de edificios.

Palabras clave: Post-occupancy Evaluation, fase de operación, sensores IoT, Machine Learning, digitalización, optimización del rendimiento

Introduction

During the life of a building, costs associated with the management phase have a significant impact on the total cost of the building life cycle. Several analyses carried out since the 1990s established a ratio of 1:5:200 over the life of a 30-year-old office building, in relation to construction, maintenance and operating costs respectively (Wu and Clements-Croome 2007; Evans et al. 1998). It can be seen that the operational and use phase has a significant impact on the costs over the life cycle of a building.

It is necessary to optimise the process of building management during the operational phase in order to ensure functionality and efficiency of buildings. The optimization of this phase could result in several advantages:

- savings in operating costs;
- efficient building management;
- functionality of the building;
- increased satisfaction of users.

It is clear that efficiency and functionality of an organization can be strongly influenced by a space (Zimmerman and Martin 2001). In terms of costs, energy and time, as well as in terms of resources, the way occupants use spaces can produce higher consumption. This can lead to additional costs in terms of building management or to lower quality of the available services and resources, resulting in low user satisfaction. Unless these aspects are managed, it is even hard being aware of the possible damages in terms of quality or higher costs. Traditionally more emphasis is given to monitoring compliance with requirements and objectives in the design and construction phases, reducing the gap between expected and actual quality. During the operational phase, the actual quality is not often checked. In most cases the building is a prototype of itself with regard to the actual use (Zimmerman and Martin 2001).

Leaman et al. pointed out the experience of AEC industry specialists in the design and construction phases. However, despite the shared belief of even government, they are neither interested in usage patterns of buildings in use nor in the analyses of building performance and weaknesses, once occupied (Leaman et al. 2010).

Unlike usual practice, RIBA's first handbook (1965), within the final stage of the "Plan of work", focuses on feedback. This evaluative process was regarded as "the most cost effective way of improving service to future clients" (Royal Institute of British Architects (RIBA) 1965; Cooper 2001). Despite this, the evaluation of feedback, once the building is used, is not yet widespread.

In this context, post-occupancy evaluations (POEs) can be a means of improving the above issues. POEs are "examinations of the effectiveness for human users of occupied design environments" (Zimring and Reizenstein 1980). As a matter of fact POE has been occasionally called "building-in-use-studies" (Preiser 2010). The POEs have the following peculiarities (Leaman et al. 2010):

- They are used to solve problems.
- They provide predictive data, not just the causes of a phenomenon or result found.
- They collect robust data, not just statistical data, on usage patterns.
- They can be applied to real cases; they are not limited to scientific experiments.
- They need the cooperation of the users and occupiers.
- The lower the costs and the shorter the application time, the better; even better considering users' discomfort POEs can produce.

The aim of this work is to provide a brief review to evaluate and clarify the state-of-art about post-occupancy evaluations. A systematic approach has been adopted to review related publications in order to identify what POEs are and what they are used for. After an analysis of drivers and barriers to the dissemination of POE, a review is given to highlight research gaps and possibilities for future research and development.

1. Historical background

The first step of this research is the identification of needs that first led to the use and definition of evaluations. This made it possible on the one hand to assess the driving factors and, on the other hand, the obstacles to the widespread use of POEs.

Historically, the performance of buildings has been assessed informally and lessons learned have been applied in the subsequent construction cycle of a similar structure. Building specialists had multiple skills ranging from architectural, aesthetic, technical knowledge to the information about the future use of the building. Due to relatively slow changes in the evolution of building types in the past, knowledge about their performance and use has been passed on from one generation of building specialists to the next. (Preiser 2010)

Nowadays, there is a multitude of building specialists taking part in the building life cycle. Each of them has its own targets to achieve and requirements in terms of building performance, as well as outlook, technical language and incentives to achieve their goals. At the same time, clients are placing ever-increasing and different demands on buildings (Preiser 2010). Besides this, it must be considered that in many cases the requirements of clients and specialists involved in the design and construction phases are different from users' needs (Zimmerman and Martin 2001).

As shown above, before the building is used, it is hard to define whether the building features and performance ensure its functionality and efficiency, as well as user satisfaction.

For this purpose, the first applications of the POEs started in the 1960s for performance analyses of large government facilities with a perspective on occupants needs and satisfaction (Preiser 2010). The major development of these methodologies in terms of theory and strategy was carried out from the 1980s, as a tool for facility management and design.

In the next sections, drivers and barriers related to POEs uses are presented, with the aim of understanding their still limited application to buildings' life cycle phases.

2. Drivers

2.1. Continuous improvement

POEs can provide large amount of data relating to actual uses of spaces, supply needs and users' behaviour: these aspects have strong impacts on functionality and consumptions of a building (Bento Pereira et al. 2016). From an architectural perspective, the Royal Institute of British Architects defined POE as "a systematic study of buildings in use to provide architects with information about the performance of their designs and building owners and users with guidelines to achieve the best out of what they already have" (Royal Institute of British Architects (RIBA) R.S.G. 1991).

This means that POEs can provide valuable information for the continuous improvement of the building operational stage, the short-term benefits from POE application as defined by Preiser (Zimmerman and Martin 2001; Preiser 2010).

Among the main benefits, the analysis of POE data can indeed produce valuable information to provide predictive information (Leaman et al. 2010) for building management during the operational phase. The facility manager can define the usage pattern of the building, thereby defining accurate and specific management plans.

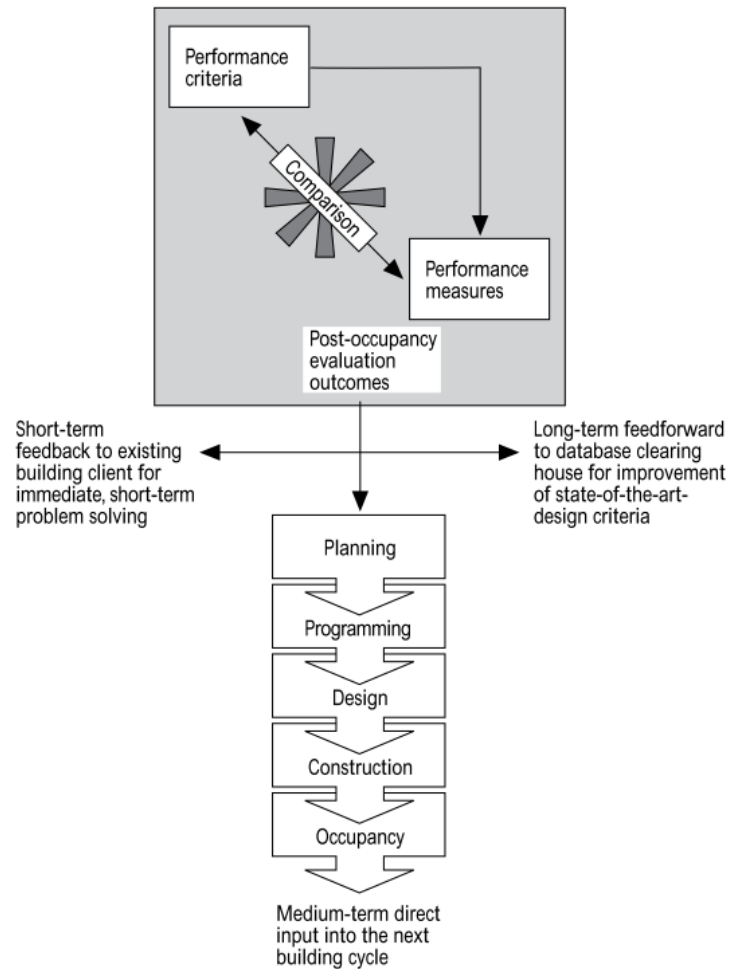


Fig. 1: Short-term, medium-term and long-term benefits of POEs. Reference: Preiser, W.F.E. (2010)

2.2. Increased user satisfaction

Data collected from POEs are valuable to designers and building specialists. POEs lead to the definition of a database with information about occupation, actual needs of users, usage patterns, resources and facilities required for the building operational phase. These aspects have a high dependence on users' age, features and needs and the way occupants use a building can produce even more or less user satisfaction and resultant more or less comfort, wellness and even productivity at work.

One of the main benefits and aims of POE is the increase of user satisfaction. Zimmerman and Martin stated that "POE typically focuses on assessment of client satisfaction and functional 'fit' with a specific space" (Zimmerman and Martin 2001).

One of the ways to ensure user satisfaction is to conduct POEs to determine if the occupants got what they expected, and use the results to both rectify shortcomings and inform the next design, the medium-term benefits from POE application as defined by Preiser (2010). POEs allow to collect a wide range of data and can lead to improvements in existing buildings, as mentioned above, thus generating greater user satisfaction.

2.3. Feedback for design process

Feedback from existing buildings is one of the greater advantages in the use of POEs. Post-occupancy evaluations allow to learn from the past and evaluate current trends (Preiser 2010; Agyefi-Mensah et al. 2013). Spaces of an existing and occupied building not producing the expected function can therefore be eliminated or modified in the next design according to actual needs (Zimmerman and Martin 2001). As a

result, future occupants will be considerably more satisfied and will increase efficiency in the use of the building.

Moreover, POEs have evolved from individual and simple case study to sophisticated and transversal studies of several building types with valid, reproducible and generalizable results. Database of information collected through POEs can be the basis for the definition of design criteria and guidelines (National Research Council 1987; Preiser 2010) relating to the function of the building as well as to the type of users, the long-term benefits from POE application as defined by Preiser (Preiser 2010). With designers using this kind of criteria and guidelines, next clients can both save money and achieve more efficient buildings that match the expected functions. As a result, lessons learned from buildings in use can feed into the optimisation and improvement of future buildings (Leaman et al. 2010).

In addition, the increased knowledge can be used to improve the next project and to gain a competitive edge over other specialists and designers who have not had any feedback from their previous projects regarding the operational phase. This should result in increased fees or additional work, as well as better future designs.

2.4. Reduction of energy consumption

POEs analyse the actual use of buildings, user behaviour and user satisfaction, as well as the energy performance of the building. This kind of analyses, carried out with the support of data from IoT sensors, allow the definition of the effective energy performance of a building. The results of the POE are compared with the building performance as obtained through simulations during the design phase (Straka and Aleksic 2009). POEs help determine whether the initial conditions ensure comfort and user satisfaction in the operational phase. On the other hand, POEs can highlight the influence of users' effective behaviour on usage patterns and consumption of the building. (Straka and Aleksic 2009).

The analyses focus on energy consumptions in terms of heating, cooling and indoor air quality. To date, the focus on green buildings leads to increased interest in these aspects (Leaman et al. 2010). This means that POEs carried out for this purpose are more frequently used, mainly by means of sensors (Marzouk and Abdelaty 2014; Costa et al. 2015; Demian et al. 2018). In addition, benchmarks and standards are available for energy performance and indoor air quality monitoring. As a result, it is easier to define whether the building's performance is negative or positive.

2.5. Reduction of costs of the operational phase

As mentioned in a previous paragraph, feedback from existing buildings ensures savings in future buildings: unoccupied areas or spaces that did not fit the function can be removed in future designs. This allows customers to save money or achieve a more efficient building, with lower need for adjustments once occupied.

On the other hand, an efficient use of buildings also leads to cost savings in terms of resources, cooling and heating costs during the operational phase of existing buildings. An in-depth analysis of actual uses of existing buildings would make it possible for example to limit cooling and heating only to the occupied areas and thus optimise consumption in terms of costs. Similarly, would be possible to optimise the use of resources and spaces management, as well as cleaning activities, which are often extended to all rooms, i.e. in schools and office building, regardless of their actual use.

3. Barriers

3.1. Standard practice

Traditionally, once the building is occupied, it is not expected a process of continuous improvement or verification of compliance with expected targets for the operational phase (Zimmerman and Martin 2001), as

well as the evaluation of users' satisfaction. There is even institutionalized pressure in the AEC industry to carry on with standard practice and not to innovate, which comes from a number of areas, mainly to avoid any delay in financing, approvals or design process (Lovins 1992).

This results in POEs not yet becoming a standard in common practice, despite the advantages introduced in the previous section. Some other obstacles to the spread of POEs are presented below.

3.2. Benchmarks

Performing analyses such as POEs requires benchmarks against which to compare the data collected. The lack of indicators precludes the definition of whether POEs show positive or negative results.

As shown previously, the AEC industry involves several building specialists taking part in the building life cycle. Each of them has its own goals to achieve, as well as targets in terms of building performance. Clients are usually more interested in obtaining a building at the lowest construction cost and do not care about building performances or uses during the operational phase. Typically, the criteria of judgement for POEs are the compliance with functional programmes and users' needs (Zimmerman and Martin 2001). However, it is hard to define the occupants' needs, nor if the functional program meets them. As a matter of fact, the benefit perceived by the user of a space or building may not necessarily be the same as that of designers or owners (Bordass et al. 2001; Zimmerman and Martin 2001). Therefore, the functional program as defined during the design phase may be in contrast with the users' needs in the operational phase. In addition, users' needs highly depend on their age, features, occupation, etc. (Bento Pereira et al. 2016). It is a slightly different case for POEs that analyse energy performance and monitor indoor air quality. As already stated, benchmarks and standards for this kind of analyses are widely used and frequently regulated.

As a result, it is quite difficult to define unique and shared targets and building performance requirements. The fragmentation of the AEC industry and the lack of shared goals among the actors involved in the various building life cycle phases, results in a huge effort to define benchmarks. Furthermore, benchmarks should be defined in relation to each type of building, whether residential, service or commercial buildings.

POEs can collect a large amount and variety of data with a considerable impact on the cost of performing them. As a consequence, the lack of awareness of the main objectives leads either to the collection of useless data or to over-detailed analyses. The result is the increasing of costs and complexity of POEs, limiting even more the application of this kind of analyses.

3.3. Liability

The resistance of AEC industry in the use of POEs comes even from liabilities resulting from an awareness of the real conditions of buildings. Actually, POEs could highlight some current issues of existing buildings: low user satisfaction, usage patterns producing waste of energy and resources, as well as poor indoor environmental conditions and inefficient energy performances.

Several rented out building owners will be reluctant to carry out analyses such as a POEs that could reveal weaknesses of their building compared to similar ones. As a result, Zimmerman and Martin pointed out that tenants would move out, producing a reduction in revenue. They define this mentality as "ignorance is bliss" (Zimmerman and Martin 2001): building managers and owners reject innovative methods that generate better or more complete information, since they can result in lower profits.

3.4. Users' reluctance

A further area of concern is the reluctance of users to take part in this kind of analyses. POEs can easily appear as a discomfort and a restriction on user privacy. This has a strong impact on the selection of how a POE is performed.

In this context, Preiser (2010) defines three levels of detail of POEs (Preiser 2010):

- Indicative POEs: these are non-invasive analyses; interviews and on-site photographic surveys are used.
- Investigative POEs: these are more in-depth analyses; questionnaires, video recordings and point measurements of indoor environment or energy performance are added.
- Diagnostic POEs: these are detailed analyses; they involve widespread and continuous monitoring, defining consistent databases.

The more in-depth and invasive the analyses are, the more reluctant users will be. This is the reason why indicative POEs are often used for an overall analysis of the building to identify the main issues. The most critical areas and aspects are therefore object of more in-depth analyses, which can even take much longer to apply than indicative POEs.

3.5. Implementation costs

Costs of carrying out analyses are an additional barrier to the spread of POEs. Monitoring by means of sensors and other types of devices can be expensive when it comes to large buildings: Preiser (2010) identifies the costs of POEs according to the level of detail (Preiser 2010).

It is clear that costs of application are a further obstacle to the spread of POEs and, as mentioned above, researchers should consider a level of detail according to the criticism detected with a basic survey. This avoids collecting unnecessary and oversized data on lower critical areas or topics.

4. IoT sensors and machine learning application

Another issue that cannot be ignored is the following: to ensure the effectiveness of POE, it is necessary to collect and analyse a sufficiently large set of data. The application of IoT sensor systems can be useful to this purpose as it defines a measurement technology (Preiser 2010). This is a rapidly expanding technology in many contexts and is now consolidated with numerous research and applications in the optimization of energy performance.

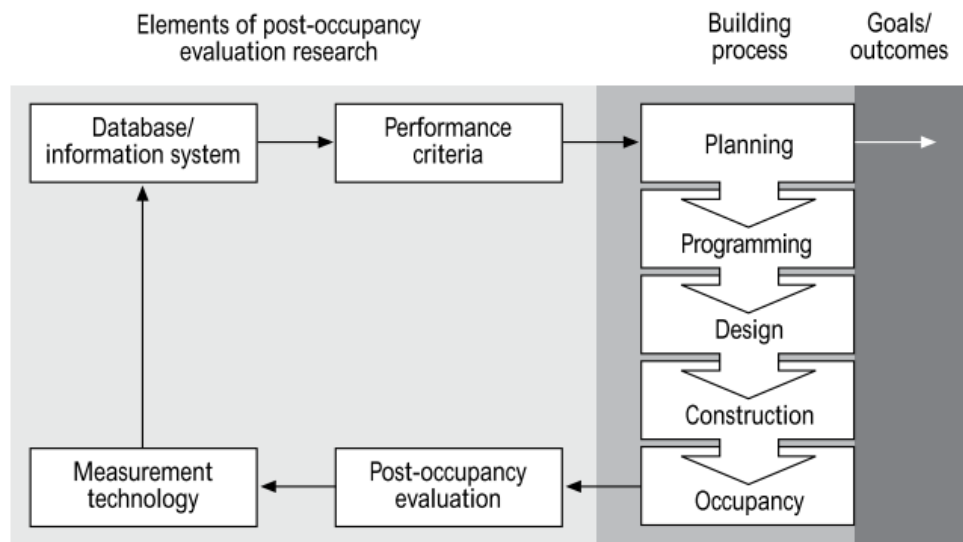


Fig. 2: Inputs and elements of POEs. Reference: Preiser, W.F.E. (2010)

An in-depth analysis of several publications (Demian et al. 2018) dealing with the integration between sensors and BIM methodology showed these results: it was identified that a limited number of publications dealt with the use of sensors in the operations and maintenance phase (23%) and in the tracing of people and facilities (12%). It is clear that data provided by the sensors and structured can be then integrated with the building information model; sensors data, saved in the building model, become valuable to keep the information accurate and up-to-date (Underwood and Isikdag 2011).

Nonetheless a deep analysis with sensors, besides being limited to critical areas, could involve a huge quantity of data, as a result of the integration of POEs analyses with IoT sensors systems. To date, there is an imbalance between data acquisition and analysis (Ahmed et al. 2017), so it is also necessary to define a system for the classification and analysis of large amounts of data. These structured data can be fed to an artificial intelligence based on machine learning methods (ANN). This could bring to predictive information for an improvement of building performance and use, that is one of the main goals of POEs.

5. Conclusions

Drivers of POEs shown how useful this type of analysis could be to improve existing and future buildings. Barriers, on the other hand, highlighted several limitations to the spread of POEs.

The research gap identified can be resumed in the following elements:

1. Need to set benchmarks to compare with data collected through analysis.
2. Make owners and managers aware of the considerable savings that result from the application of POEs. At the same time, there is a need to reduce the perceived fear of POEs producing a decrease of profits. Analyses, indeed, may initially highlight shortcomings and problems, but once solutions are identified, increased user satisfaction and predictive information relating to building management during the operational phase can lead to benefits such as:
 - o Improving users' satisfaction, morale and even productivity at work.
 - o Cost savings in maintaining and operating facilities over life cycles, coming from an efficient use of spaces and resources.
3. Find the best method of carrying out the analyses depending on lower discomfort and limitation of users' privacy. The optimization of the costs of POEs implementation can also be achieved according to desired outcomes and weaknesses detected.

POEs could represent an answer to proposed issues, both through questionnaires and interviews to evaluate users' satisfaction, and by means of sensor for environmental condition analysis. This approach could bring to a complete definition of an existing building's conditions. The integration of POEs, IoT sensors technology and Building Information Modelling could result in a better structuring, archiving and continuous updating of data coming from POEs.

Further developments may be the use of machine learning techniques in order to accurately analyse data and to define predictive information for the operational phase of a building. The application to a case study will allow to define advantages, disadvantages and complexities of the defined method. At the same time databases from POEs on existing buildings will be used to define guidelines for future buildings implementation.

6. References

- AGYEFI-MENSAH, S., POST, J., VAN EGMOND, E., BADU, E. and MOHAMMADI, M. (2013). "The Need for Post-Occupancy Evaluation of Public Apartment Buildings in Ghana." in *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 13, issue 2, p. 315–33. <https://doi.org/10.1108/JEDT-05-2013-0033>.
- AHMED, V., TEZEL, A., AZIZ, Z. and SIBLEY, M. (2017). "The Future of Big Data in Facilities Management: Opportunities and Challenges." in *Facilities*, vol. 35, issue 13/14, p. 725–45. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1108/MRR-09-2015-0216>.
- BENTO PEREIRA, N., CALEJO RODRIGUES, R. and FERNANDES ROCHA, P. (2016). "Post-Occupancy Evaluation Data Support for Planning and Management of Building Maintenance Plans." in *Buildings*, vol. 6, issue 4, p. 45. <https://doi.org/10.3390/buildings6040045>.
- BORDASS, B., LEAMAN, A. and RUYSEVELT, P. (2001). "Assessing Building Performance in Use 5: Conclusions and Implications." in *Building Research & Information*, vol. 29, issue 2, p. 144–57. <https://doi.org/10.1080/09613210010008054>.

- COOPER, I. (2001). "Post-Occupancy Evaluation - Where Are You?" in *Building Research & Information*, vol. 29, issue 2, p. 158–63. <https://doi.org/10.1080/09613210010016820>.
- COSTA, A.A., LOPES, P.M., ANTUNES, A., CABRAL, I., GRILO, A. and RODRIGUES, F.M. (2015). "3I Buildings: Intelligent, Interactive and Immersive Buildings." in *Procedia Engineering*, vol. 123, p. 7–14. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.10.051>.
- DEMIAN, P., LIU, Z. and DENG, Z. (2018). "Integration of Building Information Modelling (BIM) and Sensor Technology: A Review of Current Developments and Future Outlooks." in *CSAE*. <https://doi.org/10.1145/3207677.3277991>.
- EVANS, R., HARYOTT, H., NASTE, N. and JONES, A. (1998). *"The Longterm Costs of Owning and Using Buildings."* London.
- LEAMAN, A., STEVENSON, F. and BORDASS, B. (2010). "Building Evaluation: Practice and Principles." in *Building Research & Information*, vol. 38, issue 5, p. 564–77. <https://doi.org/10.1080/09613218.2010.495217>.
- LOVINS, A. (1992). "Energy-Efficient Buildings: Institutional Barriers and Opportunities." E Source, Inc., Boulder, CO (United States). <https://www.osti.gov/biblio/55563>.
- MARZOUK, M. and ABDELATY, A. (2014). "BIM-Based Framework for Managing Performance of Subway Stations." in *Automation in Construction*, vol. 41, p. 70–77. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2014.02.004>.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. (1987). "Post-Occupancy Evaluation Practices in the Building Process: Opportunities for Improvement." Washington, DC: National Academy Press.
- PREISER, W.F.E. (2010). "Post-Occupancy Evaluation: How To Make Buildings Work Better." in *Facilities*, vol. 13, issue 11, p. 19–28. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1395\(199711\)10:11<797::AID-PCA951>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1395(199711)10:11<797::AID-PCA951>3.0.CO;2-K).
- ROYAL INSTITUTE OF BRITISH ARCHITECTS (RIBA). (1965). *"Handbook Of Architectural Practice and Management."* London: RIBA Publications.
- ROYAL INSTITUTE OF BRITISH ARCHITECTS (RIBA) R.S.G. (1991). "A Research Report for the Architectural Profession." in Duffy, F., Hutton, L., *Architectural Knowledge: The Idea of a Profession*. London: Taylor & Francis.
- STRAKA, V. and ALEKSIC, M. (2009). "Post-Occupancy Evaluation. Three Schools from Greater Toronto." in *PLEA2009 - 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture*, no. June:5. <https://doi.org/10.1128/AEM.01532-14>.
- UNDERWOOD, J., and ISIKDAG, U. (2011). "Emerging Technologies for BIM 2.0." in *Construction Innovation*, vol. 11, issue 3, p. 252–58. <https://doi.org/10.1108/14714171111148990>.
- SHAOMIN, W. and CLEMENTS-CROOME D. (2007). "Ratio of Operating and Maintenance Costs to Initial Costs of Building Services Systems." in *Cost Engineering*, vol. 49, issue 12, p. 30–33. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.08.004>.
- ZIMMERMAN, A. and MARTIN, M. (2001). "Post-Occupancy Evaluation: Benefits and Barriers." in *Building Research and Information*, vol. 29, issue 2, p. 168–74. <https://doi.org/10.1080/09613210010016857>.
- ZIMRING, C.M. and REIZENSTEIN, J.E. (1980). "Post-Occupancy Evaluation: An Overview." in *Environment and Behaviour*, vol. 12, issue 4, p. 429–50.

Computational linguistic and BIM for project management

Locatelli, Mirko^a; Di Giuda, Giuseppe Martino^a; Schievano, Marco^a y Pellegrini, Laura^a

^aDepartment of Architecture, built environment and construction engineering, Politecnico di Milano, Italy
mirko.locatelli@mail.polimi.it

Abstract

The purpose of the paper is to investigate the state of the art of textual translation theories, methods and tools into numerical requirements to support information modelling and project management process. Traditionally, the requirements underlying the design and construction process are expressed through verbal qualitative evaluations and not numerically by the "Documento di Indirizzo alla Progettazione". The requirements expressed qualitatively lead to a difficulty in evaluating the project offer. The paper aims to draw up a state of the art on the possibility of using computational linguistics for the numerical translation of the basic documents of the construction process. The research aims to collect at national and international level theories, method, tools and application cases in the AEC sector and in other sectors, highlighting advantages, criticalities and possible implementations. Computational linguistics would allow to numerically translate the initial requirements. In this way the process is data driven and more manageable by the client. Requirements expressed in numerical terms are fundamental for the application and management of information modelling. Numerical requirements are machine readable and for this reason they could be managed by an artificial intelligence.

Keywords: Project and Information management, Computational requirements, Computational linguistics, Machine Learning, Data driven process, Artificial Intelligence.

Resumen

El objetivo de este trabajo es investigar el estado del arte de teorías y métodos de traducción textual en cuanto a los requisitos numéricos para apoyar el proceso de modelado de información y gestión de proyectos. Tradicionalmente, los requisitos subyacentes al proceso de diseño y construcción se expresan en evaluaciones cualitativas verbales y no numéricamente mediante el "Documento di Indirizzo alla Progettazione". Estos requisitos conducen a una dificultad en la evaluación de la oferta. El objetivo del trabajo es elaborar un estado del arte sobre la posibilidad de utilizar la lingüística computacional para la traducción numérica de los documentos básicos del proceso de construcción. El objetivo es recoger a nivel nacional e internacional teorías, métodos, herramientas y casos de aplicación en el sector AEC y en otros sectores, destacando las ventajas, las criticidades y las posibles implementaciones. La lingüística computacional permitiría traducir numéricamente los requisitos iniciales. De esta manera, el proceso se basa en los datos y es más manejable por el cliente. Los requisitos expresados en términos numéricos son fundamentales para la aplicación y gestión de la modelización de la información. Los requisitos numéricos son legibles por máquina y por esta razón pueden ser gestionados por una inteligencia artificial.

Palabras clave: Gestión de proyectos e información, Requisitos computacionales, Lingüística computacional, Machine Learning, Data-based procesos, Inteligencia artificial.

Introduction

The purpose of the article is to investigate the State of the Art about theories, methods and tools for translating documents into numerical requirements and possible applications in the field of information modeling and project management. Computational linguistic well applies to BIM. Information modelling requires a precise and comprehensive definition of the initial requirements; the computational definition of the initial requirements is fundamental for the good application of information modelling and management. In order to understand the proposed methodology and its possible applications, it is necessary to explain the basic theories and the most recent developments and applications of computational linguistics. We present case studies of applications in various fields focusing on possible applications in the AEC sector, with a focus to possible data driven management of the construction process. The final chapter discusses possible applications and further developments.

1. NATURAL LANGUAGE PROCESSING (NLP): rule based, statistical and deep NLP

Computational Linguistics or Natural Language Processing (NLP) is a interdisciplinary field involving humanistic, statistical-mathematical and computer skills. The aim of NLP is to process languages using computers. The human language is defined as natural because it is ambiguous and changeable in time and space, interactive and relational. On the contrary, machine language is defined as formal because it is unambiguous and internationally recognized. The NLP must deal optimally with the ambiguity, imprecision and lack of data inherent in natural language. To manage the ambiguity of natural language, modern NLP relies on rule-based, statistical or machine learning approaches that allow automatic modeling through learning processes. (Callison-Bourne and Osborne 2003). NLP is a subfield of artificial intelligence (AI) that aims at making natural language machine understandable so that the text or human speech could be processed by computers (Cherapas 1992; Zhang and El-Gohary 2015).

NLP tasks may take two main approaches: a machine learning (ML) - based approach (i) or a rule-based/statistical approach (ii). A ML-based approach uses ML algorithms for text processing (Pradhan 2004), whereas a rule-based approach uses manually coded rules (Soysal 2010). Rule-based methods require more human effort for rule development, but have better text processing performance (Crowston 2010). From another point of view, NLP approaches could be either shallow or deep. Shallow NLP conducts partial analysis of a sentence or extracts partial, specific information from a sentence. Deep NLP aims at full-sentence analysis towards capturing the entire meaning of a sentence (Zouaq 2011). Deep NLP requires elaborate knowledge representation and reasoning, which are currently a challenge for AI (Tierney 2012; Zhang and El-Gohary 2015).

1.1. Rule based and statistical NLP

The statistical approach to the NLP is generally better than the traditional/manual rule-based approach because:

- Statistical NLP affords rapid prototyping. Rule based systems take a long time to implement.
- Statistical systems are robust (Junqua 2001). Statistical system will always produce outputs, regardless of the inputs entered.
- Statistical systems are cheaper than rule-based systems. Process of creating a statistical system is automated, the process of creating a rule-based system is manual. (Callison-Bourne and Osborne 2003)

1.2. Deep NLP: Artificial Neural Network for NLP

Among the various NLP techniques based on ML, those based on ANNs seem to have more chance of success because:

- ANNs are similar of the structure of the human brain and they are very effective for solving complex problems where data is noisy, prone to error or incomplete (Rumelhart 1986; Sivanandam 2006; Bala 2014).
- ANNs can manage noisy and ambiguous data from the human natural language and they are very similar to the human method of learning.
- ANNs are very powerful pattern recognizers and classifiers, but ANNs operate as a black box (Jain 2014).
- ANNs are composed of a large number of interconnected processing elements called neurons. ANNS are characterised by their structure, the connection between the processing elements, the data for training or learning wich determinate the weights on the connections and the activation function. (Waziri et al. 2017)
- ANNs have the ability to overcome the lack of data, which can be summarized in the phrase "Fill in the blank". This makes it particularly suitable for use in the NLP. (Waziri et al. 2017)

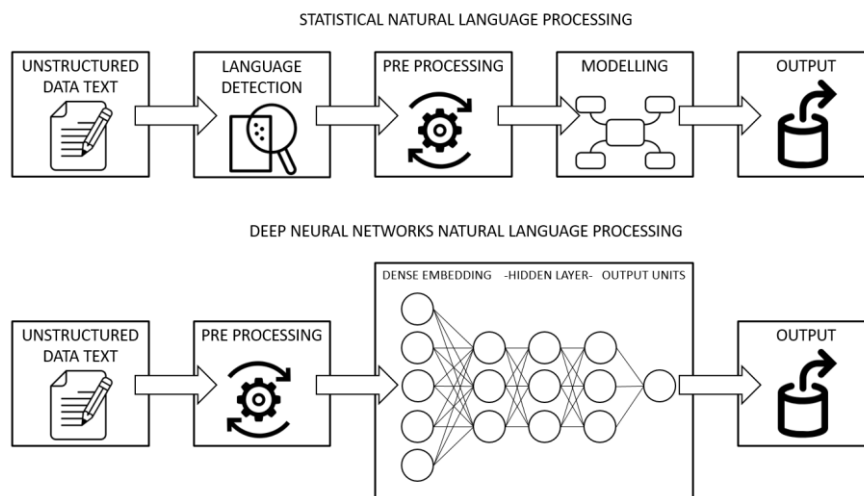


Fig. 1 Differences between the structure of statistical and deep NLP

ML-based methods efficiently manage the sparsity and non-structuring of learning data. Among the techniques of ML for NLP based on ANN ensure computational processing of text documents better, because they can respect the complexity, articulation and multidimensionality of human natural language. By translating text into machine language, text information can be managed and used with methods, techniques and tools typical of project and information management. In summary, the NLP, based on ANN, transforms text documents into structured information resources (Callison-Bourne and Osborne 2003).

Despite the numerous advantages of the ANN (like the self-organization and the capacity to fill the void of data) compared to the rule based and statistics NLP, it offers few explanations on the relations found between the data and the connection among neurons with the output data. The phenomenon is called black box effect which makes difficult to explain what is learned from the net (Paliwal 2011; Waziri et al 2017).

The latest efforts in the field of AI are aimed at overcoming the black box effect and the production of explainable AI model, called XAI model (Gunning 2017).

2. NLP Application

2.1. NLP for Project Management

Project Management Institute's Pulse of the Profession points out that: "When projects do not meet their original goals and project objectives, inaccurate business analysis/requirements management is cited as the primary cause 47% of the time." (Frenette and Kyriakidis 2016)

The increasing complexity and size of projects in the AEC sector makes it difficult to identify and verify initial requirements expressed in natural language. As a result, there are numerous errors and shortcomings in the definition of requirements at the early stages of concept and design, with inefficiencies in terms of time, cost and quality. The use of NLP can help the project manager and the client to express project requirements in an alpha-numerical and quantifiable terms without possibility of misunderstanding, increasing the project's chances of success. The use of NLP in the early stages of defining project requirements can be considered a risk mitigation technique. The use of the NLP for the definition of requirements and predictions with a view to monitoring the progress of the project through ANN, leads to an optimization of requirements definition and the process of assessing the progress of the project.

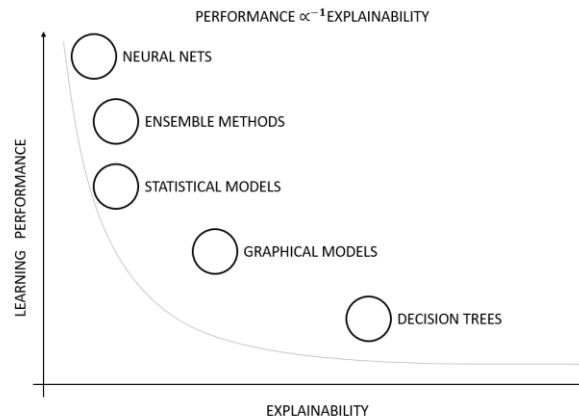


Fig. 2 Explainability and performance graph of AI learning method. Source: Gunning, D. (2017)

2.2. NLP for Requirements Engineering: automotive software and AEC project

The process of creating an automotive software has strong similarities with the process of designing a building, characterized by poor coordination and sharing of initial requirements and knowledge of a complete picture of the project. Complex systems such as automotive software and buildings are usually divided into subsystems that are specified and developed in isolation and then integrated. In the automotive sector, as in the AEC sector, the different subsystems are developed by separate teams using their own design processes and requirements documentation, with limited knowledge of the relationships with other subsystems (Vogelsang 2013). Fragmentation of knowledge affects the quality of the final design product. Knowledge fragmentation affects a large number of requirements documents for each subsystem, written by different people, with different structure (Schlutter and Vogelsang 2018). In the paper, the authors describe a natural language processing approach to transform a set of heterogeneous natural language requirements into a knowledge representation graph (Schlutter and Vogelsang 2018). The graph provides a comprehensive and relational view of concepts and requirements.

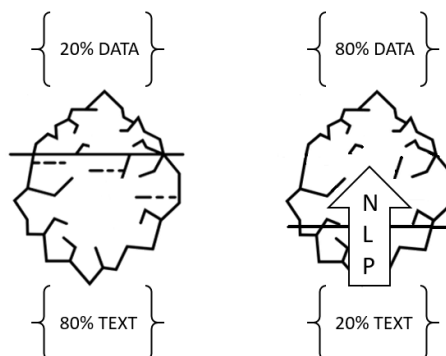


Fig. 3 NLP for project management: translating text into structured data

Given the similarities between the two sectors, the NLP approach described could be used in the AEC sector to reduce the fragmentation and ambiguity of the requirements set out in the heterogeneous text documents. The homogeneity of the requirements would allow a complete view of the process, limiting the inefficiency and the gap between expected and actual quality in the final product.

2.3. NLP and Information Modelling and Management

Alphanumeric translation of text documents into formal and structured data is a prerequisite for information modelling. As is well known from the MacLeamy Curve, the initial phase of defining requirements is fundamental for the good application and effectiveness of the information modeling method. The NLP for requirements definition can be integrated with the information modelling and management of the preliminary phase of design and construction process.

Jordan Kyriakidis CEO of QRACorp in a recent webinar about NLP in project management, said: "Imagine a world where a computer application reads a document instead of you and points out all the places where the requirements writer has been too vague, imprecise, or has not provided enough detail? How about one that compares all the requirements documents in the organization and lets you know when it detects inconsistencies between your work and others? Or maybe one that knows the jargon of the profession in which you work, and can point out misuse of terms? Or one that is able to look through your requirements and tell you what is missing?" (Frenette 2016)

During the Webinar Jordan Kyriakidis argues that NLP approach can reduce time and cost in defining requirements by avoiding errors, loss of information and ambiguities in defining project objectives.

3. NLP and BIM for AEC sector: application

3.1. BIM and NLP for a construction management information system

Growing complexity of construction projects have increased the number of companies from different locations to project groups. This has led to an increase in the amount of data and information exchanged (Anumba and Evbuomwan 2003). In this environment, information management systems are necessary.

In addition, the possible costs of recovering lost information are very high, as this has an impact not only on the progress of the individual project, but also on the customer's ability to manage similar future projects. As pointed out by Teicholz project information should be integrated in three dimensions:

- horizontal integration of several disciplines participating in a construction project;
- vertical integration of several phases in the life cycle of a facility;
- longitudinal integration over time, which is also linked to the acquisition of knowledge that will improve performance or make better decisions in the future. (Teicholz 1999)

As described above, possible information loss or misreporting has an impact on the entire project lifecycle and the client's decision making on future projects. A large percentage of the information exchanged among construction companies is stored in text data files, the management of the information contained in these documents are essential.

In their paper Caldas and Soibelman propose an automatic hierarchical classification to improve the organization and access to unstructured text documents in construction management information systems and to facilitate the integration of these documents into BIM based system models (Caldas and Soibelman 2003). Text information management in the AEC sector is crucial because a large percentage of project information is stored in text documents and these documents contain valuable information for decision making, data analysis and knowledge management (Zhang and El-Gohary 2015).

3.2. NLP and BIM for automated compliance checking

The NLP approach can support Automated compliance checking in a BIM based process (Zhang and El-Gohary 2015). Construction projects must comply with a variety of standards code. The manual conformity control process is time-consuming, costly and error-prone (Han 1998; Nguyen 2005). Automated compliance checking (ACC) should reduce Code Checking time, costs and errors (Tan 2010; Salama 2013).

The authors of their paper (Zhang and El-Gohary 2015) point out that in addition, the proposed method has many other potential benefits:

- allowing potential non-compliance cases to be identified in advance, which could save significant time and cost due to changes and/or rework (Ding 2006),
- promoting the adoption of Building Information Modelling (BIM) and increase the cumulative benefits of adopting BIM as BIM would allow ACC (Pocas Martins 2010),
- enabling more efficient integration of stakeholder inputs into design and exploration of what-if design scenarios because a designer would be better able to experiment with different design options and verify compliance more efficiently in terms of time (Niemeijer 2009),
- reducing violations of regulations due to easier and more frequent CC (Zhong 2012).

The survey carried out by shows how the automatic identification of the limits set by the regulations through NLP in support of automated code checking (ACC) through the BIM model can lead to a substantial reduction in time and errors.(Zhang and El-Gohary 2015)

3.3. NLP and CBR for risk management

3.3.1. Safety risk management

Case Based Reasoning (CBR) is an important approach in the risk management of construction projects. It emphasises that previous knowledge and experience of accidents and risks are extremely valuable and could help to avoid similar risks in new situations. Databases on construction accidents have been created and are growing in size. However, these documents are written in natural language retrieving information quickly and accurately from the database is still the major challenge. In order to improve the efficiency and performance of data recovery, the paper proposes a Natural Language Processing (NLP) approach (Zou et al. 2017). The paper goes on to describe how in recent years, with the development and increasing use of NLP, researchers have introduced NLP to the construction industry to address problems of analysis and management of textual documents, such as:

- retrieval of CAD drawings (Hsu 2013),
- automatic analysis of injury reports (Tixier 2016),
- automatic grouping of construction project documents based on textual similarity.

The authors underline how NLP is a promising technique to assist the recovery of CBR knowledge and cases. However, very few studies have been found in this field. (Zou et al. 2017)

3.3.2. Construction risk management

The paper analyses the bidding process for construction and a possible application of NLP in this phase. Bidding process takes place in the early stages of a construction project. Bidders must fully understand the uncertainties of the project before making decisions. The risk of uncertainty of construction projects is determined by the content of the bid document. If the information provided in the bid notice is not accurate and unclear, the uncertainty of the projects increases. The study applied four representative classification algorithms. The authors used the 80% of the total data for training and 20% as test data (Lee and Yi 2017).

The authors in their research propose a NLP approach to predict risks in the bidding process of construction projects, by analysing the uncertainty of the bidding document and using it as a factor to predict the bidding risk of a project. The model for forecasting tender risk was conducted using the pre-bid clarification

information. Text mining was carried out on pre-bid RFI documents, which are in an unstructured text data format, and the results of text mining were used as the main influencing factors for the risk forecasting models. The authors conclude by arguing that the results of this study should reinforce the possibility of further similar studies in the future, since it increases predictive accuracy by incorporating the uncertainty of the bidding document, which is rarely taken into account in previous studies (Lee and Yi 2017).

In summary, the papers reported highlight the use of the NLP as a methodology and tool for risk mitigation applicable in the field of safety and in the pre-bid phase. The NLP is useful for supporting the project manager in project risk mitigation.

3.4. Rule based NLP for risk mitigation in procurement management

As the size and complexity of construction projects have increased significantly, the number of disputes between the parties involved during construction work is constantly increasing. To avoid such disputes, participants need to be sure of their contractual positions and rights. The process of drafting and reviewing construction contracts is crucial. Most international construction projects require contract management teams to examine all possible contract risks during tendering periods. However, it is very difficult to review a large number of contracts in a short period of time. The authors of the paper propose a model of automatic extraction of poisonous clauses (Lee et al. 2019).

Therefore, in their paper the authors proposed an automatic model for extracting contractual risks based on the NLP that would automatically detect poisonous clauses in construction contracts. In validating the performance of the automatic model developed in their study, the authors found that the accuracy and recall were both 81.8% compared to manual revision. This study is significant as a model has been developed that can carry out a prior review of contractual risks (Lee et al. 2019).

The NLP approach proposed is therefore effective in automatically reading and extracting poisonous clauses from construction contracts. The algorithm, suitably modified, can be used to read and extract data from documents other than construction contracts.

4. Conclusion: NLP for requirements engineering

Given the importance of the correct and complete definition of the initial project requirements for the successful application of project and information management, the NLP approach to support the translation of the requirements into numerical and alpha-numerical terms could help reduce the gap between expected and actual quality. Methods, techniques and application cases of NLP have already been tested with good results. However, no case of systemic application to construction project has been found since the early stages of planning. The cases of NLP use in the AEC sector reported are limited to phases subsequent to the pre-design and planning phases. The use of NLP for the definition of initial requirements would have a greater impact if applied at an early stage. The NLP approach could be used for the definition of the initial requirements of a public client helping the public actor to define, in the Italian case, a Documento di Indirizzo Progettuale (DIP) on a numerical and alpha-numerical basis and not on a simple text basis. Through the alphanumeric translation of the DIP, the public client would be the main actor in a Data-driven construction process, increasing its ability to understand, manage and direct the outcome of the design. The numerical translation of the requirements would like to make the entire process computable first, and then digitally manageable, which would see the client as the actor able to contribute directly to the design (Ciribini 2016). NLP supports requirements engineering by transforming the classic qualitative demand based on text data into a computational demand based on formal and structured data. The requirements thus defined would be the basis of the information management process in a data driven process. During a data driven process, the monitoring of the objectives to be achieved can be more effective and immediate, reducing the risk of overcoming time and costs and not reaching the expected quality level.

5. Further developments

The main further development of requirements translated into a computational form, through NLP, is the possibility of being readable and digitally managed by an artificial intelligence set up for the purpose. The AI, if properly instructed, could support the evaluation phase of the project to verify the degree of compliance of the project with the requests coming from the translation of the DIP. The system structured in this way would be configured as a decision support system for assessing the progress of the project. The monitoring of the project progress would be automatically managed by the AI to avoid errors and costs in economic and temporal terms.

6. References

- ANUMBA, C. J. and EVBUOMWAN, N. F. O. (2003). "A Taxonomy for Communication Facets in Concurrent Life-Cycle Design and Construction." In *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 14 (1): 37–44. <https://doi.org/10.1111/0885-9507.00128>.
- BALA, K., BUSTANI, S. and WAZIRI, B. (2014). "A computer-based cost prediction model for institutional building projects in Nigeria: An artificial neural networks approach." In *Journal of Engineering, Design and Technology*, 12(4), 518–529.
- CALDAS, C. H. and SOIBELMAN, L. (2003). "Automating Hierarchical Document Classification for Construction Management Information Systems." In *Automation in Construction* 12 (4): 395–406. [https://doi.org/10.1016/S0926-5805\(03\)00004-9](https://doi.org/10.1016/S0926-5805(03)00004-9).
- CALLISON-BOURNE, C. and OSBORNE, M. (2003). "Statistical Natural Language Processing. In A. Farghaly (ed.), *A Handbook for Language Engineers*", CSLI Publications.
- CHERPAS, C. (1992). "Natural language processing, pragmatics, and verbal behavior. *Anal. Verbal Behav.*", 10, 135-147.
- CIRIBINI, A. L. C. (2016). "Information modelling management, BIM e digitalizzazione dell'ambiente costruito." Palermo: Grafill S.r.l.
- CROWSTON, K., LIU, X., ALLEN, E. and HECKMAN, R. (2010). "Machine learning and rule-based automated coding of qualitative data." Proc., 73rd ASIS&T Annual Meeting: Navigating Streams in an Information Ecosystem, Association for Information Science and Technology, Silver Spring, MD, 1–2.
- DING, L., DROGEMULLER, R., ROSENMAN, M., MARCHANT, D. and GERO, J. (2006). "Automating code checking for building designs Design check." *Clients driving innovation: Moving ideas into practice, CRC for Construction Innovation*, Brisbane, Australia, 1-16.
- FRENETTE, M. (2016) "Natural language processing to sharpen up your requirements" *Project management.com*, 14 July. <<https://www.projectmanagement.com/blogs/286043/Requirements-Management-Ruminations?forcemobile=on>>.
- FRENETTE, M. and KYRIAKIDIS, J. (2016) "Rethink requirements- The Natural language processing approach" *Project management.com*, 12 July. <<https://www.projectmanagement.com/webinars/334316/Rethink-Requirements---The-Natural-Language-Processing-Approach>>.
- GUNNING, D., (2017). "Explainable artificial intelligence (xai)", Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA).
- HAN, C. S., KUNZ, J. C. and LAW, K. H. (1998). "Client/server framework for online building code checking." In *Journal for Computational Civil Engineering*, 10.1061/ (ASCE)0887-3801(1998)12:4(181), 181–194.
- HSU, J.-Y. (2013). "Content-based text mining technique for retrieval of CAD documents". In *Automation in Construction*. 31 65–74, <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.037>.
- JAIN, M. and PATHAK, K. K. (2014). "Applications of artificial neural networks in construction engineering and management: A review." In *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, 2(3), 134–142.
- JUNQUA, J-C. and VAN NOORD, G. (2001). "Robustness in Language and Speech Technology", vol. 17 of Text, Speech and Language Technology. Kluwer Academic Publishers.

- LEE., JH. and YI, J.S. (2017). "Predicting Project's Uncertainty Risk in the Bidding Process by Integrating Unstructured Text Data and Structured Numerical Data Using Text Mining." In *Applied Sciences* 7 (11): 1141. <https://doi.org/10.3390/app7111141>.
- LEE., JH, YI, J.S. and SON, JW. (2019). "Development of Automatic-Extraction Model of Poisonous Clauses in International Construction Contracts Using Rule-Based NLP." In *Journal of Computing in Civil Engineering* 33 (3): 04019003. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000807](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000807).
- NGUYEN, T. (2005). "Integrating building code compliance checking into a 3D CAD system." Proc., *Int. Conf. on Computing in Civil Engineering*, ASCE, Reston, VA, 1–12.
- NIEMEIJER, R.A., DE VRIES, B. and BEETZ, J. (2009). "Check-mate: Automatic constraint checking of IFC models." In *Managing IT in construction/managing construction for tomorrow*, A Dikbas, E. Ergen, and H. Giritli, eds., CRC Press, London, 479-486.
- PALIWAL, M. and KUMAR, U. A. (2011). "Assessing the contribution of variables in feed forward neural network." In *Applied Soft Computing*, 11(4), 3690–3696.
- PRADHAN, S., WARD, W., HACIOGLU, K., MARTIN, J. H. and JURAFSKY, D. (2004). "Shallow semantic parsing using support vector machines". Proc., NAACL-HLT, *Association for Computational Linguistics*, East Stroudsburg, PA, 233–240.
- POCAS MARTINS, J. P. and ABRANTES, V. (2010). "Automated code-checking as a driver of BIM adoption." In *Journal for Housing Science*, 34(4), 286–294.
- RUMELHART, D. E. (1986). "Learning internal representations by error propagation." In *Parallel Distributed Processing*, 1, 318– 362.
- SALAMA, D. and EL-GOHARY, N. (2013). "Semantic text classification for supporting automated compliance checking in construction." In *Journal of Computing in Civil Engineering*, 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000301, 04014106.
- SCHLUTTER, A. and VOGELSANG A. (2018). "Knowledge Representation of Requirements Documents Using Natural Language Processing." *CEUR Workshop Proceedings 2075*.
- SIVANANDAM, S. N. and DEEPA, S. N. (2006). "Introduction to Neural Networks using Matlab 6.0." In *Tata McGraw-Hill Education*, Columbus, United States.
- SOYSAL, E., CICEKLI, I. and BAYKAL, N. (2010). "Design and evaluation of an ontology based information extraction system for radiological reports. *Computers in Biology and Medicine*", 40(11–12), 900–911.
- TAN, X., HAMMAD, A. and FAZIO, P. (2010). "Automated code compliance checking for building envelope design." In *Journal of Computing in Civil Engineering*, 10.1061/ (ASCE)0887-3801(2010)24:2(203), 203-211.
- TEICHOLZ, P. (1999). "Vision of future practice, Berkeley-Stanford Workshop on Defining a Research Agenda for AEC Process/ Product Development in 2000 and Beyond", Stanford, CA.
- TIERNEY, P. J. (2012). "A qualitative analysis framework using natural language processing and graph theory. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*", 13(5), 173–189.
- TIXIER, A.J.-P., HALLOWELL, M.R., RAJAGOPALAN, B. and BOWMAN, D. (2016), "Automated content analysis for construction safety: a natural language processing system to extract precursors and outcomes from unstructured injury reports". In *Automation in Construction*. 62 45–56, <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2015.11.001>.
- VOGELSANG, A. and FUHRMANN, S. (2013). "Why feature dependencies challenge the requirements engineering of automotive systems: An empirical study." In *21st IEEE International Requirements Engineering Conference (RE)*.
- WAZIRI, B. S., BALA K. and BUSTANI, S. A. (2017). "Artificial Neural Networks in Construction Engineering and Management." In *International Journal of Architecture, Engineering and Construction* 6 (1). <https://doi.org/10.7492/IJAEC.2017.006>.
- ZHANG, J. and EL-GOHARY, N.M. (2015). "Automated Information Transformation for Automated Regulatory Compliance Checking in Construction." In *Journal of Computing in Civil Engineering* 29 (4): B4015001. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000427](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000427).
- ZHONG, B. T., DING, L. Y., LUO, H. B., ZHOU, Y., HU, Y. Z. and HU, H. M. (2012). "Ontology-based semantic modeling of regulation constraint for automated construction quality compliance checking". In *Automation in Construction*, 28, 58–70.

ZOU, Y., KIVINIEMI, A. and JONES, S. W., (2017). "Retrieving Similar Cases for Construction Project Risk Management Using Natural Language Processing Techniques." In *Automation in Construction* 80 (September 2016): 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.04.003>.

ZOUAQ, A. (2011). "An overview of shallow and deep natural language processing for ontology learning. Ontology learning and knowledge discovery using the web: Challenges and recent advances". In *IGI Global*, Hershey, PA, 16–38.

Certificación energética en BIM

Garrido-Iglesias, André^a; Seara-Paz, Sindy^b, Pérez-Ordóñez, Juan Luis^c

^aB&A Building & Architecture, España andre.giglesias@gmail.com, ^bDepartment of Civil Engineering, University of A Coruña, España gumersinda.spaz@udc.es, ^cDepartment of Civil Engineering, University of A Coruña, España jlperez@udc.es

Abstract

The BIM methodology stands out for trying to group the different stages of design, management, maintenance and even demolition and reincorporation into the environment of a building.

These stages, also known as BIM Dimensions, bring together what is known as the life cycle of a building. It is in the 6 dimension where the energy analysis of a building is made, taking advantage of the information of previous stages, mainly the geometric definition, equipment and other characteristics of the materials to perform an energy evaluation necessary to achieve the thermal comfort of a house

With the idea of thermal comfort together with the premise of energy saving, Spanish legislation sets limits for energy consumption and demand. The HULC or other recognized tools are used for it is verification. Its use requires the building to be redefined geometrically and thermally, information that would already be available in the BIM model.

This paper presents the current possibilities of BIM tools to facilitate certification, either through interoperability (IFC files), or by providing the necessary information to the models for their calculation according to Spanish regulations. Finally, a comparative study of the tools analyzed will be carried out.

Keywords: 6D, Energy Certification, Energy Analysis, Sustainability, Interoperability, HULC, IFC

Resumen

La metodología BIM destaca por intentar aglutinar las distintas etapas de diseño, gestión, mantenimiento e incluso demolición y reincorporación al medio de un edificio. Estas etapas, denominadas también Dimensiones BIM, aglutinan lo que se denomina el ciclo de vida de un edificio. Es en la sexta dimensión donde se sitúa el análisis energético de un edificio, ya que aprovecha la información de etapas anteriores, principalmente la definición geométrica, equipamientos y ciertas características de los materiales, al realizar una evaluación de la energía necesaria para alcanzar el confort térmico en una vivienda.

Bajo las premisas del confort térmico y del ahorro energético, la legislación española establece límites para el consumo y demanda de energía. Para su verificación se emplea la Herramienta Unificada Lider Calener (HULC) u otras reconocidas. Su uso exige volver a definir geométrica y térmicamente el edificio, información de la que ya se dispondría en el modelo BIM.

Este artículo expone las actuales posibilidades de las herramientas BIM para facilitar la realización de la certificación, ya sea mediante interoperabilidad (archivos IFC), o dotando la información necesaria a los modelos para su cálculo según la normativa española. De igual modo se realiza un estudio comparativo de las herramientas analizadas.

Palabras clave: 6D, Certificación energética, Análisis energético, Sostenibilidad, Interoperabilidad, HULC, IFC

Introducción

El aprovechamiento de la energía está presente en la edificación desde que el hombre construye su vivienda. Se puede considerar que la primera obra que se conserva (Siglo I a. C.) en la que se aborda, entre otros aspectos, el aprovechamiento de la energía en edificación es el tratado recopilado por Vitruvio (VITRUVIO, 2013). A lo largo de sus diez libros se muestran recomendaciones en el uso eficiente de los recursos naturales. Por ejemplo muestra recomendaciones sobre la orientación y localización de los inmuebles para aprovechar mejor la energía, o sugiere dónde situar los sistemas de generación de calor (hornos) para que conseguir el óptimo reparto de la energía.

Si bien el uso de la energía está presente antes de la Era común, no es hasta principios del siglo XXI cuando la Unión Europea, motivado por la reducción de emisiones de efecto invernadero, aprobó la Directiva 2002/91/CE. El objetivo principal es la reducción del consumo de energía, por ello fomenta la eficiencia energética de los edificios considerando tanto las condiciones climáticas exteriores así como el confort térmico requerido para el interior.

Es en febrero de 2006 cuando se publica la primera versión del documento básico de ahorro de energía (DB-HE), enmarcado dentro del Código Técnico de la Edificación (CTE), en el que, tras su publicación como Real Decreto (Ministerio de Vivienda, 2006), especifica las exigencias que deben cumplir los edificios en términos energéticos. En el DB-HE se establecen reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía (motivadas por las directivas europeas). Desde su publicación estas exigencias se han ido endureciendo, con el objetivo de reducir el consumo energético, no en vano hasta la fecha ha habido seis revisiones del documento. Para verificar el cumplimiento del DB-HE, en el Real Decreto 235/2013 y su posterior modificación en el Real Decreto 564/2017, se define el procedimiento para realizar la certificación energética.

El procedimiento de certificación actual distingue entre obra nueva y obra existente, permitiendo métodos simplificados solo para esta última (CE3 y CE3X, para viviendas y edificios terciarios y CERMA únicamente para viviendas). Para el procedimiento general (más complejo en su uso) existen diversas herramientas reconocidas: la Herramienta Unificada Líder Calener (HULC) promovida por el Ministerio para la Transición Ecológica, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento, Cypetherm HE Plus de CYPE Ingenieros, SG SAVE de Saint-Gobain y por último CE3X con el complemento denominado "Obra Nueva".

1. Simulación energética y certificación en BIM

Existen diversas aproximaciones a la hora de abordar la calificación energética dentro de la metodología BIM. Sería ideal que la propia herramienta de modelado permitiese la generación de dicha evaluación energética. Si bien esta opción es la más directa, es necesario especificar diversos parámetros en las herramientas, dependiendo de la misma con mayor o menor posibilidad, para adecuarlas a las condiciones exteriores e interiores que emplea el HULC en la realización de la calificación. Cabe destacar la diferencia entre simulación, calificación y certificación energética, si bien el proceso es similar ya que el motor de cálculo energético permite obtener la cantidad de energía necesaria en base a las condiciones operacionales, estas difieren entre la simulación (cuyo objetivo es realizar un análisis fidedigno con la realidad, es decir las condiciones exactas de localización, temperaturas y uso) y la calificación (cuyo objetivo es obtener una clasificación del inmueble frente a los demás inmuebles en base a perfiles de uso y datos climáticos estandarizados, es decir dependen del uso del inmueble y las zonas climáticas) (GARCÍA-ALVARADO, GONZÁLEZ, BUSTAMANTE, BOBADILLA, & MUÑOZ, 2014; Ministerio de Fomento, 2017a). Por último la certificación es generar, según los parámetros legalmente establecidos, la documentación derivada de la calificación en el que un técnico cualificado asume la responsabilidad de la veracidad del certificado energético.

2. Modelo de Energía del Edificio

Previamente a la realización de la simulación energética es necesario crear el modelo arquitectónico en BIM. Posteriormente a este modelo se deber ir enriqueciéndolo con información térmica para conseguir el Modelo de Energía del Edificio también denominado BEM (Building Energy Modeling). Para realizar el modelado existen diversas opciones (Allplan, AECOsim, IFC Builder, Edificius, Revit, ArchiCAD,...) En este caso se han seleccionado las dos herramientas más empleadas o conocidas según la encuesta de situación realizada por es.BIM que son Revit ® y ArchiCAD (GÓMEZ-MUÑOZ, DUEÑAS-ABELLÁN, BRAVO-BARTOLOMÉ, MARTÍN-DORTA, & MOLINS-SALA, 2017). En ambas herramientas se ha modelado una vivienda unifamiliar aislada de planta baja y planta primera (figura 1). Cabe resaltar que el bajo cubierta no es habitable. En los siguientes subapartados se hace mención a las características necesarias para realizar el proceso de simulación energética de un inmueble. Se especifican por ambas herramientas las peculiaridades a tener en cuenta a la hora del modelado de la información.



Fig. 1. Modelo de ejemplo

2.1. Materiales

Para el correcto cálculo de las ganancias y pérdidas energéticas por los cerramientos es necesario definir sus características físicas (conductividad, densidad y calor específico,...). Por ello para que los cálculos que se realiza mediante HULC y las herramientas de modelado partan de los mismo datos es necesario definir los materiales según la biblioteca de elementos constructivos del CTE (Gobierno de España, 2010).

En **Revit** es necesario cambiar todos los materiales definidos en el modelo para que sus datos coincidan con los del CTE. Por ejemplo, con el cerramiento tipo de la vivienda, y una vez definido la totalidad del muro de fachada con los materiales del catálogo, da como resultado una resistencia térmica de $2,8272 \text{ m}^2 \text{ K} / \text{W}$, equivalente a una transmitancia de $0,35 \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}$. El caso de la definición de la transmitancia térmica de los **huecos** no es tan directa, Puesto que las opciones que aparecen de cambio de carpinterías son bajo el parámetro “Construcción analítica” que tiene predefinido un conjunto de soluciones. Si se desea especificar el valor real es necesario editar la configuración a través de un editor de texto plano, pero cabe resaltar que es necesario tener unas nociones básicas de programación informática para no dejar el archivo inservible.

En **ArchiCAD** se puede acceder a la edición de los parámetros anteriormente comentados (*Opciones - Atributos de elementos - Materiales de construcción*). Cabe resaltar que para los huecos si se puede especificar exactamente la transmitancia térmica desde el software (herramienta Ecodesigner). Si bien el valor que se emplea en esta herramienta no se exporta en el modelo IFC.

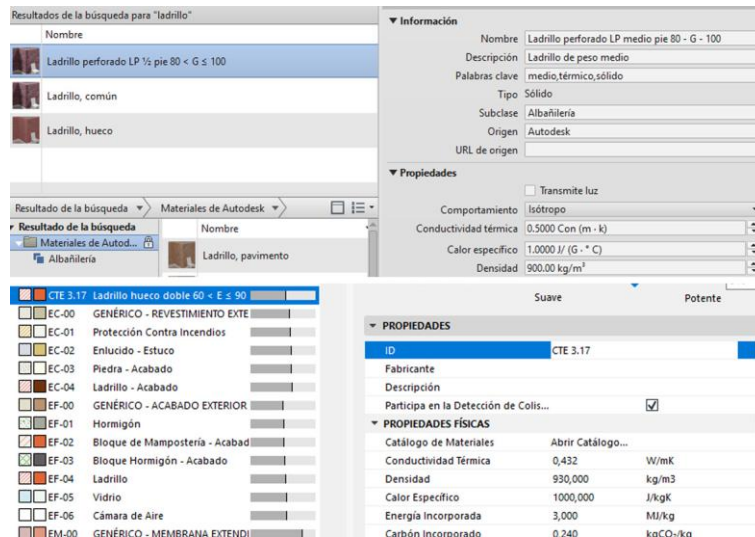


Fig. 2. Definición de materiales Revit (arriba) ArchiCAD (abajo)

2.2. Perfiles de uso

Según el CTE el perfil de uso se define como la descripción hora a hora, para un año tipo, de las cargas internas (carga sensible por ocupación, carga latente por ocupación, equipos, iluminación y ventilación) y temperaturas de consigna (alta y baja) de un espacio habitable. Está determinado por el uso del espacio habitable, su nivel de cargas internas y su periodo de utilización (Ministerio de Fomento, 2017a)

En el caso de ejemplo que se muestra se emplea el perfil de uso definido en el apéndice C del CTE-DB HE 1 (Ministerio de Fomento, 2017a) denominado “Uso Residencial” en el que se definen las consignas, ocupaciones, etc. de las 24 horas del día, 365 días del año para una carga interna baja. De igual modo se aplicará los criterios del DB HS3 (Ministerio de Fomento, 2017b) para diferenciar los espacios: Dormitorio principal, Resto de dormitorios, Salas de estar y comedores y locales húmedos.

Tabla 1. Ocupación y cargas internas de los espacios del caso de ejemplo.

Nombre espacio	Área (m ²)	Ocupación	Calor sensible* (W/m2)	Calor latente* (W/m2)	Área x C. sensible (W)	Área x C. C. Latente (W)	C. Sensible (W/pers.)	C. Latente (W/pers.)
Baño 1	5,10	7	2,15	1,36	10,97	6,94	1,57	0,99
Patinillo	0,49	0						
Escalera	6,14	0						
Lavadero	3,29	1	2,15	1,36	7,07	4,47	7,07	4,47
Dormitorio invitados	10,79	2	2,15	1,36	23,20	14,67	11,60	7,34
Entrada	11,16	0						
Cocina	9,56	7	2,15	1,36	20,55	13,00	2,94	1,86
Salón	18,05	7	2,15	1,36	38,81	24,55	5,54	3,51
Dormitorio 1	10,79	2	2,15	1,36	23,20	14,67	11,60	7,34
Escalera	6,56	0						
Dormitorio principal	12,10	2	2,15	1,36	26,02	16,46	13,01	8,23
Dormitorio 2	9,84	1	2,15	1,36	21,16	13,38	21,16	13,38
Distribuidor	6,71	0						
Baño 2	5,10	7	2,15	1,36	10,97	6,94	1,57	0,99
Patinillo	0,88	0						
Armario	0,94	0						
Falso techo**	110,42	0						

*Según CTE. ** Para facilitar la lectura de la tabla se ha sumado todos los espacios de este tipo.

Para realizar esto usando Revit se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Área por persona: éste valor se obviará debido a que más adelante se podrá definir sin que sea en función del área.

- Incremento de valor sensible por persona e incremento de calor latente por persona: estos dos parámetros obligan a tener, para cada espacio, un valor distinto (y por lo tanto un tipo de espacio distinto) por cada habitación debido a que cada una de ellas tendrá valores distintos de superficie. Esto se debe a que en el CTE el calor sensible viene dado en función de la superficie, mientras que en Revit es en función de la ocupación.

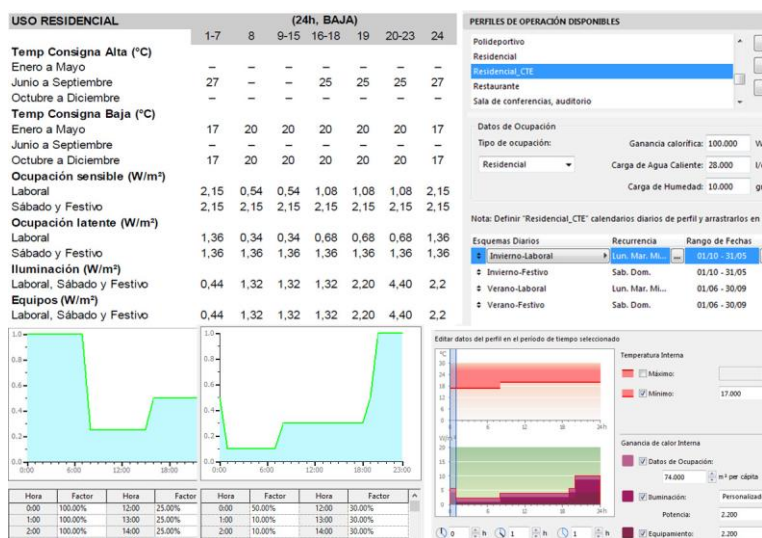


Fig. 3. Configuración de los perfiles de uso del CTE (superior izq.), de Revit (abajo izq.) y ArchiCAD (der)

En **ArchiCAD**, se debe tener en cuenta que la ganancia de calor sensible y latente, que en Revit está definido por separado, se definen ambos de forma conjunta en ArchiCAD.

En este caso se puede observar que a diferencia de Revit se puede definir la estacionalidad de las cargas y tanto fines de semana como días festivos. (Figura 3 – der.)

2.3. Definición de espacios o bloques térmicos

Una vez definido las características físicas de los cerramientos empelados en el modelo es necesario determinar el volumen y el tipo de espacios del inmueble, cabe destacar que para generar el certificado energético se tiene en cuenta la superficie útil de los espacios habitables del inmueble (Ministerio de Fomento, 2017a). Por ello se debe distinguir los espacios en **no habitables** y **habitables** y dentro de estos últimos si están acondicionados térmicamente, es decir si tienen un sistema de generación de energía que se denominada **acondicionado** y si no dispone de él se denomina **no acondicionado**. También es necesario definir la densidad de las fuentes internas, para ello se especifican dentro de lo que se denominada perfiles de uso de la estancia o bloque térmico.

Las consideraciones a tener en cuenta en **Revit** para crear los espacios serían las siguientes:

Crear espacio mediante la herramienta Espacio estableciendo el “Desfase a 0.00”, si fuese necesario usar la herramienta “Separador de espacio” para aquellos espacios que no están delimitados por un muro. De igual modo es necesario definir los espacios de falso techo, ya que aunque no sea una superficie útil propiamente dicha, sí que es un volumen que afecta a los cálculos térmicos. Por tanto de debe verificar, mediante una sección, que los espacios ocupables y los plénium, están correctamente definidos, aunque se deberá corregir los espacios de escaleras y de patinillo. Por último se debe agrupar los espacios en zonas de climatización. Las **zonas de climatización** (en ArchiCAD se denominan **bloques térmicos**) son, como criterio general, conjuntos de espacios que mantendrán los mismos niveles de calefacción, refrigeración, control de humedad o la combinación de todos o alguno de ellos y que están controlados por un mismo o por varios equipos. Además de esto, los espacios no habitables y que no estén climatizados deberán estar en una zona propia.

En el ejemplo planteado se creará una zona de climatización para las estancias habitables acondicionadas de planta baja y planta primera, otra para el patinillo (no se considera plénum de falso techo ni como local con ocupación) y otro para los falsos techos.

En la definición del espacio (campos) se pueden seleccionar Nombre, Plénum, Ocupable, Tipo de acondicionamiento, Tipo de espacios, Tipo de construcción, Número de personas, etc. Se deberá activar las casillas de Plénum en todos los Espacios de falso techo correspondientes. También se desactivará la casilla de patinillo en el parámetro Ocupable.

En el parámetro Tipo de acondicionamiento, es dónde se indica si el espacio sea sólo calentado, solo enfriado, climatizado (calentado y enfriado), sin acondicionar, si será ventilado (con ventilación forzada) o si lo será con ventilación natural. En el ejemplo planteado se selecciona para todos los espacios ventilación natural excepto en los patinillos que será sin acondicionar. Los espacios de falsos techos ya toman el valor sin acondicionar automáticamente al haber seleccionado Plénum.

ID	Nombre	Perfil de Operación	Zonas	Área [m²]	Volumen [m³]
001	Baño 1 y 2	00 Baño 1 y 2	2	10,28	26,23
002	Cocina	01 Cocina	1	9,55	22,93
003	Dormitorio 2	02 Dormitorio 2	1	11,11	29,99
004	Dorm. invitados y Dorm. 1	03 Dorm. invitados y Dorm. 1	2	21,76	55,50
005	Dormitorio principal	04 Dormitorio principal	1	12,77	32,90
006	Lavadero	05 Lavadero	1	3,35	8,03
007	Salas de estar y comedores	06 Salas de estar y comedores	1	18,20	43,68
008	Pasillos	07 Pasillos	4	17,86	87,38
009	No acondicionados	No acondicionado	12	123,96	75,77



Fig. 4. Espacios (Revit) y Bloques térmicos (ArchiCAD)

En **ArchiCAD**, se deben definir las habitaciones de forma similar a lo que se hace en Revit y siguiendo los mismos criterios, en caso de doubles alturas, los espacios inferiores deben alcanzar la parte inferior de las habitaciones superiores. Una vez definidas las habitaciones, se deben detallar los bloques térmicos del modelo. Como ya se ha explicado un **bloque térmico** son agrupaciones de habitaciones con características de cálculo similares para la evaluación energética. Así, por ejemplo, en una vivienda unifamiliar, se pueden dividir los bloques térmicos según las cargas de cada habitación, mientras que en un edificio de viviendas es más recomendable hacer un bloque térmico por cada vivienda individual.

2.4. Equipamiento

Como se ha comentado en el apartado anterior es necesario definir qué tipo de equipos activos o características pasivas tienen cada uno de los bloques térmicos o espacios del inmueble. Para ello es fundamental saber exactamente las características de cada equipo, combustible que emplea, rendimiento, etc. para realizar una correcta estimación del consumo energético de energía primaria asociado.

En el caso de **Revit** el equipamiento se debe seleccionar de una lista predefinida, sin posibilidad de edición ni de definir sus características.

Por el contrario, **ArchiCAD** es más versátil y se puede establecer desde el tipo de ventilación natural en función del tipo de estancia hasta la caldera de ACS y calefacción con aporte de energías renovables o no, y si ese espacio dispone de un equipo de aire acondicionado.

Por ejemplo, y siguiendo las directrices del CTE DB HS-3, el Baño 1, el Lavadero, la Cocina y el Baño 2 tendrán una ventilación de 8,25 l/s. El Dormitorio de invitados, el Dormitorio 1 y el Dormitorio 2 tendrán 4,00

l/s, el salón 10,00 l/s y el Dormitorio principal 8,00 l/s. Es decir, se tendrán 4 tipos distintos de sistemas de construcción de ventilación. Habrá que configurarlo como ventilación natural.

Se deberán seleccionar el tipo “No especificado o Natural” y dentro del calendario de operativa definir las unidades como l/s y poner un caudal de suministro y residual de 8,25 l/s. Al colocar el mismo valor, se estará bajo la hipótesis de que considera ventilación natural sin recuperación de calor. A los recintos habitables, se les añadirá también un calentador de gas natural para el agua caliente y la calefacción.

2.5. Puentes térmicos

El CTE define como puente térmico aquella zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento (Ministerio de Fomento, 2017a)

Si bien los puentes térmicos dependen en gran medida de la construcción de objeto, según varios autores el acoplamiento térmico a través de los puentes térmicos supone desde un 20 a un 30 % del total (DOMINGO, 2011; SÁNCHEZ-MATEOS, 2016). Es por tanto que para realizar una correcta simulación se debe considerar para su cálculo.

Lamentablemente **Revit** no tiene en cuenta los puentes térmicos, puesto que resulta la misma demanda de calefacción tanto si el aislante pasa por el canto de los forjados, como si los forjados diesen directamente al exterior.

Por el contrario **ArchiCAD** incorpora un simulador de puentes térmicos. Pero es necesario plasmar de forma manual la longitud de puente térmico y en qué bloques térmicos se encuentran.

2.6. Origen de energía

Uno de los factores principales por los cuales se clasifican los inmuebles es por las emisiones de CO₂ que emiten al garantizar el confort térmico. Para su cálculo es necesario conocer el origen y coeficientes de paso de la energía que es suministrada a la vivienda.

Mientras que en **Revit** no es posible especificar los factores de origen de la energía, en **ArchiCAD** se puede definir ambos parámetros. Para ello se emplea los definidos por el IDEA (Ministerio de Industria, 2016)

Otro factor que influye en la cantidad de emisiones CO₂ es el origen de la generación de la electricidad, si bien cambia en función de la comunidad o incluso de la empresa suministradora se han establecido los datos extraídos del Sistema Eléctrico Español referidos, ver tabla 2 (REE, 2019)

Tabla 2 Estructura de generación del Sistema Eléctrico Español (REE, 2019)

Origen	2018
Nuclear	20.4
Eólica	19
Hidráulica	13.9
Carbón	14.3
Ciclo combinado (Gas)	11.5
Cogeneración y resto/Cogeneración (Fuel)	13.6
Solar fotovoltaica	3
Solar térmica	1.7
Térmica renovable/Otras renovables Residuos	1.4
	1.2

2.7. Análisis solar

Revit no tienen en cuenta el efecto de sombreado como una reducción de la ganancia solar a través de los huecos así si por ejemplo si existiese un hipotético muro enfrente del modelo hacia el sur, tapando las ventanas, se observará que las ganancias a través de la ventana del salón se mantienen invariables. En cambio en **ArchiCAD** se pueden ver las ganancias solares, y observar que en verano hay menos incidencia solar directa debido a que el sol tiene un ángulo más alto (figura 3). En la imagen (sup-izq.) se muestra el porcentaje de acristalamiento expuesto de forma directa al sol y radiación solar directa sobre superficies acristaladas (inf-izq.)

Cabe destacar que dicho software tiene en cuenta efectos como el de sombras autoarrojadas, no sólo de elementos sólidos permanentes, si no de vegetación, diferenciando entre árboles de hoja caduca y los de hoja perenne.

Se puede observar que con un árbol de hoja caduca en verano se produce una reducción generalizada del porcentaje de soleamiento, así como una pequeña reducción en las horas centrales del día durante el resto del año (figura 3 – der-centro).

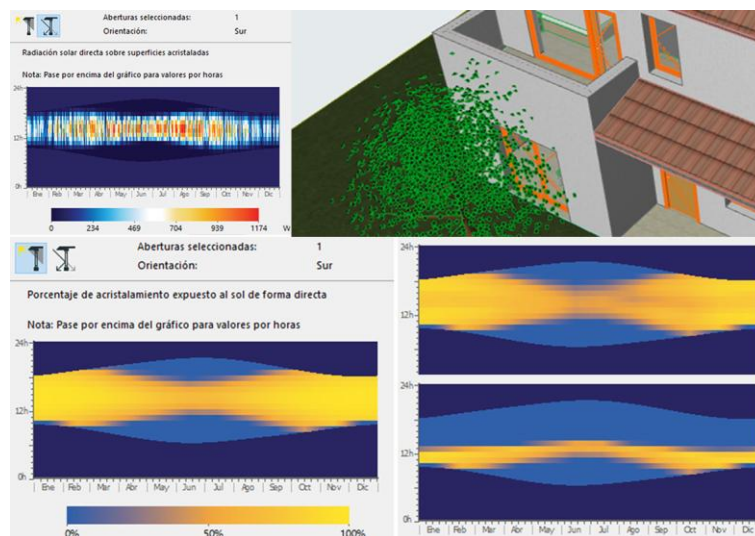


Fig. 5. Ganancia solar con y sin objetos próximos - efecto de vegetación caduca y perenne

Si se pone un árbol de hoja perenne, se puede observar que durante todo el año arroja sombra a partir del mediodía, es decir, cuando el sol está más alto mientras que en otros momentos del día, como el sol está más bajo y la copa no le afecta, deja pasar el sol. (Figura 3 – esquina-inf-der)

3. Datos climáticos empleados

Para poder comparar los resultados de las distintas herramientas se debe emplear los mismos datos que emplea la HULC para realizar las certificaciones, es por ello que se han usado los archivos en formato epw descargados de EnergyPlus (EnergyPlus, n.d.) identificados como SWEC “*Spanish Weather for Energy Calculations*” desarrollado por el Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla. Cabe destacar que para todas las zonas climáticas se emplea un viento constante de 6.7 m/s, aquí una vez más se constata la diferencia entre la simulación (datos reales) y la calificación (datos estadísticos representativos).

4. Interoperabilidad

Para realizar la certificación energética es necesario emplear las herramientas reconocidas. En este caso, partiendo de Revit y de ArchiCAD se presentan las siguientes opciones:

4.1. Exportar el modelo a HULC mediante el formato xml

Para ambos softwares existen plugins para realizar esta exportación, si bien el que mejor funciona es el que emplea Revit, denominado ApliCAD CTE-HULC. En el caso de ArchiCAD existe un plugin que permite exportar el modelo a LIDER (versión previa a la HULC). Este plugin está obsoleto y tiene un funcionamiento errático. En ambos casos el problema reside en que únicamente se exportar el modelo, la información del certificado no se retroalimenta para quedar almacenada en el modelo.

4.2. Exportar el modelo en IFC e importarlo en Cypetherm HE Plus

En este caso se deber realizar la exportación del modelo en IFC desde Revit y ArchiCAD, una vez realizado se debe importar en la herramienta oficial Cypetherm HE Plus. Cabe resaltar que se debe elegir bien los “traductores” hacia el IFC, seleccionando la información necesaria. Para ello no se debe realizar la exportación a IFC directamente con las opciones por defecto, ya que de hacerlo así no se obtendrá un modelo con todos los elementos necesarios. El proceso empleando Revit ha sido Insatisfactorio, puesto requiere demasiados ajustes adicionales para completar el modelo, mientras que con el IFC de ArchiCAD se obtiene el modelo sin necesidad de cambios sustanciales, algún pequeño ajustes o la inclusión manual de todas las ventanas. Una vez realizado estos pasos, se obtienen unos resultados de cálculo muy similares a los de la herramienta Ecodesigner de ArchiCAD.

5. Cálculo de energía primaria y emisiones de CO₂

Se emplea el método descrito en el documento del IDAE denominado “Calificación de la eficiencia energética de los edificios”(IDAE, 2015) a continuación se muestra el proceso:

$$C_1 = \frac{(R \cdot I_0 / \bar{I}_r) - 1}{2 \cdot (R - 1)} + 0,6 \quad (1)$$

$$C_2 = \frac{(R' \cdot I_0 / \bar{I}_s) - 1}{2 \cdot (R' - 1)} + 0,5 \quad (2)$$

Siendo:

I_0 : Valor del indicador analizado del edificio objeto.

\bar{I}_r : Valor medio del indicador del parque de referencia de edificios nuevos de viviendas

R : Ratio entre el valor de I_r y el valor del indicador correspondiente al percentil del 10 % del parque de referencia de edificios nuevos de viviendas

\bar{I}_s : Es el valor medio del indicador del parque de referencia de edificios existentes de viviendas

R' : Es el ratio entre el valor de I_s y el valor del indicador correspondiente al percentil del 10 % del parque de referencia de edificios existentes de viviendas

I_r, R, I_s, R' Correspondientes a las diferentes zonas climáticas se incluyen en el Anexo III.

De las ecuaciones (1) y (2) sólo se necesitan los valores de energía primaria no renovable y de emisiones anuales de CO₂, ya que el resto de valores son extraídos del documento anteriormente mencionado. En ArchiCAD se puede obtener, entre otra mucha información estos datos (figura 6)

Valores Clave			
Datos generales del proyecto			
Nombre Proyecto:	Vivienda A v21 v2 ...	Coefficientes de transfer.	Valor U [W/m²K]
Ubicación Ciudad:		Promedio Edificio Entero:	0,92
Latitud:	43° 21' 6" N	Pavimentos:	1,90 - 1,90
Longitud:	8° 24' 26" O	Externo:	0,29 - 8,33
Altitud:	0,00 m	Subterráneo:	--
Origen de Datos Climáticos:	ESP_La...ento.epw	Aberturas:	2,19 - 3,82
Fecha de Evaluación:	04/09/2018 10:46:20		
Datos de geometría del edificio			
Área bruta de la planta:	248,78 m²	Valores Anuales Especificos	
Área de Suelo Tratado:	228,84 m²	Energía calorífica Neta:	30,85 kWh/m²a
Área del Envoltente Exterior:	281,72 m²	Energía refrigerante Neta:	2,98 kWh/m²a
Volumen ventilado:	382,41 m³	Energía Neta Total:	33,82 kWh/m²a
Ratio acristalamiento:	10 %	Consumo de Energía:	85,41 kWh/m²a
		Consumo de Combustible:	83,54 kWh/m²a
		Energía Primaria:	120,74 kWh/m²a
		Coste Combustible:	5,63 EUR/m²a
		Emisión CO ₂ :	22,17 kg/m²a
Datos de rendimiento de la estructura			
Infiltración a 50Pa:	11,53 AAH	Días-Grado	
		Calefacción (HDD):	1966,27
		Refrigeración (CDD):	1443,03



Fig. 6. Extracto del informe de Ecodesigner - valores de energía primaria y de emisiones de CO₂.

El valor de I_r se obtiene de la tabla III.1(IDAE, 2015). En el caso de ejemplo, zona climática C1 el valor de consumo de energía primaria no renovable sumando los valores de calefacción y de ACS y los valores de emisiones de CO₂ calefacción y ACS

$$I_r = 77,20 + 19,54 = 96,74 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año} \tag{3}$$

$$I_r = 17,00 + 4,73 = 21,73 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{año} \tag{4}$$

El valor de $R = 1.5$ se obtiene de tabla III.5 en función de la ZCI y ZCV.

Con los datos anteriores se introducen en las formulas (1) y (2) se calcula los resultados (5) y (6) que si se consulta la tabla 3 se obtiene la calificación de "D" en ambos indicadores.

$$C_1 = \frac{(R \cdot I_0 / \bar{I}_r) - 1}{2 \cdot (R - 1)} + 0,6 = \frac{(1,50 \cdot 120,74 / 96,74) - 1}{2 \cdot (1,50 - 1)} + 0,6 = 1,47 \tag{5}$$

$$C_2 = \frac{(R' \cdot I_0 / \bar{I}_s) - 1}{2 \cdot (R' - 1)} + 0,5 = \frac{(1,50 \cdot 22,17 / 21,73) - 1}{2 \cdot (1,50 - 1)} + 0,6 = 1,13 \tag{6}$$

Tabla 3. Calificación de la eficiencia energética de los edificios.(IDAE, 2015)

Calificación	Índice
A	C1 < 0,15
B	0,15 ≤ C1 < 0,50
C	0,50 ≤ C1 < 1,00
D	1,00 ≤ C1 < 1,75
E	1,75 ≤ C1
F	1,75 ≤ C2 < 1,00
	1,00 ≤ C2 < 1,50
G	1,75 ≤ C1
	1,50 ≤ C2

6. Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos con las herramientas empleadas.

Tabla 4. Resultados obtenidos tras la calificación

Indicador	Cypetherm HE Plus		ArchiCAD		HULC		CE3X	
	Valor	Letra	Valor	Letra	Valor	Letra	Valor	Letra
Demanda energía primaria no renovable kWh/m² · año	138	D	121	D	117	D	158	E
Emisiones CO₂ kg/m² · año	29	D	22	D	25	D	33	E

Se puede observar que los valores calculados directamente por ArchiCAD son muy similares a los obtenidos por una herramienta reconocida como HULC. En cambio, otra herramienta oficial como CE3X es el programa que más varía su resultado en comparación con el resto de programas utilizados.

Para comparar resultados, se realizó la certificación a partir de CE3X sin ningún tipo de importación de datos obteniendo un resultado y una calificación más conservadora a la obtenida por Cypetherm HE Plus y por ArchiCAD.

En cambio, al realizar la certificación en HULC de forma independiente, se obtienen valores casi idénticos a los de ArchiCAD, habiendo diferencias incluso con respecto a herramientas oficiales como CE3X y Cypetherm HE Plus.

7. Conclusiones

Siguiendo el método planteado, se puede afirmar que ArchiCAD permiten acercarse con buen ajuste a los resultados que proporcionan las herramientas oficiales de certificación energética. En cambio Revit, no permite obtener el certificado ya que no se obtienen los valores necesarios para obtener una calificación energética, que son el consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de CO₂.

Cabe destacar que la compañía Autodesk disponen de varias soluciones para el análisis energético como son Insight o Green Building Studio, pero lamentablemente ninguno de éstos tienen en cuenta los puentes térmicos, por lo que resulta complicado recomendar algún programa de Autodesk para realizar la certificación directamente sobre él. Existe un plugin para Revit denominado ApliCAD CTE-HULC que permite exportar el modelo del edificio generado en Revit a HULC, pero el cálculo de la certificación energética se realizaría dentro de HULC.

Uno de los aspectos que aún le queda más por desarrollar en la certificación dentro del ámbito español es el de la interoperabilidad a través del formato estándar IFC no sólo a causa del desconocimiento de la forma adecuada de realizarlo, puesto que no es un proceso simple, sino que además una de las tesis ampliamente difundidas es que es un formato que no es funcional. Se puede concluir que, si bien el IFC no es perfecto, existen diversos software que son capaces de leer correctamente dicho formato, o de proporcionarnos una base sobre la que trabajar.

Por otro lado, un aspecto a mejorar y que es común a todas las herramientas, es la correcta interpretación de la composición de las distintas capas de materiales de los muros y del resto de elementos constructivos, siendo necesario actualmente repetir su definición en las herramientas reconocidas.

Hoy en día, la única manera de obtener una certificación energética reconocida es el empleo de software reconocido, para ello es necesario acudir a interoperabilidad del software de modelado para importar el modelo enriquecido a una herramienta reconocida.

8. Referencias

- DOMINGO, J. M. (2011). *Evaluación energética de los puentes térmicos en edificación*. Trabajo Final de Máster. Madrid, Universidad Politécnica de Madrid <<http://oa.upm.es/10136>> [Consulta: 5 de abril 2019]
- ENERGYPLUS. *Weather Data | EnergyPlus*. <<https://energyplus.net/weather>> [Consulta: 5 de abril 2019]
- GARCÍA-ALVARADO, R., GONZÁLEZ, A., BUSTAMANTE, W., BOBADILLA, A., y MUÑOZ, C. (2014). “Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares.” en *Informes de la Construcción*. <<https://doi.org/10.3989/ic.12.108>> [Consulta: 5 de abril 2019]
- GOBIERNO DE ESPAÑA. (2010). *Catálogo de elementos constructivos* <<https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-catalogo-informatico-elementos-constructivos>> [Consulta: 5 de abril 2019]
- GÓMEZ-MUÑOZ, G., DUEÑAS-ABELLÁN, C., BRAVO-BARTOLOMÉ, C., MARTÍN-DORTA, N., y MOLINS-SALA, M. (2017). *Encuesta de Situación Actual - es.BIM* <https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/05/GT1_Estrategia-SG1_3_Encuesta_de_Situacion.pdf> [Consulta: 5 de abril 2019]
- IDAE. (2015). *Calificación de la eficiencia energética de los edificios*. <<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/normativamodulosutilizacion/20151123-Calificacion-eficiencia-energetica-edificios.pdf>> [Consulta: 5 de abril 2019]
- MINISTERIO DE FOMENTO (2017). *CTE Documento Básico HE - Ahorro de Energía*.
- MINISTERIO DE FOMENTO. (2017) *CTE Documento Básico HS - Salubridad*.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, E. Y T. (2016). *Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España*. <https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf> [Consulta: 5 de abril 2019]
- MINISTERIO DE VIVIENDA (2006). *Código Técnico de la Edificación (CTE)*. Real Decreto 314/2006. Madrid: BOE
- REE. (2019). *Estructura de generación - Series estadísticas nacionales - Red Eléctrica de España* <<https://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/series-estadisticas/series-estadisticas-nacionales>> [Consulta: 5 de abril 2019]
- SÁNCHEZ-MATEOS, M. (2016). “Influencia de puentes térmicos en la eficiencia energética de los edificios. Caso práctico: propuestas para rehabilitación de edificio residencial.” En *III Congreso Edificios Energía Casi Nula*. Madrid: Grupo Tecma Red S.L. (Ed.) Disponible en: <<https://www.construible.es/comunicaciones/influencia-puentes-termicos-eficiencia-energetica-edificios-caso-practico-propuestas-rehabilitacion-edificio-residencial>> [Consulta: 5 de abril 2019]
- VITRUBIO, M. L. (2013). *Los diez libros de Arquitectura*. Madrid: Alianza Editorial S. A.

BIM en el diseño y cálculo de un viaducto ferroviario de acceso al Puerto de Castellón (España)

García-Valcarce, Pablo^a; Vilardaga-Rodrigo, Iván^b y Guerra-Torrallbo, Juan Carlos^c

^aDepartamento de Ingeniería Civil - Universidad Europea de Madrid, España. pablogar91@hotmail.com, ^bDepartamento de Ingeniería Civil - Universidad Europea de Madrid, España juancarlos.guerra@universidadeuropea.es, ^cDepartamento de Ingeniería Civil - Universidad Europea de Madrid, España. ivan.vilardaga@universidadeuropea.es

Abstract

On account of the necessity of the introduction of BIM methodology in the fields of Architecture and Civil Engineering, the following Final Degree Project, has been carried out, applying this multidisciplinary procedure with the aim of training students in the usage of said system.

The project aims to provide a series of preventive measures to a future rise in sea level in Castellón de la Plana. The proposal includes a renovation of the Port that would aid in holding up against the rise of the sea, a 2Km viaduct serving as a connection between the mainland and the port, and a parking lot.

In the model, a rendition of the hypothetical effects was developed in order to see how the area would be affected. Then, a terrain model and the elements of each structure were generated, in my case: footings, abutments, piles, prefabricated beams, external tensioning and superstructure.

Once the model was created, the plans of structures were generated, a video that allows for a 5D simulation of the construction process with its Budget, and a video that allows the final visualization of construction with the capability of being observed with the use of virtual reality glasses.

Keywords: BIM, Bridge, Civil Engineering, Final degree Project, Multidisciplinary Project.

Resumen

Bajo la necesidad de introducir la metodología BIM en los ámbitos de la Arquitectura e Ingeniería civil se ha realizado el siguiente Trabajo Fin De Grado (TFG), aplicando este procedimiento multidisciplinar con el objetivo de la formación transversal del alumnado en dicho software.

El trabajo realizado pretende poder aportar una serie de medidas preventivas a una futura subida del nivel del mar en Castellón de la plana. La obra que se propone es una remodelación del Puerto que soporte dicha subida del mar, un viaducto de 2Km a modo de lanzadera entre tierra firme y el puerto, y un aparcamiento.

En el modelo se realizó una previsualización en la zona para observar cómo se vería afectada. A continuación, se generó un modelo del terreno y los elementos de los que constaba cada estructura, en mi caso: zapatas, estribos, pilas, vigas prefabricadas, tesado externo y superestructura.

Una vez creado el modelo se generaron planos de las estructuras, un video que permite una simulación 5D del proceso constructivo con su presupuesto, un video que permite la visualización de la obra en la zona con capacidad de ser visualizado en gafas de realidad virtual.

Palabras clave: BIM, Ingeniería Civil, Proyecto multidisciplinar, Trabajo fin de Grado, Viaducto.

Introducción

El objeto de esta comunicación es presentar el TFG defendido en la Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño de la Universidad Europea de Madrid en julio de 2018 por el alumno Pablo García Valcarce, que obtuvo la máxima calificación académica. El TFG corresponde a un trabajo autónomo que cada estudiante realiza bajo la orientación de un tutor académico y que permite al estudiante mostrar de forma integrada los contenidos formativos recibidos y las competencias adquiridas asociadas al título de Grado en Ingeniería Civil.

Este TFG tiene el planteamiento multidisciplinar que persigue el Departamento de Ingeniería Civil, siendo un trabajo realizado en grupo donde cada alumno debe diseñar y calcular una estructura particular dentro de un Proyecto común e intentando acercarse lo máximo posible a una metodología de trabajo BIM. En concreto, se aborda la renovación y adecuación de la zona del Puerto de Castellón de la Plana y su acceso por una posible subida del nivel medio del mar para un periodo de 100 años.

En el trabajo presentado se plantean una serie de posibles soluciones constructivas que integran diferentes disciplinas de ingeniería civil como la renovación del puerto, la creación un viaducto de 2 Km a modo de lanzadera para conectar tierra firme con el puerto, un aparcamiento subterráneo que proporcione un adecuado servicio de estacionamiento al personal que utilice la lanzadera y, por último, la rehabilitación y construcción de las carreteras afectadas.

Más concretamente, la infraestructura de la cual se ocupa el presente artículo consiste en un viaducto de 2 Km de longitud que facilita el acceso al Puerto de Castellón. El diseño de la estructura, cálculo estructural de la misma, su modelado 3D y la creación del modelo BIM 5D de la estructura.

Como este proyecto se centra en la utilización de la metodología BIM, un aspecto esencial era el trabajo colaborativo, para lo cual se creó un conjunto de carpetas con el software Autodesk 360, que fue el núcleo de unión de todo el proyecto, y que permitió a los estudiantes trabajar en tiempo real de forma conjunta y donde almacenar toda la información tanto en local como en la nube.

Se utilizaron herramientas y/o programas de software que tuvieran interoperabilidad bidireccional y la menor pérdida de información posible. Gracias a los softwares utilizados no se dio ningún caso de pérdida de información. Se emplearon los siguientes softwares, que combinados permiten alcanzar un modelo BIM 5D: ArcGIS (10.3), Sap 2000 (2016), AutoCAD Civil 3D (2018), Revit (2018), Microsoft Project (2018), Navisworks (2018) y Autodesk BIM 360 (2018), tal y como muestra la Fig. 1 a continuación adjunta.

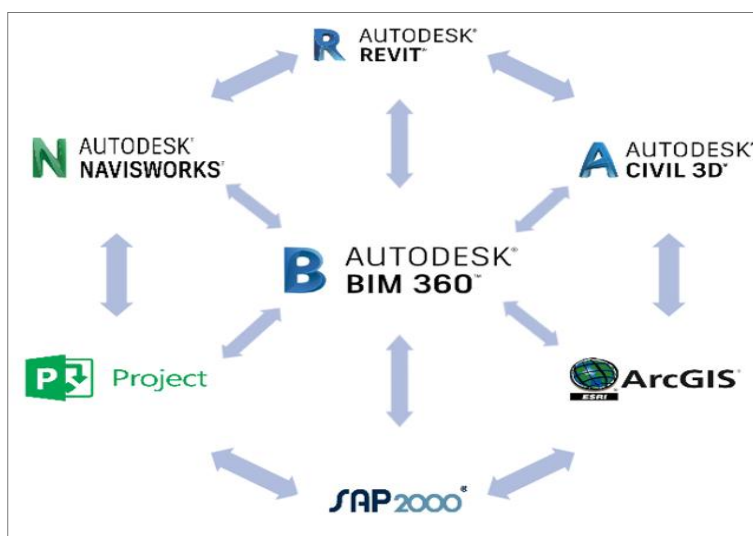


Fig. 1 Diagrama de las herramientas software empleadas en el modelo BIM 5D. Fuente: Elaboración propia

1. Objetivos

El objetivo primordial de este trabajo multidisciplinar es la de evidenciar la evolución formativa en el software y metodología BIM adquirida por el alumno de Grado en Ingeniería Civil mostrando su Trabajo Final de Grado.

Como objetivos secundarios están:

- Crear un entorno BIM con la vinculación de varios proyectos integrados en la ingeniería Civil.
- Emplear diferentes softwares BIM para la realización del proyecto.
- Diseñar de forma integrada diferentes infraestructuras del sector de la ingeniería Civil.
- Modelar en BIM los elementos del viaducto manteniendo su funcionalidad y facilitando su comprensión.

2. BIM dentro de la Ingeniería Civil en la formación universitaria Española

En la formación universitaria en BIM, una de las mayores dificultades es la falta de formación de los profesionales y docentes (Nejagt et al, 2012), por lo que esta formación inicialmente interna se ha ido extendiendo y ampliando hacia títulos propios de postgrado sobre todo en el ámbito de la Arquitectura y la Edificación y, en el último año, también en la Ingeniería Civil.

Las universidades no son ajenas a esta realidad y han empezado a implantar programas de formación en BIM para mejorar significativamente las oportunidades laborales de los alumnos egresados (Hamid et al, 2016; Hsieh, 2015). BIM ayuda a visualizar lo que se diseña en un ambiente simulado (Prieto y Reyes, 2015) y entender el funcionamiento y la operatividad de los diferentes elementos integrados, por lo que se muestra como una oportunidad de trabajar tanto la parte teórica como la parte práctica.

Si embargo, en el ámbito de la ingeniería civil en España, las titulaciones son habilitantes para el ejercicio de la profesión, por lo que la inclusión de esta formación como parte fundamental del plan de estudios requiere de un proceso lento que incluye una modificación o reestructuración de la memoria y su aprobación por la Agencia Nacional de Acreditación (ANECA).

En la Universidad Europea de Madrid se diseñó un Plan de Integración de Formación BIM en el plan de estudio existente de Ingeniería Civil, estableciéndose cuatro etapas de capacitación BIM a nivel educativo basadas en las análogas en la industria formuladas por Succar (2009) y fijándose como objetivo para el periodo formativo completo la adquisición de la etapa 3 correspondiente a la capacitación para realizar experiencias piloto con actividades coordinadas entre asignaturas compartiendo un mismo modelo federado (Vilardaga 2017).

No cabe duda que la mejor preparación para los estudiantes se basa en la formación aplicada a proyectos reales (Behzadan et al, 2011), siendo por lo tanto el TFG de un proyecto constructivo la oportunidad idónea para aplicar BIM en esta última fase de capacitación.

El diseño inicial de integración de BIM en el Plan de Estudios del Grado en Ingeniería Civil en dicha universidad se implantó en el curso académico 2014-2015, en ese curso se encontraron una serie de dificultades que hicieron necesario reajustar y reformular muy significativamente la distribución, así como las etapas de capacitación que se iban adquiriendo progresivamente a lo largo de los diversos cursos y asignaturas para el curso siguiente. Este proceso de mejora y reajuste se repitió a finales del curso 2015-2016, y ya con algunos proyectos llevados a cabo habiendo aplicado el diseño y objetivos perseguidos se estableció un plan para el curso 2016-17, que se replicó en el curso 2017-2018 y en el presente curso académico.

Después de tan sólo cuatro años después del inicio de este plan de integración, y con los cambios y reajustes producidos en los sucesivos cursos, varios alumnos de Grado en Ingeniería Civil han conseguido un conocimiento y capacitación muy relevantes en el desarrollo de proyectos en BIM. El éxito no es tanto el de la consecución de los objetivos establecidos en el citado plan, sino de cómo ésta integración mejorable,

imperfecta en su inicio, con sucesivos reajustes, ha conseguido motivar y facilitar la formación de un alumno que ha pasado de un desconocimiento total a desarrollar un proyecto multidisciplinar con muy diversos software “BIM”, buscando y aprovechando las ventajas que ofrece esta metodología más allá de lo exigido en un TFG, digamos “convencional”.

3. Marco metodológico

Para afrontar el TFG objeto de esta comunicación y la aplicación de BIM en un trabajo de estas características, ha sido necesario establecer unos puntos clave en la planificación del conjunto del trabajo. De esta manera, es posible marcar unos hitos para el traspaso de información de los diferentes anexos que conforman un proyecto de estas características, y así poder finalizar con un modelo que integre toda la información generada durante el TFG.

En primer lugar, fue necesario estudiar la problemática y planear como se iban a gestionar las tareas a realizar por los alumnos, tanto de forma grupal como individual, y diseñar el Bim Execution Plan (BEP) y el Employer Information Requirements (EIR). Con estos puntos establecidos resulta posible estudiar las necesidades reales del modelo BIM y conocer el alcance futuro de éste. Junto con la topografía georreferenciada (generada haciendo uso de la herramienta ArcGIS (10.3)) y las diferentes alternativas propuestas, resulta posible definir de una forma más concreta la solución final. Cada alumno puede así centrarse en su proyecto particular, pero siempre manteniendo las bases establecidas en el BEP e EIR, y decidiendo qué elementos conformarán el modelo final. En nuestro caso, el modelo del viaducto de 2 Km que conecta tierra firme con el puerto.

El tutor del TFG interviene durante este proceso de decisión con el fin de definir el nivel de detalle y el alcance del modelo, fijado en un nivel 5D, los softwares a utilizar (ArcGIS, Excel, Sap 2000, Revit, Navisworks, Project, Presto, InfraWorks, RiverFow 2D y Lumion), los hitos de entrega, las fechas a acordar de cada traspaso de información, las plataformas de intercambio y corrección de archivos donde el tutor puede visualizar el modelo.

Una vez se han marcado estas fases, es posible comenzar con los diferentes estudios que completarán la información para generar el modelo, según el orden explicitado a continuación:

1. Se redacta el BEP que constaba de un EIR y la información requerida, project implementation plan (PIP), así como unas fichas técnicas de cada persona que participa, metas del proyecto e hitos a cumplir, roles de responsabilidad y autoridades, métodos estándares y procedimientos, soluciones IT. El software que se utilizó para gestionar todos los documentos fue Autodesk BIM 360 (2018).
2. Se estudia la posibilidad de reordenación de territorio para actividades en las zonas de Castellón de La Plana que se verán afectadas por la hipotética subida del nivel del mar en los próximos 100 años. Para ello, se partió del Principio de Precaución de la UE y se calculó a partir de la documentación una aproximación del ascenso del nivel del mar en un período de 100 años en Castellón de la Plana. Ello permitió realizar una recalificación de los suelos, con el cálculo la distancia óptima y con la avenida de 500 años se detectó las coordenadas óptimas de los estribos.
3. Una vez conocido el nivel máximo de cota de la subida del nivel del mar, es posible modelar en Revit (2018) una geometría previa que se coordina junto con la topografía generada desde ArcGIS (10.3), ubicando así el viaducto en el modelo. En este paso es posible conocer dos puntos importantes del proyecto: las coordenadas de los estribos del viaducto para la conexión de tierra firme con el puerto.

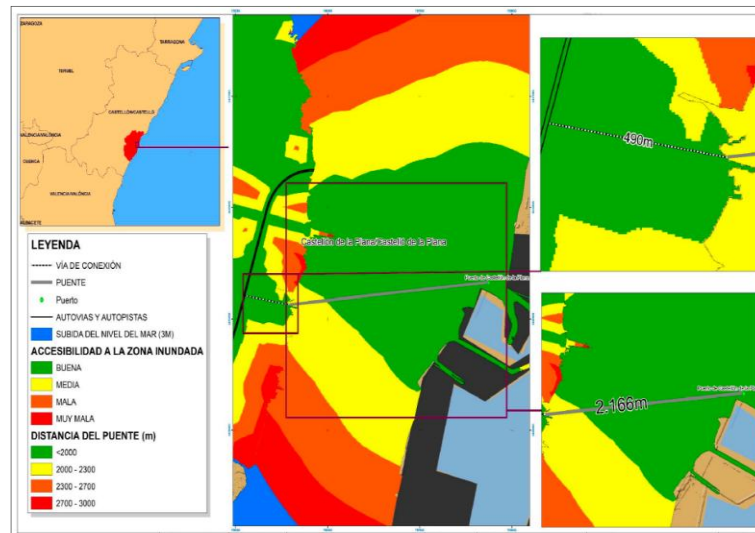


Fig. 2 Ubicación del viaducto. Modelo en Revit (2018) coordinado con topografía generada desde ArcGIS (10.3).
Fuente: Elaboración propia

4. Con la ubicación de los estribos ya conocido se exportan las curvas de nivel en 3D desde ArcGIS (10.3) hasta AutoCAD Civil 3D (2018), para ya poder exportarlo a Revit (2018) y así modelar el viaducto sobre el terreno real.
5. El cálculo estructural del viaducto se realiza con Sap 2000 (2016). A partir de los datos obtenidos del cálculo, se modela el viaducto de 2Km en Revit (2018) siguiendo el encaje geométrico previo, y dichos datos.
6. Para el modelado 3D, una vez calculado el viaducto y con la topografía del terreno en Revit (2018) se procede a modelar todos los elementos estructurales del viaducto.

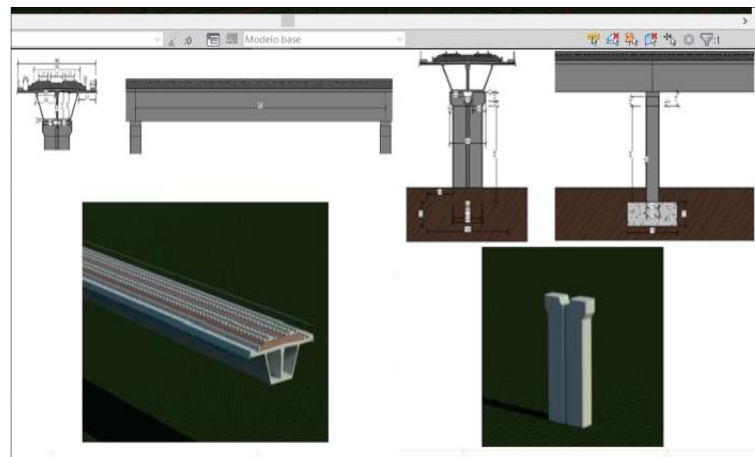


Fig. 3 Modelado en Revit (2018) de los elementos estructurales que forman el viaducto. Fuente: Elaboración propia

7. Con todos los elementos del viaducto modelados, se introduce información a dichos elementos y las familias creadas en Revit (2018), para posteriormente obtener mediciones, costes, producciones y datos relevantes de éstos. Se divide el viaducto en estribos, vigas y pilas, fragmentándolo todo a su vez en bloques con el fin de asignar una planificación de producción en obra, creada en Microsoft Project (2018), que con la creación de un cuadro de precios asignados a cada bloque permite la planificación de la obra junto con la gestión de costes.
8. Se importa la planificación se importa en Navisworks (2018) para asignar a cada uno de los elementos dicha planificación con su coste asociado, de modo que se obtiene una secuencia constructiva de bloques sucesivos que estará vinculada a un archivo de Microsoft Project (2018).
9. A partir del modelo, se obtienen planos, secciones y todo tipo de documentación gráfica que se adjunta en el Documento nº 2: Planos, reduciendo el tiempo y coste de delineación del proyecto

considerablemente. Además, se obtienen todos los datos relevantes de mediciones para realizar el Documento nº 4: Mediciones y Presupuesto.

10. El modelo totalmente terminado, se exporta a InfraWorks donde con los datos calculados de la elevación del mar y se puede hacer una simulación en tiempo real de cómo se ve afectada la zona, pudiéndose exportar un vídeo de la inundación.
11. Por último, el modelo se importa en Lumion para generar un video ilustrativo que, incluso, con el uso de unas gafas de realidad virtual, pueda mejorar la experiencia de visualización y comprensión del proyecto, en su conjunto, por parte de los miembros de tribunal examinador.

4. Resultado final

El resultado del Trabajo Final de Grado es un modelo, que posee toda la información relevante del proyecto, tales como: geometría, materiales, planificación temporal, costes de ejecución, etc.

El uso de esta metodología ha permitido desarrollar un trabajo multidisciplinar de forma análoga al que se realizará en el ámbito profesional. Con este trabajo, el desarrollo de las competencias y habilidades asociadas a BIM es indiscutible, y junto con la aplicación de los contenidos y competencias adquiridos en la formación de ingeniero civil supone una excelente experiencia docente perfectamente replicable en otras universidades y sectores de formación.

El modelo permite mejorar la coordinación espacial entre las diferentes disciplinas y, una vez el modelo contiene toda la información, obtener de forma inmediata las mediciones y presupuestos, documentación gráfica como planos, cortes 3D, etc. También, cabe destacar que la visualización en 3D es una gran ventaja para comprender el proyecto en su conjunto y detectar posibles errores o mejoras.

Con este mismo enfoque de una mejor comprensión del proyecto, la planificación temporal de Microsoft Project (2018) en Navisworks (2018) junto con el coste asociado a cada actividad permite detectar posibles interferencias de actividades durante la construcción. Además, en caso de ser necesario, es posible modificar la planificación en función de la producción de la propia obra. Aspecto que, obviamente, resulta de gran interés.

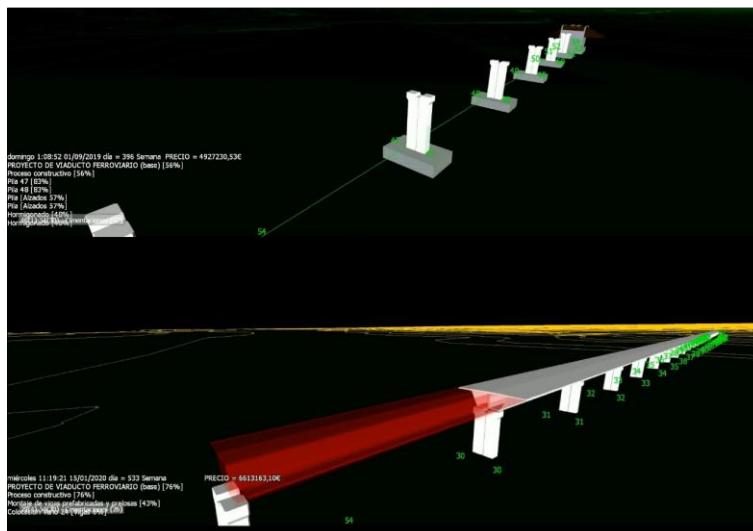


Fig. 4 BIM 5D del viaducto. Fuente: Elaboración propia

Con el modelado del proyecto en formato RVT ya georreferenciado, se puede importar a Infracworks (2018), donde en tiempo real mediante RiverFow 2D (2018) se puede generarse la inundación de la zona, generando un vídeo en el que resulta posible observar cómo se inunda la zona y el estado final del proyecto.

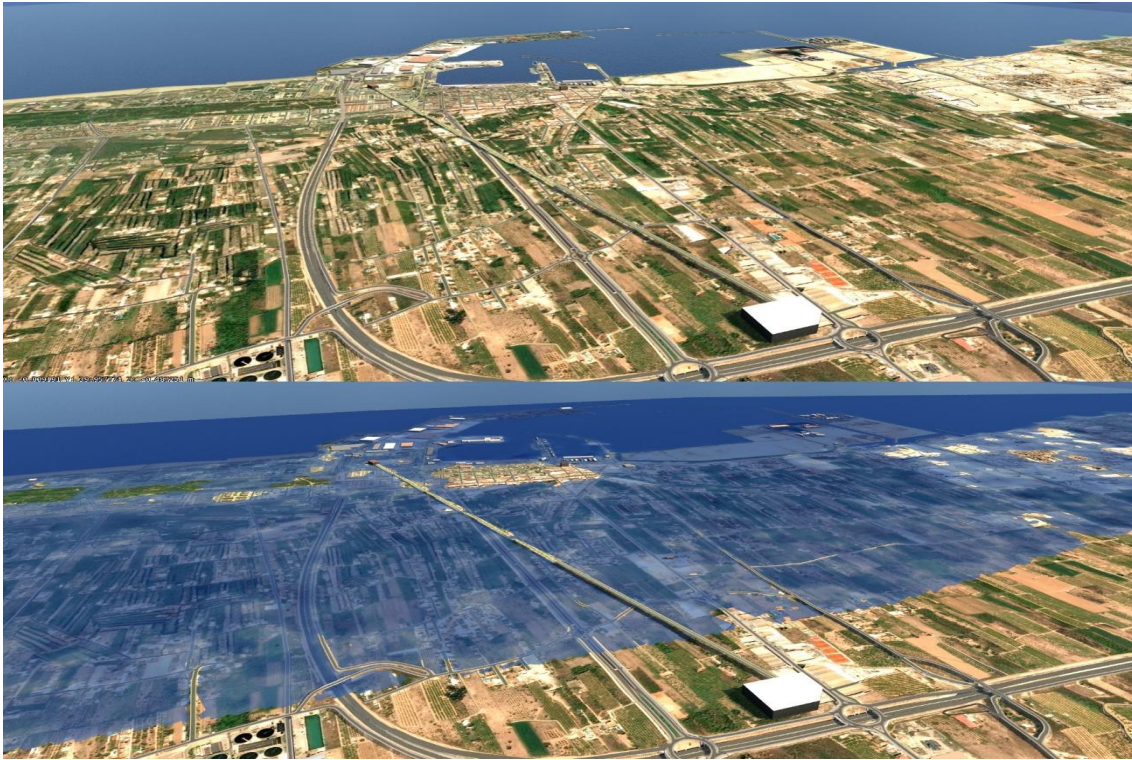


Fig. 5 Inundación de la zona estudiada en tiempo real realizado con Infracworks (2018). Fuente: Elaboración propia

Para finalizar, se importó el modelo a Lumion (2018), donde además de la obtención de imágenes renderizadas del viaducto y de su entorno, fue posible generar un vídeo del estado final del viaducto en el entorno de la zona afectada y una serie de imágenes 360° que permiten visualizar con todo lujo de detalles el viaducto proyectado en el TFG. Resulta evidente que, con esta visualización del viaducto se hace posible una comprensión más amplia del proyecto de una manera completa y totalmente real.



Fig. 6 Modelo en Lumion (2018). Imágenes 360° y Vídeo del estado final del viaducto. Fuente: Elaboración propia

5. Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Departamento de Ingeniería Civil de la Escuela de Arquitectura, Ingeniería y Diseño de la Universidad Europea de Madrid, por hacer posible la redacción de

esta comunicación y su presentación al Congreso, especialmente al Profesor Juan Martínez Orozco por su incondicional apoyo, y a mi compañero Nikolaos Richani por su generosidad y ayuda prestada para la elaboración de este artículo.

6. Referencias

BEHZADAN, A H. (2011) *Integrated information modeling and visual simulation of engineering operations using dynamic augmented reality scene graphs* < Integrated information modeling and visual simulation of engineering operations using dynamic augmented reality scene graphs> [consulta: 22 de febrero de 2019]

BUILDING INFORMATION MODEL (BIM) PROTOCOL. CMC/BIM Pro (2013). First Edition. Standard Protocol for use in projects using Building Information Models. Construction Industry Council. Great Britain.

HAMID, A A. (2016) *Building Information Modelling: Challenges and Barriers in Implement of BIM for Interior Design Industry in Malaysia*

<https://www.researchgate.net/publication/324457020_Building_Information_Modelling_Challenges_and_Barriers_in_Implement_of_BIM_for_Interior_Design_Industry_in_Malaysia> [Consulta: 22 de febrero de 2019]

NEJAT, A. (2012) *BIM teaching strategy for construction engineering students.*

<https://www.researchgate.net/publication/289699603_BIM_teaching_strategy_for_construction_engineering_students> [Consulta: 22 de febrero de 2019]

SUCCAR. S. (2009) *Building Information Modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders.*

<https://www.researchgate.net/publication/222267027_Building_Information_Modelling_framework_A_research_and_delivery_foundation_for_industry_stakeholders> [Consulta: 22 de febrero de 2019]

RODRÍGUEZ SERRANO, M. (2018). "BIM en el diseño y la construcción de presas en un trabajo final de grado". En: *EUBIM 2018. BIM International Conference / 7º Encuentro de Usuarios BIM*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. UPV. Valencia. Disponible en

<https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/75d99e82-e779-4681-8b79-c1b2eaf851e3/TOC_6471_01_01.pdf?guest=true> [Consulta: 18 de enero de 2019]

VIDARDAGA RODRIGO, I. (2017). *BIM en Ingeniería Civil*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Europea de Madrid,

<<https://abacus.universidadeuropea.es/handle/11268/6996>> [Consulta: 23 de febrero de 2019]

ESPECIALISTA3D. < <https://especialista3d.com/>> [Consulta: 15 de diciembre de 2018]

An innovative approach to building engineering and architecture BIM education

Seghezzi, Elena^a; Di Giuda, Giuseppe Martino^a; Paleari, Francesco^a y Pattini, Giulia^a

^aDepartment of Architecture, built environment and construction engineering, Politecnico di Milano, Italy
elena.seghezzi@polimi.it

Abstract

Engineering education design and investigation is a current issue: BIM and IMM in architecture and building engineering education is becoming popular and widespread. Nonetheless, the general approach carried out in this sense lacks innovative features. Current curricula are based on single courses providing expertise on specific topics, missing a holistic approach that takes in to account the complexity of building design and management. This research provides an experimental approach to education, as a result of tests conducted together with professors and students. Some of these tests involved the application of Information Asymmetry) to problems, that reflect common issues of design and construction. Results from these tests are used to set an innovative practice-oriented methodology for teaching BIM and IMM, overcoming the traditional approach. The aim of this work is providing potential renovations of architecture and building engineering curricula, based on deep analysis of student's abilities, limitations and perspectives, setting the framework for a better integration of BIM.

Keywords: BIM, IMM, innovative education, AEC curricula, information asymmetry.

Resumen

El diseño y la investigación de la enseñanza de la ingeniería es un tema de actualidad: el BIM y el IMM en la enseñanza de arquitectura y ingeniería de la construcción se están popularizando y generalizando. Sin embargo, el enfoque general llevado a cabo en este sentido carece de características innovadoras. Los planes de estudios actuales se basan en cursos individuales que proporcionan conocimientos especializados sobre temas específicos, sin un enfoque holístico que tenga en cuenta la complejidad del diseño y la gestión de los edificios. Esta investigación proporciona un enfoque experimental de la educación, como resultado de pruebas realizadas conjuntamente con profesores y estudiantes. Algunas de estas pruebas implicaron la aplicación de la Asimetría de Información a problemas, que reflejan problemas comunes de diseño y construcción. Los resultados de estas pruebas se utilizan para establecer una metodología innovadora orientada a la práctica para la enseñanza de BIM e IMM, superando el enfoque tradicional. El objetivo de este trabajo es proporcionar potenciales renovaciones de los planes de estudio de arquitectura e ingeniería de edificios, basados en un análisis profundo de las habilidades, limitaciones y perspectivas de los estudiantes, estableciendo el marco para una mejor integración de BIM.

Palabras clave: BIM, IMM, educación innovadora, AEC planos de estudios, asimetría de información.

Introduction

In last years, engineering industries have identified knowledge and skills that specifically respond to current issues; nonetheless, engineering education, besides providing a high level of expertise, lacks in providing the students with the capability to cope with complex issues (Kolmos and De Graaff 2015).

This aspect is related to the current setting of Architecture and Building Engineering Curricula. Those are mainly based on single courses providing expertise and knowledge on specific topics: structural design, building services, urban design, architectural history and composition, together with legislative requirements and standards. The consolidation of this expertise through the application to complex projects is needed; building design is in fact a complex task, as in many cases the requirements are conflicting, and it is particularly hard to find a balance.

A holistic approach is therefore useful to shape the ability of students and future professionals to (i) be able to understand complexity and to cope with needs and requirements, and (ii) to work in a team combining different skills.

Considering in particular construction, BIM is gaining remarkably importance in current times, due to the many advantages that it can provide to the entire industry (Azhar 2011). The proper features of BIM methodologies require an early application and a specific training (Peterson et al. 2011; Sacks and Barak 2010). For this reason, BIM teaching plays a central role in building engineering and architecture curricula.

The aim of this work is illustrating the approach to possible renovations of Architecture and Building Engineering curricula, based on deep understanding of students' ability, limitations and perspectives. Experiments with students are under development in order to test their current skills; a first case study is presented, with a reflection on the results.

1. Design teaching: architecture and building engineering

One of the main barriers related to design teaching, especially in higher grades when project complexity is particularly relevant, is the lack of time. To properly cope with complex issues in fact, students should first acquire all the methods and the expertise needed, and then apply them to projects. In many cases, this phase is carried out after graduation, in real-world profession as learning-by-doing (Thomas and Mengel 2008). In this context, the use of BIM in teaching project design has proven to simulate practical situations in a realistic way, and therefore could represent a valuable support for design teaching (Peterson et al. 2011).

Another relevant limitation (that could seem prosaic and trivial, but in fact strongly influences teaching programs) is related to the tension between the need to provide comprehensive education and training, and the number of credits in degrees (Sacks and Barak 2010).

The chosen environment to carry out these tests is the faculty of Building Engineering and Architecture; it is a five-year program, including several high-level courses. The training provided in this Faculty reflects the multidisciplinary of complex building projects, preparing students to the challenges of real-world projects. The current curriculum organization is the following:

Table 1. Building Engineering and Architecture curriculum

year	Course (ITA)	Course (ENG)
1 st year	Analisi matematica 1 + Complementi di Algebra Lineare	Mathematical analysis 1 + Linear Algebra
	Diritto Urbanistico + Sociologia Urbana	Urban planning law + Urban sociology
	Disegno dell'architettura 1 + Informatica grafica + Laboratorio CAD	Architectural design 1 + Computer graphics + CAD lab
	Storia dell'architettura 1	History of architecture 1
	Fisica Generale	General Physics

2 nd year	Disegno dell'architettura 2 + laboratorio di rilievo fotogrammetrico dell'architettura	Architecture Drawing 2 + Architecture Photogrammetric Survey Lab
	Analisi matematica 2	Mathematical analysis 2
	Architettura e composizione architettonica 2 + laboratorio	Architecture and architectural composition 2 + lab
	Fisica tecnica ambientale	Environmental thermodynamics and heat
	Progettazione degli elementi costruttivi + laboratorio	Building elements design
3 rd year	Meccanica Razionale	Rational mechanics
	Architettura tecnica + laboratorio + laboratorio di servizi tecnologici	Technical architecture + lab
	Chimica + tecnologia dei materiali e chimica applicata	Chemistry + Technology of materials and applied chemistry
	Idraulica + costruzioni idrauliche	Hydraulics + hydraulics structures
	Estimo + economia del territorio	Estimate + spatial economics
	Scienza delle costruzioni	Structural mechanics
4 th year	Storia dell'architettura 2 + laboratorio	History of architecture 2
	Tecnica delle costruzioni + laboratorio di costruzioni	Structure building constructions + lab
	Architettura e composizione architettonica 3 + laboratorio + storia e critica dell'architettura contemporanea	Architecture and Architectural planning 3 + lab + history and critical of contemporary architecture
	Geotecnica	Soil mechanics
	Restauro architettonico + laboratorio	Architecture restoration + restoration studio
	Tecnica Urbanistica + laboratorio	Urban engineering + lab
	Tirocinio	Internship
5 th year	Laboratorio di sintesi finale	Studio Lab
	Ergotecnica edile + laboratorio	Building ergotechnics + safety lab
	Progettazione e Innovazione Tecnologica + laboratorio	Progettazione e Innovazione Tecnologica + laboratorio
	<i>or</i>	<i>or</i>
	Recupero e conservazione + laboratorio	Building reuse and conservation + lab
	Consolidamento di strutture	Structural retrofit + lab
	<i>or</i>	<i>or</i>
	Progetto di strutture	Structural design + lab
	Progettazione urbanistica + laboratorio	Urban design + lab + landscape lab
	Analisi e valutazione ambientale	Environmental analysis
<i>or</i>	<i>or</i>	
Buildings in seismic areas	Buildings in seismic areas	
<i>or</i>	<i>or</i>	
Energy efficient buildings	Energy efficient buildings	
<i>or</i>	<i>or</i>	
Gestione dei progetti complessi	Management of complex projects	

The current organization of the programme reflects the variety of fields and topics that a building engineer could face in his professional life. Nonetheless, it could be noticed that the first integrated design project appears at the 3rd year (Architettura tecnica). Other holistic design projects are the ones faced during the 5th year. This means that students do not have the possibility of facing many complex design projects during

their educational path. The first issue to be addressed that acts as trigger of the experiment is understanding what is the students' approach to complex issues.

The chosen approach in this sense is an iterative one: once the problem is understood, experiments and tests of students' behaviors are carried out. The analysis of the results can lead to modifications of current curricula and evaluation of their success.

The first experiment was carried out with the students from the course of Ergotecnica Edile. The students did not know the date of the experiment, nor its content.

This experiment was intentionally based on a different field rather than construction; the goal was to give the students a general perspective of what a complex process is, pushing them out of their "comfort zone" that is the one related with building design.

Cooking is indeed a complex process that requires an accurate planning and balance of resources. In this sense, cooking can be seen as a process with some similarities with construction. Some reflections in this sense have led to the application of lean manufacturing principles to restaurants (CIT), with remarkable improvements in terms of waste management, time control and quality of the final product.

2. Information Asymmetry

Information Asymmetry (IA) is a condition that arises when information are not fully shared among individuals within the same economic process. Namely, a part of the agents concerned has more information compared to the rest of the participants, so the former can benefit from this discrepancy. In economical field, presence of IA is seen by participants as an opportunity, but they are acquired and used to get a benefit at the expense of the others. The arising of these mechanisms creates tensions, especially when the advantage is only to few people. It is therefore possible to state that in the real market information is distributed unequally among individuals.

As an example of adverse selection, Akerlof's Lemon Market Theory (Akerlof 1970), explain different behavior and reaction among people, who are in the marked of used car. These problems are the main cause of losses and risk phenomena that may occur during the procurement process and often their presence does not guarantee the fulfillment of the efficiency and quality standards established by the contract.

According to the literature (Billett, Garfinkel, and Yu 2017), the process allows the realization of a building through a procurement procedure. It is divided in two parts, the former is the bidding process and the latter is the construction. The three principal figures are characterized by an information asymmetry, and in particular: (i) the client knows the price of the construction, he is willing to pay, and his expected quality; (ii) the contractor, on the other side, has a clear idea of the quality of the product is going to build that reflex the requirement expressed by the owner, not the ones intended. Each information heterogeneity is linked with the subjects who take advantage of or disadvantage from this condition. This problem is deeply affecting the construction market (Bryson and Yetmen 2010).

Relationships established during the construction process, each subject pursues his own interest with the possibility of hiding or omitting some information to maximize his leading position. The success of the construction process is obtained if the various participants are able to face and manage the asymmetries themselves.

Facing this conflict, some subjects undertake the others, and sometimes the best strategy is to cooperate.

For a long time, contracts stipulated have been considered as a formal tool to govern and limit potential opportunistic behaviors. The signing of the contract is divided in two stages: at first the client is empowered because he has to entrust a contractor, and this perspective empowers the client during the selection process, providing him a leading position; after that, the contractor uses controversy to recover the discount used in the bidding process based on project incoherencies. These differences are seen as mechanisms to achieve cooperation in inter-organizational activities.

Researchers decided to apply Information Asymmetry to a practice exercise to help students in understanding the impact that a single decision has, if it is taken at a given moment or later. This factor is substantial if applied in a field such as construction, in which reworking have a substantial cost in the work. This factor leads to a detachment from Lean theories that should optimize the AEC compartment.

3. Experiment 1: a complex problem with IA

3.1. Setting of the experiment

The experiment was conducted dividing the class in two main groups, where the former has all the information from the beginning (even numbers), the others have just some initial information and, during the development of the experiment, they have received perturbations (odd numbers). Students were further divided into sub-groups.

The initial statement reports that all students have to plan a dinner for twenty people composed by two choices of appetizers, two first courses, two second courses and desserts, including drinks, within a 600€ budget. During the preparation, an average kitchen and home equipment is available. Groups received notes during the experiment to make them aware of all the instructions.

When this experiment was presented to the students, their initial reaction was of astonishment and surprise. General approach in this faculty teaching activities does not exclude active learning activities, but experiments and tests are not usually performed (Freeman et al. 2014).

A series of questions was submitted to the students, in order to understand their background and habits, especially related to cooking activities. In particular, over 54% of them used to cook almost every day during working days for an average of 2, 3 people, this means their behaviors are closer to a worker than a normal student. They usually, more than 62% of them go to a grocery shop more than once a week (the average is three times a month). They stated they generally have 2 guests (49%) per week.

3.2. Development

Students were divided in random groups and have just one computer available. The experiment had three main deadlines, where they have to deliver all the material produced. During the first deadline, groups have to produce a menu and, consequently, a shopping list with its relative costs. During the first hour and half, they analyzed the problem, setting the quality they want to achieve and list all the needs in terms of material and means.

After one hour and half, groups delivered what they had produced. In the meantime, the odd groups received the perturbation: information related to the people who will attend the dinner and impose a change in the menu (i.e. 30% of guests suffer from celiac disease): considering most of the people have to be able to eat all dishes, students have to adapt their menu. This phase lasted forty minutes and groups delivered the final shopping list, which implied modification only to the group who has received later the information.

Last phase concerned the production of timetable and schedules for the activity and list of means.

4. Results and discussion

4.1. Experiment results

Data analyzed show how students used just a minimum part of the proposed budget, as shown in Figure 3. The unused budget, imposed by the structure of the menu, causes a low quality of the result. Analyzing the result, it is not possible to grasp real knowledge of the students and what they have produced. A boundary changes of an un-optimized result do not produce an over-budget, because students did not satisfy the owner requests.

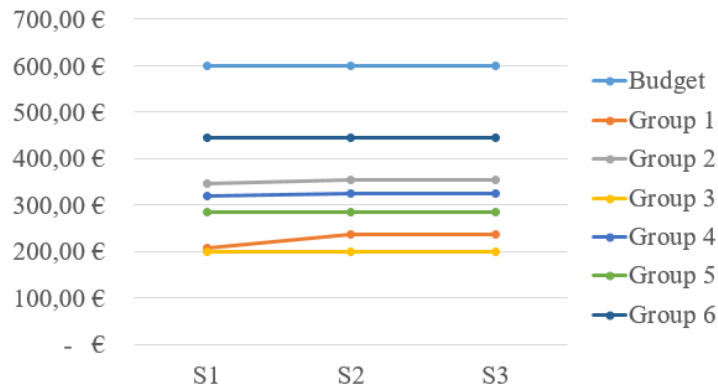


Figure 3. Shopping amount

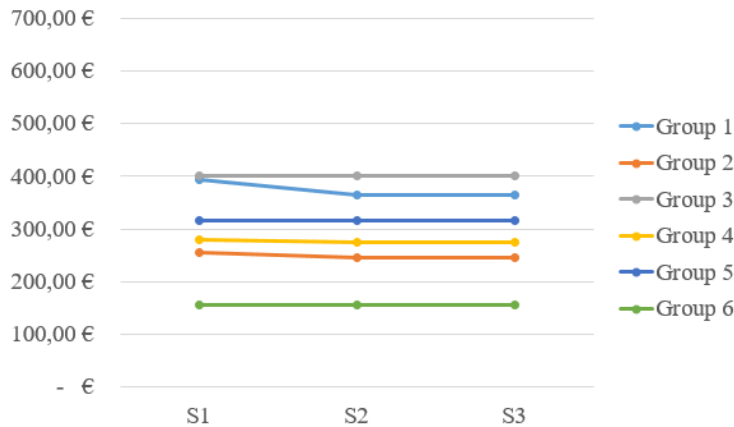


Figure 4. Remaining part of budget provided

In particular, according to the sample of students analyzed, there is no systematic use of the information provided by the client to understand the expected quality. The difference between expected and real quality produced a discrepancy of the results and a client's dissatisfaction.

In the early stages, qualitative parameters were not defined, nor legislation requirements are analyzed to provide a correct menu. Even if some information were provided (e.g. ordinary equipment of flatware), they were not taken into account in the process management; some groups do not take into account money required to buy cutleries or to rent chairs. The lack in searching information (e.g. some guests suffering from celiac disease) produced wrong choices in the cooking process. This fault originated a depreciation of the final result, theoretically implying that some guest could not be able to have a suitable dinner.

The presentation of the courses was not considered as a part of the activities, but a common chef should have taken it into account it: this result underline a lack in general view of the process.

The difference between legislation requirement and information provided was not well defined by the students. This consideration reveals its result when the odd groups received perturbation and this action did not have any deep implications on the final budget of the event. The application of perturbations on projects, which are globally understood and optimized, should produce changes. During the experiment, on the contrary, perturbations did not produce modification to the entire project, but just a slight variation of the menu.

4.2. Feedback analysis and lesson learned

After having collected tests, students were required to express their thoughts about the answering to pre-defined questions, without providing a scientific explanation of the phenomena used to develop the test.

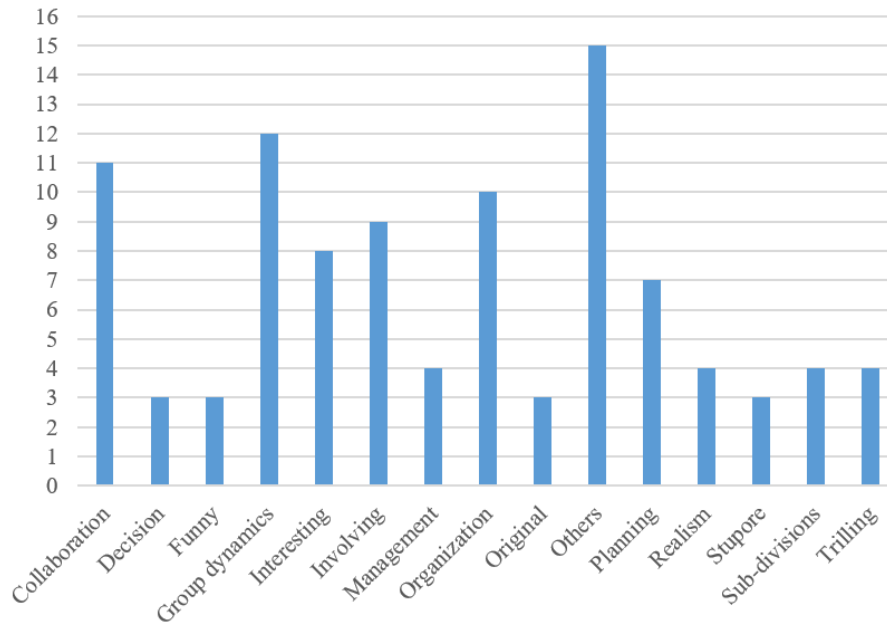


Figure 5. Keywords categories

Students produced a report from which we obtained feedback on the experiment. After the analysis of the student's report, results were explained them in order to have a deep understanding of the scope and results of the experiment. Probably some change will be applied in the setting of the initial request to better provide them a holistic view of the problem and misunderstanding.

5. Discussions

The experiment was developed to analyze the ability of architecture and building engineering to understand and manage complex problems. The principle was to check if their curricula are suitable to provide them these abilities.

We chose a field in which no student has a complete control, but, according to Santorella (Santorella 2011), they are so close and used to cook that they can have a holistic view of the problem.

The moments of synthesis, after having acquired all the basics among various disciplines, is necessary and indispensable. The modification of their academic curricula aims at providing students with the necessary tools to put the acquired knowledge in an interdisciplinary perspective over the years. This evaluation is useful for professor as a tool.

Analyzing a cut across different project, a common feature was detected. All groups show a deep focus on the specific pot to use, but not the flatware needed to serve the course. It means that they focused on the recipes and on what is in it, not on the consequences of what they prepare and if they have the means to apply it. Generalizing the incorrect consideration of means (flatware) explain a lack of resources management in the complexity of the construction field.

What students proposed are not alternatives, but slight changes of the principal choice, namely they do not provide guests a choice among two different solutions but a variance of the course. Generalizing to a bigger scale, it implies they provide to clients a selected technology that follow the project from the beginning to the end of the project. It means there is no possibility for a Design Optioneering technique, because the choice is already taken in the first place, without thinking about the entire project.

Generally speaking, the experience was positive both for the students and for the professors. Namely, some students understood some of the error they committed during the simulation. This aspect reveal that the competences, acquired during their university path, are enough to be prepare to outside university, but they have to reorganize their knowledge in a more efficient way to embrace a holistic view of the problems.

This experiments reveals some problem in students' curricula, students' approach reveals the main problem: if there is no question there cannot be a project that responds adequately to it. This consideration requires a more general reflection on the design dynamics. The research is just a first step in the resolution of the problem.

As explained, there are similarities between Building Information Modeling and cooking. Both activities are a process, and implies a good choice of ingredients, a recipe to be followed, and collaboration among actors taking part in the process (Andersson et al. 2016). Creating a connection between BIM and other activities with which students are more familiar and at ease provides a valuable starting point for teaching BIM in an innovative way.

6. Strategies to improve collaboration in existing curricula

A better integration of BIM teaching would result in increased collaboration in the presented curricula; BIM application could help in simulating realistic scenarios, and in learning how to cope with those (Peterson et al. 2011). Several researches have addressed this theme, analyzing the state of diffusion of BIM related activities teaching and their effectiveness, and proposing changes in curricula and better ways to successfully integrate BIM teaching in existing courses.

Building Engineering and Architecture is, as presented, a complete design course that integrates technical skills and architectural design capability. During the study course, twelve design studios are proposed, but only some of those are explicitly presenting a synthetic summary of other disciplines. Most of these projects are only referring to specific aspects of building architecture. This could be a cause of the lack of holistic collaboration underlined by the proposed experiment. Several strategies can be performed in order to increase collaboration, BIM consciousness, and ability to cope with complex issues in Building Engineering and Architecture as it is. These strategies are here presented, based on previous cases, experiences found in literature, and personal discussions with professors related to the school.

- a. Introduction of a project course for each year of learning, combining the skills acquired in the corresponding year, in a BIM perspective, increasing the collaboration among disciplines. This strategy would require an intense change in current setting of the course, involving all the professors in a collaborative process (Aldeanueva-Fernández et al. 2017);
- b. Introduction of specific BIM-based courses, teaching both technical skills (use of BIM software and collaboration tools) and theoretical basis (Hu 2018);
- c. Incorporation of BIM-skills in existing courses (Piedecausa-García et al. 2017);
- d. Engagement of students' in the evaluation, by means of self-evaluation sessions, public critics, encouraging active learning (Freeman et al. 2014);
- e. Engagement of students' in extracurricular activities, such as competitions, hackathons, workshops, to encourage collaboration with students' from other Countries with different backgrounds (Agulló-deRueda, Jurado-Egea, and Inglés-Gosalbez 2018); this option would be particularly interesting when combining students with different skills, e.g. studying in different courses (Becerik-Gerber, Gerber, and Ku 2011);
- f. Engagement of PhD Candidates, and industry representatives, in existing courses (Becerik-Gerber, Gerber, and Ku 2011; Sacks and Barak 2010);
- g. Increase in use of collaboration tools (such as communication tools, social media, etc), among students and for deadlines and homework delivery (Cos-Gayón López et al. 2018; Becerik-Gerber, Gerber, and Ku 2011).

These strategies can be synthetized in a matrix, showing the level of impact that they have on existing curricula in terms of efforts or modifications to be performed (vertical axis) and the impact that they have in terms of increase in collaboration.

Table 2. Strategies to increase collaboration in Building Engineering and Architecture curricula

		Impact		
		1	2	3
Efforts	1	Seminars	Self-evaluation sessions	Collaboration tools use
	2	Meeting with professionals		Role-play games
	3	-	Students competitions	Workshops, hackathons
	4	-	Interaction with PhD candidates and researchers	Introduction of new BIM courses
	5			Integration of BIM in existing courses
	6			

The matrix can help in prioritizing the actions to be undertaken, depending on the available resources and the expected outcomes. It could be possible to combine some of these strategies to obtain the best result; it could be useful for instance to combine the use of BIM skills with the introduction of a theoretical course on BIM methodologies, so that the students could (i) learn what BIM is, and how does it work, and (ii) experience active learning of BIM methods, with a hands-on approach on their projects.

7. Conclusions

The presented experiment proposed some hints for changes in the current Building Engineering and Architecture curricula, based on an increase of collaboration among students and professors. Some strategies in this sense have been presented, and would be introduced in next years to evaluate the effectiveness of this approach. The matrix of strategies proposed could be implemented and kept as a useful tool for future strategies, to be discussed together with all the professors involved in this field.

Teaching experiments like the one proposed will be carried out as a continuous evaluation of students' engagement and satisfaction.

8. References

- Agulló-deRueda, José, José Jurado-Egea, and Beatriz Inglés-Gosalbez. 2018. "Trabajos Colaborativos BIM En Enseñanza de Grado." In *EUBIM 2018 - BIM International Conference*, 35–46.
- Akerlof, George A. 1970. "The Market for " Lemons ": Quality Uncertainty and the Market Mechanism." *The Quarterly Journal of Economics* 84 (3): 488–500.
- Aldeanueva-Fernández, Mercedes, Alberto García-Marín, Jorge Barrios-Corpa, and Ciro de la Torre-Fragoso. 2017. "BIM: PAUTAS ESTRATÉGICAS PARA LA REGENERACIÓN DEL MÉTODO DOCENTE EN LAS ESCUELAS DE ARQUITECTURA." In *EUBIM 2017 - Congreso Internacional BIM*, 19–28.
- Andersson, L., K. Farrell, O. Moshkovich, and C. Cranbourne. 2016. *Implementing Virtual Design and Construction Using BIM: Current and Future Practices*. New York: Routledge.
- Azhar, Salman. 2011. "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry" 11 (Bazjanac 2006): 241–52.
- Becerik-Gerber, Burcin, David J. Gerber, and Kihong Ku. 2011. "The Pace of Technological Innovation in Architecture, Engineering, and Construction Education: Integrating Recent Trends into the Curricula." *Electronic Journal of Information Technology in Construction* 16 (February): 411–32.
- Billett, Matthew T., Jon A. Garfinkel, and Miaomiao Yu. 2017. "The Effect of Asymmetric Information on Product Market Outcomes." *Journal of Financial Economics* 123 (2). Elsevier B.V.: 357–76. doi:10.1016/j.jfineco.2016.11.001.
- Bryson, Barbara White., and Canan. Yetmen. 2010. *The Owner's Dilemma: Driving Success and Innovation in the Design and Construction Industry*. Östberg Library of Design Management, Greenway Communications.

- Cos-Gayón López, Fernando, Joan Cordón LLácer, Lucas Sfeir, Endy De la Rosa Morel, Yira Linares Jaquez, Cristina Rojas Quispe, and Ana Isabel Colomer Chulvi. 2018. "Trabajo Colaborativo BIM Con Dropbox. Caso Edificio ETSIE 1C UPV." In *EUBIM 2018 - BIM International Conference*, 87–95.
- Freeman, S., S. L. Eddy, M. McDonough, M. K. Smith, N. Okoroafor, H. Jordt, and M. P. Wenderoth. 2014. "Active Learning Increases Student Performance in Science, Engineering, and Mathematics." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111 (23): 8410–15. doi:10.1073/pnas.1319030111.
- Hu, Ming. 2018. "BIM-Enabled Pedagogy Approach: Using BIM as an Instructional Tool in Technology Courses." *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice* 145 (1): 05018017. doi:10.1061/(asce)ei.1943-5541.0000398.
- Kolmos, Anette, and Erik De Graaff. 2015. "Problem-Based and Project-Based Learning in Engineering Education: Merging Models." *Cambridge Handbook of Engineering Education Research*, 141–60. doi:10.1017/CBO9781139013451.012.
- Peterson, Forest, Timo Hartmann, Renate Fruchter, and Martin Fischer. 2011. "Teaching Construction Project Management with BIM Support: Experience and Lessons Learned." *Automation in Construction* 20 (2). Elsevier B.V.: 115–25. doi:10.1016/j.autcon.2010.09.009.
- Piedecausa-García, B., V.R Pérez-Sánchez, R.T Mora-García, and J.C. Pérez-Sánchez. 2017. "EMPLEO DE METODOLOGÍAS BIM EN ASIGNATURAS DE CONSTRUCCIÓN DEL GRADO EN ARQUITECTURA TÉCNICA." In *EUBIM 2017 - Congreso Internacional BIM*, 53–63.
- Sacks, R., and R. Barak. 2010. "Teaching Building Information Modeling as an Integral Part of Freshman Year Civil Engineering Education." *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice* 136 (1): 30–38.
- Santorella, Gary. 2011. *Lean Culture for the Construction Industry*. Taylor & Francis.
- Thomas, Janice, and Thomas Mengel. 2008. "Preparing Project Managers to Deal with Complexity - Advanced Project Management Education." *International Journal of Project Management* 26 (3): 304–15. doi:10.1016/j.ijproman.2008.01.001.

Incorporación de la metodología BIM en el Máster de Ingeniería de Caminos

Moreno-Bazán, Ángela^a, García-Alberti, Marcos^a, Arcos Álvarez, Antonio A.^b,

^aDepartamento de Ingeniería Civil: Construcción, E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid. angela.moreno@upm.es, marcos.garcia@upm.es. ^bDepartamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos de Madrid (UPM), antonio.arcos@upm.es.

Abstract

University syllabus of architecture and building degrees have already included the use of BIM. Nevertheless, the implementation of BIM in most of the Civil Engineering syllabus is still pending. In the case of the Master degree in Civil Engineering, new considerations are needed to prepare future engineers for the use of BIM in infrastructure and civil engineering projects in their career. In the case of Spain, the use of BIM will be introduced in civil engineering projects for the public administration in 2019. However, in the the Master Degree in Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos there is not a clear path to be followed in order to implement BIM in the university syllabus. With the aim of satisfying this demand, the Civil Engineering School (Escuela de Caminos, Canales y Puertos) of Universidad Politécnica de Madrid has decided to create a new specific subject to be included in the third semester of the Master degree. This contribution shows the approach and the strategies used in order to implement this methodology as the results obtained.

Keywords: Civil Engineering, BIM, construction, innovation, teaching programme.

Resumen

En el ámbito de la formación universitaria ya han aparecido una serie de iniciativas dirigidas a incorporar la metodología BIM en los estudios de Arquitectura y Edificación. Sin embargo, sigue estando pendiente su introducción en el campo de la Ingeniería de Caminos, apostando por un nuevo enfoque que combine la formación tradicional y los recursos tecnológicos aportados por la metodología BIM y que prepare a los egresados para el mundo profesional en el ámbito de las infraestructuras. En España se están dando los primeros pasos y a partir de 2019 la metodología BIM será obligatoria para la licitación y construcción de infraestructuras la Administración Pública. Sin embargo, en los planes de estudios de Ingeniería de Caminos solo existen implementaciones aisladas que no disponen de una estrategia global en el desarrollo formativo del alumno. Para atender esta necesidad, la Escuela de Caminos, Canales y Puertos (ETSICCP) de la Universidad Politécnica de Madrid ha creado una asignatura específica para incluirla en el Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (Máster de carácter habilitante) que responde a las necesidades actuales y sirve de guía para implementar la tecnología BIM de manera transversal al resto de niveles universitarios. Esta aportación muestra el enfoque y las estrategias utilizadas para implementar esta metodología así como los resultados obtenidos en su primer año de implantación.

Palabras clave: Ingeniería Civil, BIM, construcción, innovación, programa didáctico.

Introducción

La industrialización y la modernización del modelo productivo del sector de la construcción ha sido siempre una tarea compleja al tratarse de una fabricación por encargo en la que las secuencias y procedimientos no pueden sistematizarse fácilmente. Sin embargo, tras el fuerte impacto de la crisis financiera de 2007 en dicho sector, apareció en él una conciencia generalizada de necesidad de modernización. Por ello, se desarrollaron nuevas metodologías de proyecto que introducen las posibilidades y utilidades de las nuevas tecnologías e integran la gestión de la vida completa de la obra desde la fase de proyecto (Azhar, 2011, Peterson, 2011). Esta nueva apuesta se ha consolidado con la implantación en varios países (Brioso, 2015) de la metodología conocida como *Building Information Modelling* (BIM). Por consiguiente, en el ámbito de la formación universitaria ya han aparecido una serie de iniciativas dirigidas a incorporar la metodología BIM en los estudios de Arquitectura y Edificación (Oliver, 2016, Menéndez, 2016, Nieto, 2014, Prieto, 2017). Sin embargo, sigue estando pendiente su introducción en los currículos de Ingeniería de Caminos, incluyéndolo entre las competencias que completan la formación de sus alumnos (Bokor, 2014, Purnus, 2015, Abbas, 2016). Por ello, resulta necesario apostar por un nuevo enfoque que combine la formación tradicional y los recursos tecnológicos aportados por la metodología BIM y que prepare a los egresados para el mundo profesional en el ámbito de las infraestructuras (D'Paola, 2014, Palomo, 2016).

Por parte del Gobierno Español se están dando los primeros pasos (BuildingSmart, 2014) y a partir de 2019 la metodología BIM será obligatoria para trabajar con la Administración Pública en la licitación y construcción de infraestructuras. Así, algunas empresas del sector ofrecen máster privados específicos para ingenieros de caminos que incorporan esta tecnología. Sin embargo, en los planes de estudios de Ingeniería de Caminos solo existen implementaciones aisladas que no disponen de una estrategia global en el desarrollo formativo del alumno (UPV, 2019). Para poder atender a esta necesidad, la Escuela de Caminos, Canales y Puertos (ETSICCP) de la Universidad Politécnica de Madrid ha creado una asignatura específica para incluirla en el Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (Máster de carácter habilitante) que responda a las necesidades actuales y sirva de guía para implementar la tecnología BIM de manera transversal al resto de niveles universitarios.

El objetivo del presente estudio fue analizar la estructura que se ha utilizado para esta asignatura dentro del ámbito docente de la ETSICCP con respecto a las propuestas existentes actualmente en otras universidades así como los resultados obtenidos en el primer año de implementación.

1. Antecedentes

Las tendencias actuales en Europa muestran el camino que se presume que seguirán las Administraciones Públicas españolas próximamente para la licitación de obra pública. Actualmente, en varios países de nuestro entorno la metodología BIM ha cobrado una importancia muy destacable y, por tanto, los técnicos y empresas del sector de la construcción deben ya conocerla e incorporarla a sus procedimientos de trabajo.

Partiendo de la situación actual, el cambio supone una modificación drástica del paradigma tradicional en la industria de la construcción. Este cambio puede ser impuesto desde las administraciones, se puede generar de forma consensuada por las propias empresas y profesionales o, como parece ser que está sucediendo en nuestro país, los cambios se van produciendo puntualmente partiendo de iniciativas casi particulares. Paralelamente a la industria, en el mundo académico universitario español está ocurriendo lo mismo que en el sector de la construcción. Han ido apareciendo, aislada y espontáneamente, una serie de iniciativas dirigidas a incorporar la metodología BIM en los estudios de grado (Oliver, 2016).

La gran demanda de formación específica en BIM en los últimos años (Palomo, 2016), ha propiciado que desde algunas universidades públicas y privadas se comience a ofertar cursos de Formación Continua en Arquitectura y la apración de estudios de máster de especialización, títulos propios y otros cursos de posgrado. Sin embargo, en cuanto a la formación y el aprendizaje en BIM en la rama de Ingeniería Civil, su implantación podría considerarse en fase experimental. En muchas ocasiones se trata de iniciativas individuales de un profesor sin haber sido programadas oficialmente, o se plantean como experiencias piloto en un único grupo de docencia entre todos los grupos de matrícula. En ambos casos, pueden no tener

quiera reflejo en las guías docentes publicadas. Es por ello que solo pueden llegar a conocerse a través de la publicación de los resultados de estas experiencias por parte de los profesores en congresos de pedagogía, docencia universitaria o congresos de temática BIM.

2. Metodología BIM en el aula

La actual situación de los estudios universitarios de Ingeniería Civil está marcada por las exigencias que fija el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte para la docencia de enseñanzas que dan lugar al aprendizaje y futuro ejercicio de profesiones reguladas. Así pues, en el caso del Grado de Ingeniería Civil y Territorial y el Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos existen un gran número de competencias que quedan establecidas directamente por el Ministerio en asignaturas de carácter básico y obligatorio. Por ello, las modificaciones de los planes de estudios son de gran complejidad. Es importante resaltar también que cualquier modificación ha de pasar por los consiguientes procesos de acreditación, tanto por parte de agencias de ámbito nacional como internacional, que verifiquen la calidad de las modificaciones introducidas. Por lo tanto, la metodología BIM es comúnmente introducida en asignaturas optativas cuyos descriptores suelen aparecer globalmente repartidos en el bloque de especialización sin estar asignados unívocamente a ninguna asignatura en concreto. Esto permite adaptarse rápidamente a los cambios detectados en el mundo profesional y también cubrir las materias demandadas por el alumnado (CORREOCAMINOS, 2017).

Aunque podría argumentarse que la implantación de competencias siguiendo este esquema supone una integración aislada en una sola asignatura, sin embargo, esto permite en un futuro darle un enfoque transversal y multidisciplinar en el plan de estudios. Esto es especialmente deseable cuando se trabaja en BIM ya que es una metodología que cubre numerosos ámbitos. Además, obteniendo resultados positivos se conseguirá que la experiencia de implantación de BIM cale en la masa crítica del alumnado y del profesorado animando al resto de docentes a una implantación en un futuro.

Desde el punto de vista material hay que resaltar que actualmente la mayoría los alumnos disponen de ordenadores compatibles con la metodología BIM y que además los proveedores de software disponen de versiones gratuitas para estudiantes dentro de su estrategia comercial. Sin embargo, hay que tener también en cuenta la inexperiencia de la mayoría de los profesores en el manejo de las herramientas necesarias para trabajar en BIM y como hacer un uso didáctico de las mismas. Por ello, hay que contar con ciertos recursos económicos para formar al profesorado. Así, una vez que la asignatura esté implantada los profesores formados para el uso de las herramientas, podrán ir transfiriendo contenidos en otras asignaturas transversales, o verticales en diferentes cursos.

La asignatura propuesta refleja una carga lectiva de 4,5 créditos ECTS (Sistema Europeo de Transferencia de Créditos) los cuales se han dividido en 8 temas. En ellos se utilizarán los programas que más se adecuan al ámbito de la ingeniería civil que son dentro de Autodesk: Revit y Civil 3D y dentro de Bentley: OpenRoads Coceptstation y Designer. Además, se emplearán varios 'plugins' específicos para algunos otros temas concretos. La distribución de los temas tratados en la asignatura (Angela et al, 2019) puede verse a continuación.

Tema 1. Introducción a la metodología BIM de gestión de Proyectos

Tema 2. Aspectos generales del Proyecto de Construcción

Tema 3. Modelado Estructural en BIM con REVIT

- 3.1. Plantilla del proyecto y ubicación
- 3.2. Modelado. Elementos del modelo: categorización, referencia y vista.
- 3.3. Modelo geométrico y modelo analítico.
- 3.4. Mediciones y documentación: tablas de planificación, cantidades y fases.
- 3.5. Detección de conflictos y trabajo colaborativo

Tema 4. Modelado de Obras Lineales

- 4.1. Civil 3D
- 4.2. OpenRoads ConceptStarion y Designer

Tema 5. Presupuestos y Certificaciones en COST-IT

- 5.1. Mediciones
- 5.2. Presupuesto
- 5.3. Software complementario
- 5.4. Informes

Tema 6. Gestión BIM I en NAVISWORKS

- 6.1. El proyecto colaborativo. Trabajo en red
- 6.2. Modalidades y métodos
- 6.3. Gestión de los modelos. Modelo federado
- 6.4. Detección de Interferencias
- 6.5. Planificación: Timeliner y simulaciones
- 6.6. Interacción con programas de seguimiento de obra y control de ejecución

Tema 7. Gestión BIM II

- 7.1. Gestión de documentación y comunicaciones.
- 7.2. Flujos de trabajo.
- 7.3. Transmittals
- 7.4. Control de Revisiones y versiones
- 7.5. Coordinación
- 7.6. Roles BIM

Durante los primeros temas (temas 1, 2, 3, y 4) se ha iniciado al alumno en las herramientas de creación del modelo, con el conocimiento del entorno e interfaz del software, desarrollando un proyecto propio por grupos en el nivel de definición de la información más bajo. En este momento el alumno ya conoce y comprende el contenido de un proyecto de construcción de Ingeniería Civil y es capaz de utilizar adecuadamente la terminología BIM, por lo que es lógico que la implantación de la asignatura sea en el último curso del Máster de Caminos, Canales y Puertos, en el semestre previo a la realización de los Trabajos Fin de Máster de contenido profesional. Tras la adquisición y puesta en práctica de los conocimientos necesarios en el uso del modelo para obtener la documentación completa de un proyecto surge un nuevo objetivo, la optimización y sistematización del proceso. Una vez que se siente capacitado para desarrollar el modelo con garantías, se comienza a sistematizar el trabajo. A partir del Tema 5 aplicará las técnicas de organización, medición, valoración de obras, control de calidad y costes con autonomía, acierto, rigor lógico y método científico.

A medida que se va dominando la tecnología y comprobando sus posibilidades, surge la evidencia de que abarcar todas las disciplinas, es una tarea que requiere de una gran inversión de esfuerzo, tiempo y fundados conocimientos de todas las áreas de conocimiento que exige hoy en día abordar un proyecto de construcción.

A partir del Tema 7 el alumno aprende la parte más significativa: planificar, organizar y dirigir la ejecución de una obra de construcción, así como de su mantenimiento. Por último, el Tema 8 se centra exclusivamente en conocer y utilizar las nuevas tecnologías para el intercambio de datos en la ingeniería civil. El objetivo final de la asignatura es que el alumno sea capaz de desarrollar la documentación de un proyecto en BIM, desde la concepción inicial hasta la producción de la documentación ejecutiva con la que se licitará y construirá el proyecto. Su desarrollo en grupos es imprescindible ya que los proyectos de ingeniería civil son demasiados complejos para abarcarlos individualmente, fomentando así, una correcta planificación para su desarrollo, filosofía clave en la metodología BIM.

3. Resultados obtenidos

Para conocer el grado de aceptación de la asignatura se realizó un cuestionario al terminar el semestre. El primer objetivo fue conocer si el alumnado estaba de acuerdo con el temario impartido. Al realizar esta pregunta, el 83% de los estudiantes indicó estar de acuerdo o muy de acuerdo con el temario, como se observa en la Figura 1. Aunque al profundizar en los resultados y analizando las observaciones dadas, encontramos que el 33% de los estudiantes mostró preferencia a adquirir más conocimientos en software de gestión como Navisworks, Presto y Synchro. Un 23% señaló en las observaciones su preferencia respecto a que se limitase la impartición de software de la marca comercial Bentley, con la intención de profundizar en otros programas y un 10% de los encuestados contestó que el curso se debía enfocar únicamente a software de ingeniería civil como Autodesk Civil 3D.

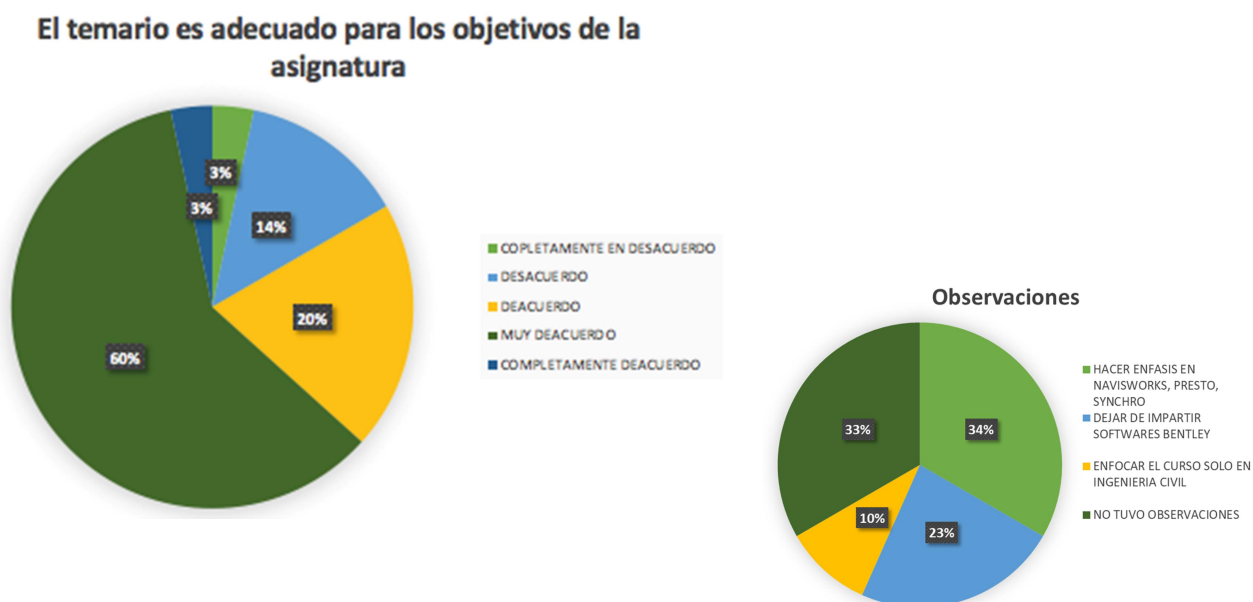


Fig. 1 Grado de aceptación del temario impartido

De este resultado se puede deducir que los estudiantes mostraron más interés en profundizar conocimientos de gestión utilizando programas como Navisworks, Presto y Synchro, ya sea por tener una buena base en software BIM técnicos como Revit o considerar que el aprendizaje de este tipo de software se puede lograr de manera autodidacta, con videos, tutoriales o cursos web gratuitos.

Con respecto al poco interés en software de la marca comercial Bentley, esto puede deberse a varias razones. Por un lado, el software de Bentley se introdujo prácticamente al final del primer bloque de modelaje por lo que la mayoría de alumnos ya había comenzado su proyecto en Autodesk. Por otro lado, la mayoría de los estudiantes había manejado anteriormente AutoCAD y/o AutoCAD Civil 3D, por lo que su interfaz resultaba más conocida, generando mayor afinidad hacia sus nuevos software BIM.

Por otro lado, en la Figura 2 se puede observar que el 94% de los alumnos indicaron estar de acuerdo con la metodología y sistema de evaluación por proyectos.

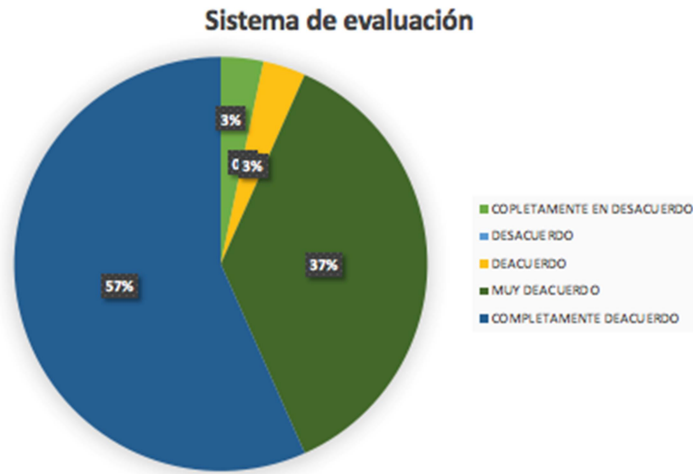


Fig 2. Grado de aceptación del sistema de evaluación.

Sin embargo, como se puede ver en la Figura 3, el esfuerzo que los alumnos tuvieron que dedicar a la realización del proyecto parece ser alto o muy alto para el 76% del alumnado.

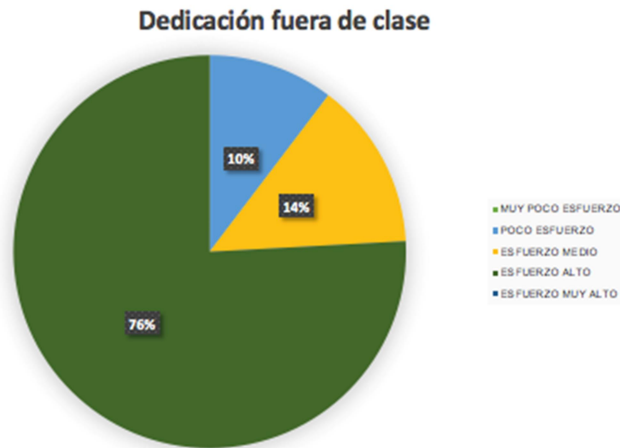


Fig 3. Grado de aceptación de la dedicación fuera del aula.

Esto se debe a que actualmente los software considerados BIM tienen muchas limitaciones a la hora de realizar proyectos lineales, teniendo que recurrir a software como Infraworks para poder modelar parte del diseño así como la creación de numerosas familias paramétricas en Revit. Esto justifica el enorme esfuerzo que precisó su proyecto. Aún así los resultados, como se puede apreciar en la Figura 4 y las referencias [xxxx] fueron un grado de complejidad y nivel elevado.



Fig. 4 Ejemplo de uno de los proyectos realizados en la asignatura [David et al, 2019]

4. Conclusiones

BIM como metodología de trabajo para la gestión de datos, información y procesos de los proyectos de construcción, reúne todas las características necesarias para considerarlo en sí mismo una disciplina académica integrable en los planes de estudios del grado y de máster en ingeniería civil. Sin embargo su aprendizaje requiere un secuencia progresiva, que se divida en cursos separados que no suponga a los alumnos una dedicación excesiva dentro de una sola asignatura. Por lo tanto, una vez que las habilidades individuales de modelado y análisis del modelo se lleve a más niveles del grado y del master, se considerará enfocar esta asignatura en el trabajo en equipo y la complejidad a través de la colaboración.

Es probable que la Escuela se enfrente a muchos problemas para implementar BIM, pero la mayor de ellas la integración entre las diferentes áreas del plan de estudios y la colaboración interdepartamental evitando solapes y buscando las sinergias. Los retos de la implantación del BIM en la Ingeniería Civil son todavía incipientes y son esperables en los próximos años importantes avances y cambios tecnológicos, metodológicos y normativos. La implantación inicial en una única asignatura podría permitir adaptarse con agilidad y rapidez a dichos cambios.

Por último decir que las experiencias en los estudios de Arquitectura y Edificación de integración transversal han demostrado que BIM es en sí mismo un eficaz medio didáctico que da buenos resultados. Sin embargo, en Ingeniería Civil esta maduración no ha llegado a un nivel muy alto en la universidad española aunque se espera que eso cambie próximamente mediante la implantación de experiencias como la que se ha mostrado en esta contribución.

5. Referencias

- ABBAS, A., ZIA UD D., and RIZWAN F. (2016) "*Integration of BIM in construction management education: An overview of Pakistani engineering universities.*" *Procedia Engineering* 145: 151-157.
- ÁNGELA MORENO BAZÁN, MARCOS GARCÍA ALBERTI, ALEJANDRO ENFEDAQUE, ANTONIO ARCOS, JAIME C. GÁLVEZ RUIZ. "Considerations about syllabus of civil engineering master degrees in order to implement BIM project methodology". IV Int. Conference on Structural Engineering Education Structural Engineering Education Without Borders - ACHE, pp. 432-440, June 20–22 2018, Madrid, Spain
- AZHAR, S. (2011) "*Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry.*" *Leadership and management in engineering* 11.3: 241-252.
- BOKOR, O., and MIKLÓS, H. (2014) "*The Use of eLearning in Teaching Construction Management Core Subjects.*" *Procedia Engineering* 85: 75-83.
- BRIOSO, X. (2015) "*Teaching Lean construction: Pontifical Catholic university of Peru training course in Lean project & construction management.*" *Procedia Engineering* 123 (2015): 85-93.
- BUILDINGSMART ESPAÑA (2014), "*Guía de Usuarios BIM España (uBIM).*", 1ª edn, BuildingSMART Spanish Chapter, Digital - Madrid (España).
- CORREO CAMINOS. (2017). *Especial Medio Ambiente*, 106: 6-7 Madrid
< https://issuu.com/correocacultural/docs/coc106_finalisimo > [Consulta: 10 de abril de 2019].
- D'PAOLA, P., HUMBERTO, E. (2014) "*Nuevas tecnologías en la enseñanza de la ingeniería civil: BIM y realidad virtual.*" MS thesis. Universidad EAFIT.
- DAVID PASTOR MORENO, ISABEL SASTRE FURONES, ANA EYRE RODRÍGUEZ, MARCOS GARCÍA ALBERTI, ANTONIO A. ARCOS ÁLVAREZ (2019) "Case study for the implementation of BIM methodology on civil engineering projects." IV Congreso Internacional de Innovación Tecnológica en Edificación.– CITE, pp. 81-82, Madrid, Spain
- MENÉNDEZ CÁRDENAS, M. (2016) "*Incorporación de Metodología BIM en la Gestión Integrada de Proyectos*" Máster Universitario en Gestión de Proyectos de Edificación – Project Management.
- NIETO JULIÁN, E., QUIÑONES RODRÍGUEZ, R., LLORENS CORRALIZA, S. & CORTÉS ALBALÁ, I. (2014), "*Experiencia integradora de la tecnología BIM en la ETSIE de Sevilla*", EUBIM. Encuentro de usuarios BIM 2014. 2º Congreso Nacional BIM, Editorial UPV, València, pp. 258.

OLIVER FAUBEL, I. (2016) *"Integración de la metodología BIM en la programación curricular de los estudios de Grado en Arquitectura Técnica/Ingeniería de Edificación. Diseño de una propuesta."*

PALOMO PIRUAT, F. (2016) *" Integración del Building Information Modeling (BIM) con la práctica del Facility Management (FM). Mejora de procesos de toma de decisiones en mantenimiento."* Máster Universitario en Organización Industrial y gestión de Empresas.

PETERSON, F. (2011) *"Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned."* Automation in Construction 20.2: 115-125.

PRIETO MURIEL, P. (2017) *" Implantación de la tecnología BIM en estudios universitarios de Arquitectura e Ingeniería"* Máster Universitario en Investigación en Ingeniería y Arquitectura.

PURNUŞ, A., and CONSTANŢA-NICOLETA B. (2015) *"Educational simulation in construction project financial risks management."* Procedia Engineering 123: 449-461.

UPV, (2019) Máster Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil, Asignaturas por módulos y material https://www.upv.es/titulaciones/MUPGIC/menu_1015123c.html

Aplicación de la metodología BIM a la geotecnia: Propuesta de flujo de trabajo

Lucio-Iglesias, Daniel^a

^aBSc + MSc in Civil Engineering. daniel.lucio.iglesias89@gmail.com

Abstract

A consistent workflow is presented along the different stages through which a geotechnical project takes place so that it could be used as a guide when implementing the BIM methodology within this branch of Civil Engineering. In order to accomplish this main goal, three partial objectives are developed that seek to determine key aspects of the BIM, such as the possibility of generating a virtual model, commonly known as BIM model, the inclusion of non-geometric information within the model, interoperability through the IFC as well as the utility of the geotechnical model throughout the different phases of a project and the influence that the evolution of the model would have on the activities of this area of Civil Engineering.

Keywords: *Civil, Engineering, management, geotechnics, IFC, workflow, optimization.*

Resumen

Se presenta un flujo de trabajo consistente a lo largo de las diferentes etapas por las que transcurre un proyecto geotécnico de modo que pueda ser utilizado como guía a la hora de implementar la metodología BIM dentro de esta rama de la Ingeniería Civil. Para ello se desarrollan tres objetivos parciales que buscan determinar aspectos clave propios del BIM tales como la posibilidad de generación de una maqueta virtual o modelo BIM, la inclusión de información dentro del modelo, su interoperabilidad a través del formato IFC así como la utilidad del modelo para la Geotecnia y el impacto que tendría sobre las actividades propias de ésta la evolución de dicho modelo a lo largo de las diferentes fases de un proyecto.

Palabras clave: *Ingeniería, Civil, gestión, Geotecnia, IFC, flujo, optimización.*

Introducción

Actualmente vivimos en un mundo digitalmente globalizado, lo cual ha llevado a que el desarrollo de la tecnología en las dos últimas décadas haya avanzado en innumerables campos del conocimiento. La Digitalización nos ha permitido optimizar los rendimientos medios generales de ciertos sectores productivos que conforman el modelo económico occidental (Harvard, 2018). Asimismo, se ha de tener en cuenta que la digitalización, retroalimentada por las nuevas generaciones de personas, conlleva un cambio en la concepción de la articulación de muchos de los sectores productivos, como es el caso del sector de medios de comunicación (Suter, 2018). Otro ejemplo indiscutible de la adopción de la digitalización se presenta en el sector financiero y el crecimiento de las conocidas como *Fintech*, negocios que han adoptado el desarrollo tecnológico y que lo han aplicado a este sector con el fin de satisfacer nuevas demandas del mercado, tales como el aumento de la eficiencia, las reducciones de costes o las mejoras en los procesos (Zavolokina, 2016). Por el contrario, existen otros sectores en los que la digitalización no se encuentra tan implementada así pues, en la siguiente figura (Harvard, 2018) se puede apreciar como los sectores menos digitalizados son la construcción, o AEC por sus siglas en inglés, y el agroalimentario. Si bien es cierto que el año de publicación de dicha figura fue el 2015, no se han encontrado estudios similares a fecha de redacción de la presente comunicación, no obstante, el proceso de digitalización continuado su curso por lo tanto, es lícito pensar que el nivel general de digitalización mostrado mantenga una relación similar entre sectores a fecha de 2019.

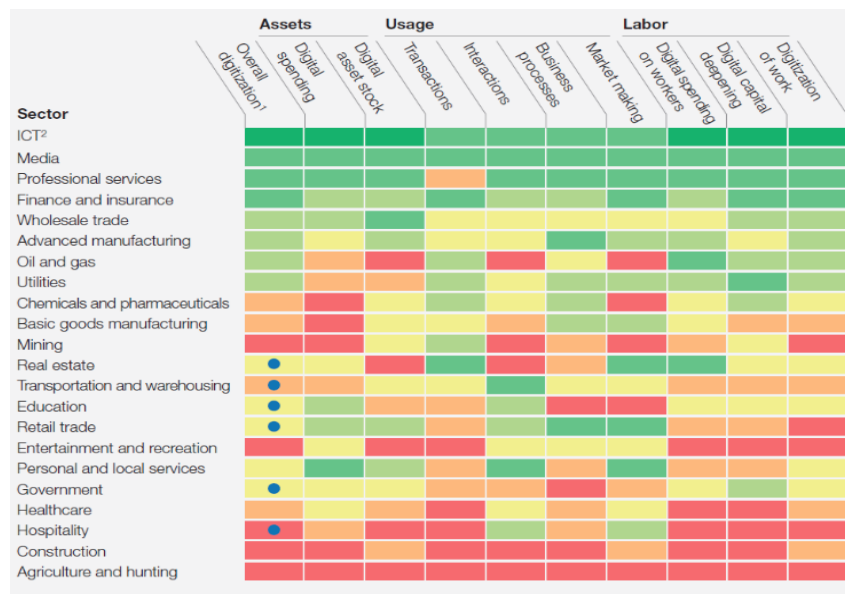


Figura 1: Grado de digitalización. Fuente: Harvard (2018).

Dentro del sector de la construcción, la difusión de la digitalización presenta un enfoque heterogéneo dependiendo de las áreas que componen, a grandes rasgos, este sector. De este modo, la digitalización en la Arquitectura es mucho más acusada que la Ingeniería Civil y dentro de esta última, a su vez, hay ramas más digitalizadas que otras. Entrando en detalle en la geotecnia, campo esencial dentro del sector puesto que todo lo que se proyecte, desde la edificación más sencilla hasta el puente más tecnológicamente avanzado deberá localizarse sobre el terreno, por lo tanto, el conocimiento del mismo así como la estimación de su comportamiento frente a aquellas construcciones que sobre él se coloquen es primordial para que todo proyecto tenga éxito, tanto durante la fase de Construcción como durante la fase de Explotación. A priori, existen herramientas o procesos digitalizados de forma somera enfocados en conformar bases de datos de los registros de sondeos, como el software gINT de Bentley Systems (Systems, -), uso de herramientas GIS para análisis espaciales basados en cartografía (Esri, -) o herramientas para visualización de datos derivados de estudios geofísicos (Golden, -). A continuación se muestra un ejemplo de la representación de varias interfases de un paquete geotécnico localizado en la ciudad de Londres.

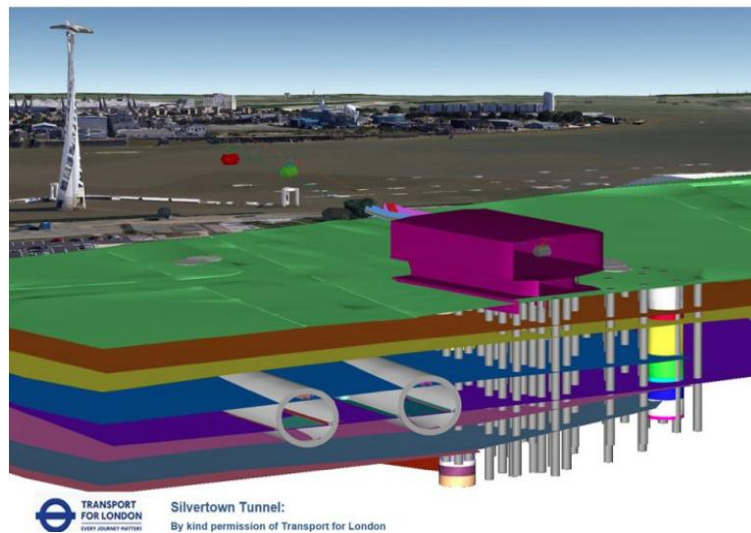


Figura 2: Modelo geotécnico del túnel de Silvertown. Fuente: Autodesk (2017)

En la figura 2 se muestra un ejemplo del modelo digital geotécnico de la estación de Silvertown, en Londres, perteneciente al proyecto CrossRails (Autodesk, 2017). Para dicho ejemplo Transport for London empleó el software Keynetix, integrado dentro del software Civil3D de Autodesk. Como se puede apreciar, existe una representación 3D de las diferentes interfases o superficies que separan los diferentes estratos del terreno pero no un modelo 3D continuo que integre a todas ellas, esto induce a pensar que la situación del binomio BIM-Geotecnia se encuentra en una fase embrionaria (Lucio, D. 2018). Este hecho lleva a realizarse las siguientes preguntas: ¿qué sucedería al generar un modelo BIM geotécnico que fuese capaz de albergar tanto información gráfica (representación de los estratos) como información no gráfica (información geotécnica necesaria)?, ¿sería posible y útil para la Ingeniería, la generación de dicho modelo? ¿se ha desarrollado ya por parte de la comunidad científica?, para responder a estas cuestiones se analizaron diferentes fuentes del ámbito académico como profesional.

Una vez recopilada la bibliografía más representativa que trata sobre el tema aquí presentado se puede advertir que el enfoque general se separa en dos caminos, el primero de ellos relacionado con la gestión de la información geotécnica así como formatos interoperables (Mokarram, N. 2010; Chandler, R. 2012; Burggraf, 2012, Martínez-Ibáñez, V. 2017) y el segundo de ellos relativo a la representación gráfica del paquete geotécnico. (Rienzo, F. 2009; Zhu, H. 2016, Zhang, Y. 2018)

El primero de ellos se centra en la gestión y manejo de la información geotécnica, principalmente los datos obtenidos de campañas de campo y su intercambio mediante formatos digitales abiertos, basados en el formato XML, de modo que su difusión sea la máxima posible a través de cualquier plataforma destinada al mundo geotécnico. Este es el caso de los formatos AGS y DIGGS (Lucio, D 2018). Gran parte de la bibliografía que relaciona la digitalización con la geotecnia y que se centra en el camino de la generación de formatos interoperables suele partir de un análisis morfológico de un sondeo tipo, en el que presentan las variables tipo esperables, tales como la cota superior e inferior de un estrato o las propiedades fisicoquímicas que se podrían presentar. Este hecho tiene por objetivo desarrollar las diferentes propuestas estructurales de los diferentes archivos interoperables así como identificar la procedencia de los diferentes datos, ya sean provenientes de ensayos de laboratorio o bien de labores de campo.

El segundo camino detectado es el relacionado con la representación gráfica, siempre mediante herramientas digitales, de los diferentes casos presentados. En este sentido se han identificado dos tendencias principales:

- **Representación mediante GIS:** La primera de ellas emplea herramientas GIS para la representación de mapas de capacidad basados en información geológica proveniente de fuentes oficiales de observación espacial. En este sentido, los artículos que tratan esta tendencia se centran exclusivamente en la identificación 2D de la información geotécnica. Este tipo de enfoque suele

estar destinado a la mejora de la gestión de los recursos espaciales así como herramienta esencial en el proceso relacionado con la toma de decisiones. (Lucio, D. 2018)

- Representación geológico-geotécnica en 3D: En este sentido, todos los casos identificados como potencialmente interesantes para la naturaleza de la presente comunicación, así mostrados en la bibliografía, que tratan la representación tridimensional de los modelos geológicos y/o geotécnicos parten de la información obtenida en los sondeos para generar los modelos correspondientes. Tal como se puede apreciar en el artículo de la ciudad de Turín, en el Engineering-geological data model o en el Evolution of urban underground space resource using digitalization. (Rienzo, F. 2009)

Esta última tendencia presenta profundas lagunas a la hora de representar un modelo tridimensional coherente debido a que se pretende modelar un conjunto geotécnico entero mediante la información puntual obtenida en lugares previamente determinados, es decir, partiendo de datos localizados desean, mediante la extrapolación correspondiente, la determinación 3D del conjunto.

En este sentido, es lógico pensar que para generar un modelo 3D se ha de partir de una cartografía geológica que permita generar un modelo inicial partiendo de los correspondientes perfiles geológicos. Posteriormente, conforme aumente el desarrollo del propio proyecto de Edificación o de Obra Civil, sí será posible emplear la información obtenida mediante los sondeos en aquellas zonas en las que el ingeniero geotécnico estime que necesitan ser mejor definidas. El uso de esta información permitirá definir mejor ciertas partes del modelo 3D.

Asimismo, otro aspecto a destacar sobre los diferentes elementos que compone el estado del arte es el hecho de que no se presentan correlaciones entre procedimientos de cálculo de cimentaciones o de elementos de contención y los propios modelos 3D. Se entiende, pues, que este hecho abre un interesante camino de investigación para los autores interesados en esta rama del conocimiento debido a que, según la metodología BIM, el modelo 3D debe contener tanto información gráfica (disposición de estratos, elementos morfológicos especiales, etc.) como información no gráfica (características fisicoquímicas de los materiales, etc.) además de servir para la realización de los cálculos ingenieriles correspondientes para la determinación de los elementos estructurales relativos a las cimentaciones, siendo necesario, también, la determinación de la influencia que presenta el modelado en los futuros cálculos que se lleven a cabo.

Analizando en conjunto sendos caminos que toma el cuerpo del conocimiento, se percibe una ausencia de propuestas sobre algún flujo de trabajo extenso destinado a la generación de un modelo BIM, es decir, si bien es cierto que independientemente de la mayoría de los artículos aquí referenciado miran a la geotecnia a través del cristal de la digitalización, no se ha detectado un hilo, al menos hasta la fecha de redacción de este documento, que actúe como elemento conductor entre la generación del modelo 3D y la información necesaria que debería incluir así como el grado de desarrollo que presentaría un modelo a lo largo de las diferentes fases de un proyecto.

Por ende, dicho hilo conductor que uniera tanto la geometría como la información necesaria daría lugar a un flujo de trabajo extrapolable a la mayoría de proyectos de la naturaleza que aquí se trata. Este hecho se estima profundamente necesario, pues se trataría de una herramienta de gestión que podría ser implementada a lo largo de numerosos proyectos así como el hecho de establecer las bases para desarrollar la digitalización de esta rama de la Ingeniería Civil hacia el alineamiento con los objetivos presentados por la metodología de trabajo colaborativo.

1. Flujo de trabajo BIM propuesto

Se parte del documento *Guías de cimentaciones en obras de carreteras* (Carreteras, D.G. 2004). Este documento ha sido empleado como base para el desarrollo de la propuesta del flujo de trabajo debido a que presenta un enfoque claro a lo largo del ciclo de vida de un proyecto de ingeniería, desde las fases más iniciales, tales como el Estudio Informativo, pasando por el Proyecto de Construcción y llegando hasta las fases de Obra y Explotación. El flujo de trabajo que este documento presenta es susceptible de ser implementado mediante herramientas y metodologías de trabajo que permitan la digitalización del mismo.

En este sentido, la implementación mediante la metodología BIM se basa en los siguientes tres pilares fundamentales: elementos de gestión, herramientas de software e interoperabilidad.

El desarrollo específico de estos pilares, básicos en la metodología de trabajo colaborativo BIM, tienen por objetivo la implantación lo más óptima posible de un flujo de trabajo que persiga el objetivo Open BIM, esto es la interoperabilidad entre diferentes agentes participantes, tomando como elemento vehicular la digitalización (BuildingSMART, -).

Analizando el flujo de trabajo “tradicional”, esto es cómo se parte de datos cartográficos y de información de proyectos similares, el procesamiento de dicha información para la obtención del conocimiento inicial sobre el problema planteado, la determinación de la necesidad de ampliar el conocimiento sobre los elementos del terreno que pueden presentar más dudas, la campaña geotécnica de campo, el posterior análisis de la información y por último, el enriquecimiento y crecimiento del conocimiento del problema planteado, lo que se puede traducir en un ciclo de vida que va incrementando el conocimiento disponible sobre el caso conforme se desarrolla el ciclo de vida del propio proyecto, encaja con la metodología BIM.

1.1. Fase de Proyecto – Estudio Previo

Esta fase corresponde, cronológicamente, a la primera de todas. Comienza con una recopilación de los documentos e informaciones más importantes del proyecto, tales como la localización, los requerimientos del cliente, el alcance del proyecto, la naturaleza del mismo, la existencia o no de estudios similares o informes previos. Así mismo, se recopilan tanto cartografías temáticas como taquimétricos que permitan levantar la topografía del proyecto.

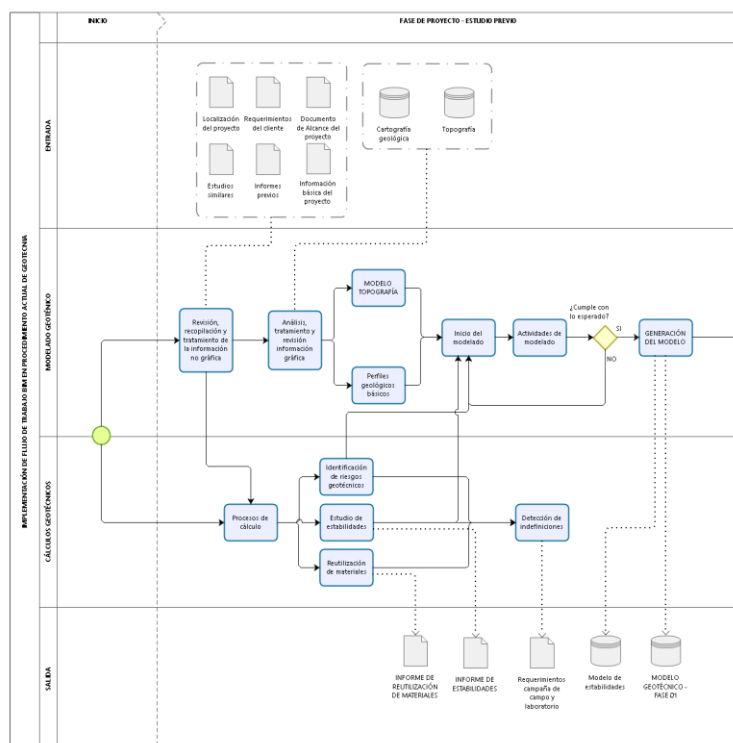


Figura 3: Flujo de trabajo BIM. Fase Estudio Previo. Fuente: elaboración propia (2018).

Una vez recopilada dicha información se procede a su revisión y tratamiento con el fin de determinar el mejor uso que se le pueda dar a lo largo del proceso de creación del proyecto. A partir de aquí se procede a la generación del modelo topográfico y a los perfiles geológicos básicos. Se procede, también, a la realización de los cálculos y procesos pertinentes que permitan identificar riesgos geotécnicos, estabildades de taludes y la reutilización de materiales. Estas primeras tareas son esenciales ya que actúan como condicionantes en el proceso de modelado así como en el propio enriquecimiento mediante información del modelo BIM. (Figura 3)

A lo largo de esta fase se podrá llegar a generar la siguiente información, tanto documental como de modelos BIM:

- Informes de reutilización de materiales.
- Informes de estabilidades del terreno.
- Requerimientos para el desarrollo de campañas de campo y ensayos de laboratorio, debido a posibles indefiniciones que se hayan detectado. Dichas campañas podrán ser desarrolladas posteriormente y sus resultados ser empleados como información de entrada para tareas posteriores.
- Modelo digital de estabilidades.
- Modelo Geotécnico – Fase 01.

1.2. Fase de Proyecto – Anteproyecto

Al comienzo de esta segunda fase se determina si el proyecto en estudio pertenece a una obra lineal o no. Si la respuesta es negativa, se pasaría directamente a la fase siguiente ya que, normalmente, para proyectos que no pertenecen al conjunto de las obras lineales, la ampliación de la información requerida se realiza al comienzo de la fase siguiente. En el caso de que se trate de un proyecto de una obra lineal, esta fase serviría para ampliar el conocimiento sobre el caso en estudio de modo que se puedan reducir las indefiniciones presentadas en la etapa primera. (Figura 4)

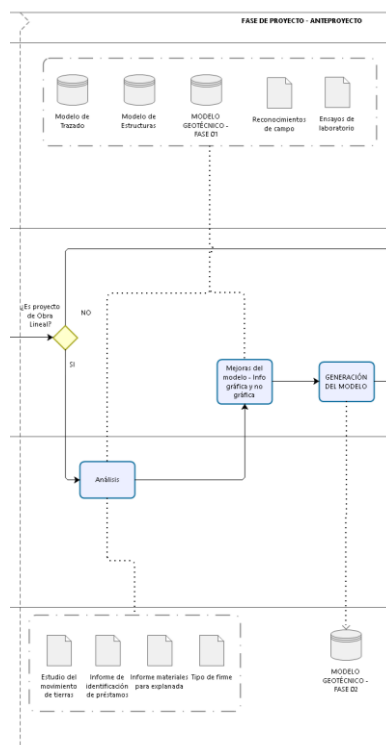


Figura 4: Flujo de trabajo BIM. Fase Anteproyecto. Fuente: elaboración propia (2018).

Como documentación de entrada, tanto gráfica como no gráfica, destacarían los siguientes elementos:

- Modelo Geotécnico – Fase 01.
- Modelo de Trazado.
- Modelo de Estructuras.
- Información obtenida por parte del reconocimiento de campo.
- Información obtenida por parte de los ensayos de laboratorio.

Esta información permite llevar a cabo mejoras en el modelo geotécnico BIM, en caso de que sea necesario porque así lo muestren tanto los sondeos como el resto de información recopilada. Así mismo, es posible

enriquecer el modelo digital mediante la inclusión de la información no gráfica obtenida mediante los ensayos de laboratorio. Claramente, la intención de esta fase consiste en la ampliación del conocimiento respecto a la problemática que pueda plantear el proyecto que se esté desarrollando.

Como información generada en esta fase se podría destacar la siguiente:

- Modelo Geotécnico – Fase 02.
- Estudio del movimiento de tierras.
- Informe de identificación de préstamos.
- Informe de materiales para la explanada.
- Nuevos requerimientos para campañas de campo.

1.3. Fase de Proyecto – Proyecto de Construcción

En esta fase se continúa ampliando la información recabada sobre el proyecto que se esté desarrollando, de modo que sea posible definir con un grado de detalle lo suficientemente alto como para poder evaluar de forma categórica los siguientes aspectos: (Figura 5)

- Validación de la ejecución de las obras.
- Validación de la tipología de cimentación así como del proceso constructivo elegido para su ejecución.
- Plan de auscultación para fases posteriores.

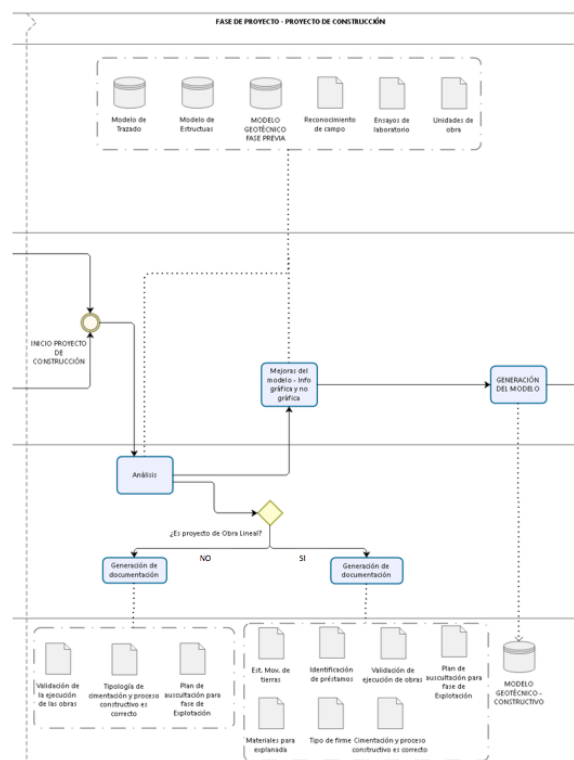


Figura 5: Flujo de trabajo BIM. Fase de Proyecto de Construcción. Fuente: Elaboración propia (2018).

Esta nueva fase comienza con la recepción de la información siguiente:

- Modelo Geotécnico – Fase 02.
- Modelos relativos a las disciplinas que requieran de análisis geotécnico.
- Datos provenientes de reconocimientos de campo así como de ensayos de laboratorio.
- Unidades de obra.

Toda esta información deberá ser analizada con la intención de determinar las posibles modificaciones que el modelo geotécnico BIM requiera así como el enriquecimiento de la información contenida dentro de dicho modelo.

1.4. Fase de Proyecto – Fase de Construcción

Esta fase se corresponde con la propia construcción del activo proyectado.

Debido a que se materializa físicamente lo proyectado sobre papel o sobre un modelo digital, es necesario disponer de un nuevo modelo que represente el estado geotécnico de la fase de obra. Este nuevo modelo parte del modelo generado en la fase anterior y si el alcance de las investigaciones fue lo suficientemente detallado, no requerirá de llevar a cabo grandes modificaciones, tanto geométricas como de información no gráfica. Uno de los aspectos más destacables de esta fase es que la recepción de información que debe ser cotejada con la información obtenida en fases anteriores, se produce de forma periódica a lo largo de la construcción del activo. Por lo tanto, la tarea de supervisión del modelo será continua a lo largo de la fase de construcción. Una vez finalizada la obra, se podrá generar un modelo BIM *as-built* geotécnico que represente fielmente la geología encontrada en la obra así como toda la información no gráfica que pueda servir para decretar de forma fehaciente los materiales realmente encontrados. (Figura 6)

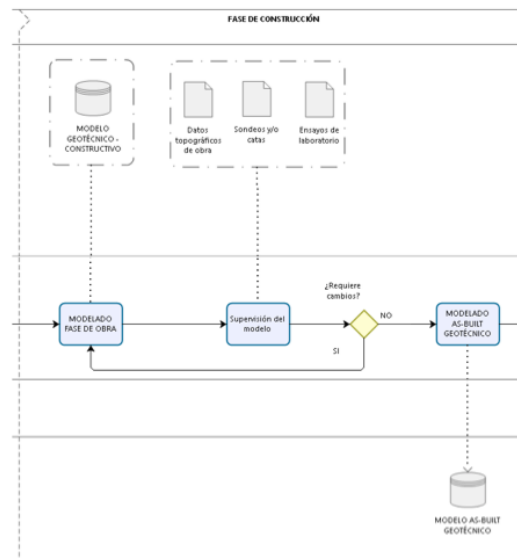


Figura 6: Flujo de trabajo BIM. Fase de Construcción. Fuente: Elaboración propia (2018).

1.5. Fase de Proyecto – Fase de Explotación y Mantenimiento

Esta fase corresponde a la última dentro del flujo de trabajo propuesto y se corresponde con la etapa de explotación del activo construido. El discurrir entre la fase de construcción y la fase de explotación del activo lleva asociado un cambio en el uso del modelo digital BIM. Esto es debido a que puede no ser necesaria toda la información, tanto gráfica como no gráfica que se haya podido recopilar y/o generar a lo largo de la fase de construcción, debido a que esta última fase se corresponde a la gestión del activo. Este hecho conllevaría la generación de un nuevo modelo, el *Asset Information Model*, o modelo de información del activo, en este caso, de la geotecnia que compete al producto construido. Este nuevo modelo puede ser creado a partir del modelo *as-built*. En esta última fase, si se hubieran previsto en fases anteriores, se desarrollarán los planes de auscultación correspondientes. Toda nueva información nutrirá al *Asset Information Model* actuando de contenedor recopilatorio tanto de información gráfica como no gráfica específico para la fase de explotación. Este nuevo modelo digital podrá estar conectado a bases de datos externas destinadas a la gestión del activo construido, ayudando así a la toma de decisiones que competan a la disciplina de la Ingeniería Civil tratada en este documento. (Figura 7)

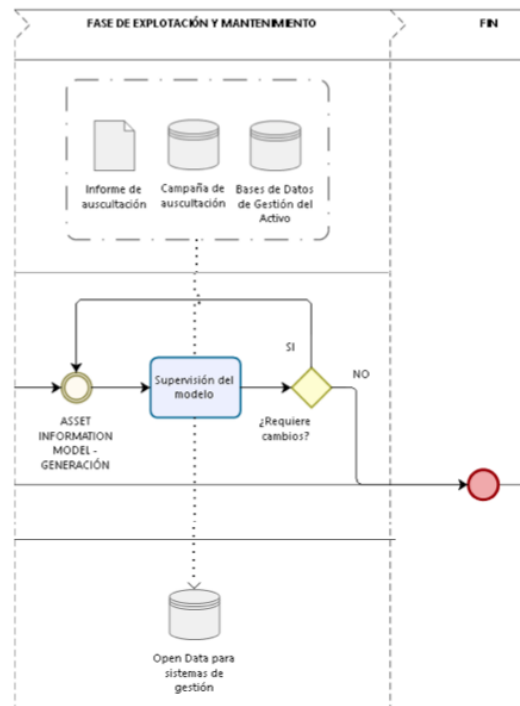


Figura 7: Flujo de trabajo BIM. Fase de Explotación y Mantenimiento. Fuente: Elaboración propia (2018).

2. Generación de ejemplo de modelo BIM geotécnico

Para el desarrollo de este modelo de ejemplo se partió de la información cartográfica geotécnica presente en la hoja 559 del MAGNA 50, la cual muestra el área casi completa de la ciudad de Madrid. Dentro de esta área se seleccionó el área circundante al Ministerio de Fomento, la cual presenta una estructura de fondo de valle.

Se emplearon herramientas como el entorno de modelado 3D de AutocAD, para el desarrollo de las superficies NURB, B-splines racionales no uniformes por sus siglas en inglés, que permitieron generar los volúmenes de los estratos correspondientes. En primer lugar se partió digitalizando los sondeos y sus estratos pero debido a que los sondeos conforman un conjunto de datos discreto, es decir, solo presentan información en aquellas localizaciones en donde se han llevado a cabo los sondeos, no eran capaces de generar un modelo 3D coherente, para subsanar esto se trabajó con cartografía temática de esta especialidad así como con perfiles geológicos, dando como resultado un modelo digital mejor definido. Posteriormente se analizó la posibilidad de enriquecer la geometría 3D así como la posibilidad de generar un archivo IFC. A tal efecto se empleó Revit, de la casa Autodesk, y el software de programación visual Dynamo, también perteneciente a la misma casa. Las principales razones por las cuales se decidió optar por este software fueron las siguientes:

- Facilidad de manejo.
- Software de programación visual Dynamo, que permite la gestión tanto geométrica como no geométrica de los modelos del proyecto.
- Referente en la familia de Autodesk a nivel mundial por lo que se cuenta con numerosos recursos.

El empleo de Dynamo tanto para la depuración de la geometría importada de AutoCAD como para el enriquecimiento del modelo mediante la carga de información propia de la disciplina fue fundamental para el desarrollo de este ejemplo de modelo BIM geotécnico. A continuación se muestra una visión general tanto del modelo obtenido de AutoCAD como de su tratamiento en Revit y su exportación a IFC previamente enriquecido con información, no obstante, la ausencia de un IFC Schema que contemple datos de esta especialidad impidió categorizar y estructurar correctamente la información cargada.

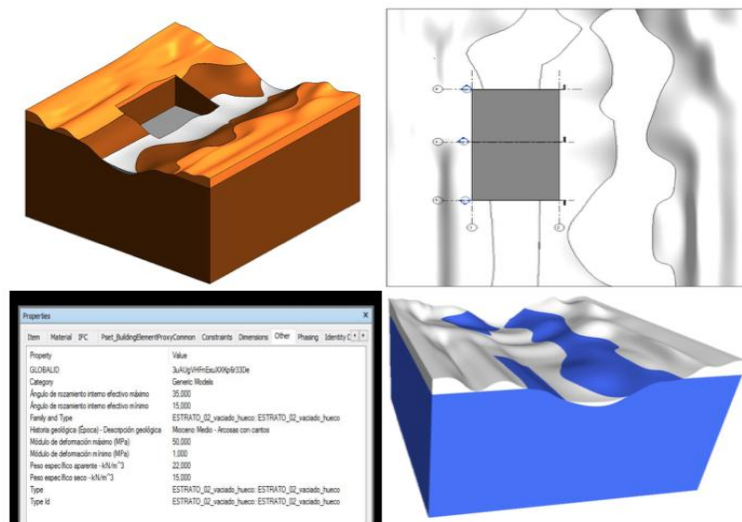


Figura 8: Ejemplo de modelo geotécnico BIM. Fuente: Elaboración propia (2018).

3. Conclusiones

En lo relativo al modelado, se determinó la necesidad de partir de una superficie topográfica así como de una cartografía geológica que permita realizar perfiles geológicos que pudieran ser empleados como base para la generación del modelo BIM. En cuanto a la generación del propio modelo IFC, se puede afirmar que es factible llevarlo a cabo, no obstante, en lo relativo al enriquecimiento con información, fue factible incluir datos relacionados con esta disciplina de la ciencia, no obstante la ausencia de un esquema IFC que contemple una organización estructurada de datos propios de esta disciplinar impide que se puedan desarrollar herramientas de intercambio entre programas específicos de cálculo y programas de modelado BIM por lo que para favorecer la implementación del BIM dentro del conjunto del sector AEC, organizaciones como la BuildingSMART deberían promover grupos de trabajo encaminados a desarrollar esquemas que contemplen estas especialidades.

En cuanto a la propuesta de trabajo que ayudase a implementar la implantación del BIM dentro de la rama de la geotecnia, al analizar y tomar como referencia un documento oficial publicado por el Ministerio de Fomento, esta es la *Guía de cimentaciones en obras de carreteras*, se pudo identificar que existe ya un enfoque a transversal a lo largo del ciclo de vida del activo, desde fases iniciales hasta fases avanzadas como la explotación del propio activo, de modo que la implementación de la metodología BIM podría presentar más facilidades que a través de otras especialidades.

En definitiva, la aportación a esta rama del conocimiento pretende establecer un punto de partida que pueda ser aprovechado por aquellas personas interesadas en investigar y desarrollar este campo, así mismo, esta propuesta de flujo de trabajo puede llegar a ser ampliada de modo que pueda responder a la múltiple y variada casuística que alberga esta rama del conocimiento.

4. Referencias

AUTODESK (2017). *Ingeniería geotécnica ¿Qué es y por qué es tan crucial para la infraestructura?*.

<<http://www.autodeskjournal.com/quingenieria-geotecnica/>> [Consulta: 15 de agosto de 2018].

BUILDINGSMART, F. “¿Qué es BIM? y OpenBIM”.

<<https://www.buildingsmart.es/bim/>> [Consulta: 13 de abril de 2018].

BURGGRAF, D., (2012). *DIGGS V2.0. a Documentation*. <https://www.geoinstitute.org/sites/default/files/inline-files/DIGGSML_V2.0.a_Documentation%20Web.pdf> [Consulta: 12 de junio de 2018].

CHANDLER, R.; MCGREGOR, I.D. y MORIN, G. (2012). *The role of geotechnical data in Building Information Modelling. Australian – New Zealand Conference on Geomechanics (ANZ 2012). 15th – 18th July 2012 [en línea], no. 44, pp. 511-516.*

<<http://www.keynetix.com/white-papers/the-role-of-geotechnical-data-in-building-information-modelling/>> [Consulta: 10 de julio de 2018].

DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS, M. de F. de E., (2004). “*Guía de cimentaciones en obras de carreteras*”.

<https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/0710401.pdf> [Consulta: 15 de agosto de 2018].

ESRI (-). *ArcGIS*. <<https://www.arcgis.com/index.html>> [Consulta: 18 de agosto de 2018].

GOLDEN Software (-). *Voxler – 3D Visualization*.

<<http://www.goldensoftware.com/products/voxler>> [Consulta: 18 de agosto de 2018].

HARVARD BUSINEES SCHOOL (2017). *Trillions in Wasted Productivity: Digitalization in the Construction Industry. Technology and Operations Management*.

<<https://rctom.hbs.org/submission/trillions-in-wasted-productivity-digitalization-in-the-construction-industry/>> [Consulta: 15 de agosto de 2018].

LUCIO IGLESIAS, D. (2018). “*GeoBIM: Aplicación de la metodología BIM a la Geotecnia*”. Trabajo Final de Máster. Madrid: Universidad Europea de Madrid, <<http://biblioteca.uem.es>> [Consulta: Autor de la publicación]

MARTINEZ-IBÁÑEZ, V.; PELLICER, E. (2017). “*Propuesta metodológica para la implementación de la información geotécnica en modelos BIM*”. <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/81903/IPP-FUENTES%3BOliver%20-%20EUBIM%202017.%20Congreso%20internacional%20BIM/%206%20encuentro%20de%20usuarios%20BIM.pdf?sequence=2&isAllowed=y>> [Consulta: 2 de mayo de 2018]

MOKARRAM, N. (2010). “*Data Exchange in Geotechnical Engineering*”. Doctorado. California: University of Southern California, <https://144g4i11tdrn3j2cti9hn458-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/02/Dissertation_Mokarram2010.pdf> [Consulta: 1 de abril de 2018]

RIENZO, F., ORESTE, P. y PELLIZA, S (2009). “3D GIS supporting underground urbanisation in the City of Turin (Italy)” en *Geotechnical and Geological Engineering*, vol. 27, no. 4, pp. 539-547.

SUTER, C (2018). “Societal Transformations and Their Implications for Social Indicators Research: Comments on “Fifty Years After the Social Indicators Movement: Has the Promise Been Fulfilled?” en *Social Indicators Research*, vol. 135, no. 3, p. 1035-1038.

SYSTEMS, B. (-). *gINT Software*.

<<https://www.bentley.com/es/products/brands/gint>> [Consulta: 18 de agosto de 2018].

ZAVOLOKINA, L., DOLATA, M., y SCHWABE, G. (2016). *The FinTech phenomenon: antecedents of financial innovation perceived by the popular press. Financial Innovation*.

<<http://jfin-swufe.springeropen.com/articles/10.1186/s40854-016-0036-7>> [Consulta: 18 de agosto de 2018].

ZHU, H., HUANG, X., LI, X., ZHANG, L., y LIU, X. (2016). “valuation of urban underground space resources using digitalization technologies”. *Underground Space*, vol. 1, no. 2, pp. 124-136.

ZHANG, Y., ZHONG, D., WU, B., GUAN, T., YUE, P. y WU, H., (2018). “3D Parametric Modeling of Complex Geological Structures for Geotechnical Engineering of Dam Foundation Based on T-Splines” en *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 33, no. 7, pp. 545-570.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

Information Management en BIM Level 2

Alonso López, Alberto^a

^aResponsable BIM. Departamento de infraestructuras. IDOM ingeniería. alonsolopezalberto@gmail.com

Abstract

In the recent years, the meaning of BIM is turning from Building Information Modeling to Better Information Management. However, what does it mean Information Management? What are the exact responsibilities for the Information Manager?

Throughout this document, it will be explained the duties I am carrying out as Information Manager of the preliminary design of Metrolink (Dublin, Ireland), which it will be the first heavy metro in the country.

In order to show a different approach from this role, this communication shall be focus on showing the unknown parts of the role which are as essential as the most famous parts for achieving a successful BIM Level 2 project.

- *How to elaborate a public tender for selecting the CDE which suits better for the project itself and also for the organization*
- *Practical use of Uniclass 2015 classification to manage the project*
- *Which information shall be requested per model and per asset according to the different lifecycle stages*
- *Asset Identification Standard and Asset Data Dictionary creation*

Keywords: *BIM, Uniclass, asset, information, management, CDE, standard, requirements, identification.*

Resumen

En los últimos años, el significado de BIM ha pasado progresivamente de Building Information Modeling a Better Information Management. Pero ¿qué es y qué hace exactamente un Information Manager?

Con el fin de enseñar una perspectiva no habitual de este rol, se hablará lo menos posible de modelos y software, haciendo más hincapié en otras partes no tan conocidas, pero igual de necesarias, para llevar a cabo con éxito un proyecto de BIM Level 2.

- *Creación de un pliego para seleccionar y licitar el CDE que mejor se ajuste a la organización*
- *Uso real del sistema de clasificación Uniclass 2015 para la gestión del proyecto.*
- *¿Qué información he de solicitar incluir a los modelos para las distintas fases de proyecto?*
- *Creación de Asset Identification Standard y Asset Data Dictionary*

Palabras clave: *BIM, Uniclass, ventaja, información, gestión, CDE, estándar, requisitos, identificación.*

Introducción

Durante mucho tiempo se ha entendido el acrónimo BIM como *Building Information Modeling* sin poder precisar con exactitud cuál es el origen del término.

Pese a que esta acepción de BIM fue usada por la mayoría de personas y/u organizaciones, en los últimos años autores como Malcolm Taylor, Head of Technical Information en el megaproyecto de Crossrail o Ross Dentten en su artículo sobre lecciones aprendidas en Crossrail [1] están impulsando una nueva acepción para BIM; *Better Information Management*. Pese a que cada vez esta acepción se va usando más, el uso de esta no es aun tan extensivo como *Building Information Modeling* en profesionales fuera de Reino Unido o Irlanda.

Este nuevo concepto de BIM no es simplemente un asunto dialectico, sino que pretende cambiar totalmente el concepto que tenemos de un proyecto en BIM. Ya no se centra tanto en el modelo 3D, sino que hace hincapié en la importante necesidad de una correcta gestión de la información durante la vida del proyecto.

Debido al uso extensivo de terminología inglesa en proyectos BIM, durante el presente artículo se mantendrá esa terminología, traduciendo solo aquellos términos que puedan inducir a error o que necesiten ser explicados.

1. Entendiendo el concepto de Information Mangement

Es de sobra conocido por cualquier profesional que la correcta gestión de la información es de vital importancia para el buen funcionamiento de un proyecto e incluso para el buen funcionamiento de un departamento o empresa entera independientemente de su sector.

Debido a las particularidades del sector de la construcción, esta gestión de la información dentro de los proyectos ha sido siempre bastante pobre, lo que ha repercutido negativamente en la productividad del sector.

Por ello, los estándares internacionales relacionados con BIM que han sido publicados recientemente, se centran en este aspecto.

Estos estándares no son otros que los ISO 19650 [2] (partes 1 y 2), los cuales se titulan “Organization and digitization of information about buildings and civil engineering Works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling”.

Como se puede observar, el Information Management es el tema central de estas. Al no ser objeto de este artículo la detallada explicación de estos estándares, no se explicará más en detalle el contenido de estos.

1.1. Diferencias entre BIM Manager e Information Manager

Debido al nombre, podríamos pensar que un Information Manager tiene unas responsabilidades y funciones diferentes a un BIM Manager, sin embargo, basta leer detenidamente las especificaciones británicas PAS 1192-2:2013 [3], consideradas de facto las especificaciones internacionales de BIM previo al lanzamiento de ISO 19650, para darse cuenta de que esto no es así y que la figura del BIM Manager ni tan siquiera aparece definida como tal.

2. Gestión de la información a través del Common Data Environment (CDE)

Es ampliamente conocido que un factor necesario para la correcta gestión de un proyecto BIM, y por lo tanto para la exitosa gestión de la información, es el uso de un CDE como plataforma común para alojar la información.

Debido a la extensa bibliografía existente acerca del CDE, en el presente artículo no se entrará en detalle en aspectos relacionados con esto.

2.1. Correcta elección del CDE

Siendo el CDE cómo se ha explicado un aspecto fundamental en un proyecto BIM, parece evidente que la buena elección de este puede marcar la diferencia entre un correcto proyecto BIM y uno no tan bueno o incluso malo.

Una de mis responsabilidades relacionadas con mi posición como Information Manager en el proyecto de Metrolink (Dublín, Irlanda) fue la elaboración, en colaboración con el cliente, Transport Infrastructure Ireland (TII en adelante) de un pliego para la licitación del CDE que se usará a lo largo de las diferentes fases del proyecto, desde el diseño preliminar hasta la fase de operación y mantenimiento pasando por el diseño detallado y la construcción.

Pese a que esta labor pueda resultar sencilla, finalmente se ha ido transformando en una compleja tarea donde ha sido necesaria la participación de diferentes perfiles, tanto desde IDOM como de TII, tales como Information Manager, equipo de especialistas en la elaboración de ofertas, equipo informático, etc.

Debido a acuerdos de confidencialidad, no se hace posible la difusión de esos documentos y requerimientos.

Sin embargo, y con el fin de explicar qué tipo de requerimientos se pueden solicitar para seleccionar un CDE, se deja indicadas las categorías que, como mínimo, han de incluirse:

- Requerimientos no funcionales
- Planes de entregables
- Gestión de archivos
- Migración desde diferentes plataformas
- Integración
- Ciber seguridad
- Elaboración de procesos dentro del CDE acorde a las necesidades del proyecto
- Sistemas de reportes y notificaciones automáticos
- Aspectos contractuales incluyendo costes

3. Sistemas de clasificación. Uniclass 2015

Como parte del uso de estándares británicos en proyectos BIM, se ha de usar el sistema Uniclass 2015. Pero, ¿para qué sirve realmente un sistema de clasificación como Uniclass 2015?

Con más frecuencia de la deseada, podemos encontrar en pliegos de contratación e incluso en contratos que “para la elaboración del proyecto se usará el sistema de clasificación Uniclass 2015”.

Si bien el uso de un sistema de clasificación puede ser de gran ayuda, también puede ser innecesario o incluso contraproducente si se incluye en un pliego sin saber con qué fin se usará.

Una gran ventaja del uso de este sistema está relacionado con la gestión del activo o *asset*, puesto que permite crear una relación entre pequeños *assets* y aquellos de un tamaño considerable tales como edificios, túneles o viaductos.

Para ejemplificar esta relación se adjunta la Figura 1.

4. Asset Management

Una de las grandes ventajas que se consiguen mediante la realización de un proyecto en BIM es el ahorro que se conseguirá en la fase de operación y mantenimiento. Esta fase de la vida de un *asset* se consigue gracias a la efectividad en la transferencia de la información entre las distintas fases del proyecto.

Uno de los grandes desafíos al que se enfrenta cualquier organización que promueve el diseño, construcción y mantenimiento de una infraestructura, es lograr que toda esa información que se ha ido generando y acumulando pueda ser de utilidad durante toda la vida útil de esa infraestructura.

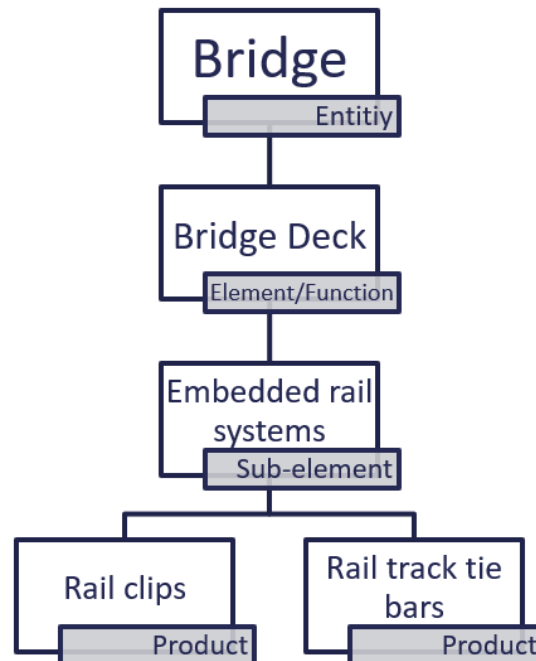


Fig.1 Uso de Uniclass en elementos de un viaducto. Elaboración propia (2019)

Para ello, se promueve la pronta inclusión de los diferentes equipos intervinientes, principalmente de los responsables de la explotación y conservación de esa infraestructura.

Continuando con el ejemplo de Metrolink, uno de los principales problemas a los que nos hemos enfrentado es la total ausencia de requisitos necesarios para llevar a cabo el mantenimiento de la línea de metro. Este desconocimiento de herramientas, procesos o métodos de trabajo en la fase de mantenimiento ha provocado que se haya ideado un sistema flexible que permita asegurar una trazabilidad de la información de los asset a través de cada fase del proyecto.

El término asset puede inducir a error puesto que su traducción en español más similar sería activo, por ello es necesario recordar que en terminología británica, un asset puede ser desde un simple grifo colocado en un cuarto de baño hasta una estación completa de metro, y ambos assets han de ser mantenidos.

4.1. Asset Identification Standard

Desde los primeros momentos del proyecto se identificó claramente la necesidad de establecer un sistema que permitiese identificar cada uno de los assets que pasarían a formar parte de la línea de metro.

Este sistema de identificación permitiría que, poniendo a cada asset un código único, este le acompañase durante toda la vida útil del proyecto, así, incluyendo este nombre en una base de datos, podremos tener una relación biunívoca entre la información contenida en la base de datos y los modelos de información o modelos BIM.

En un principio, se pensó en la posibilidad de usar el propio código Uniclass como parte del nombre del asset, asegurando de esta forma que con el propio nombre se podría identificar ante qué tipo de asset estamos.

No obstante, este sistema fue rápidamente descartado ya que suponía 2 grandes problemas:

- 1) Según el tipo de asset que quisiéramos identificar podríamos encontrarnos en la situación que la longitud y el número de caracteres a emplear fuese excesiva. Valga solo como ejemplo el código necesario para identificar un *Rail clip* que es Pr_20_29_70_70
- 2) Se hace extremadamente complicado poder identificar de manera relativamente rápida e intuitiva el asset con su etiqueta.

Una vez acordado que se buscaría un nuevo método que ayudase a conocer información del propio asset mediante su etiqueta, se sugirió la opción de la Figura 2.

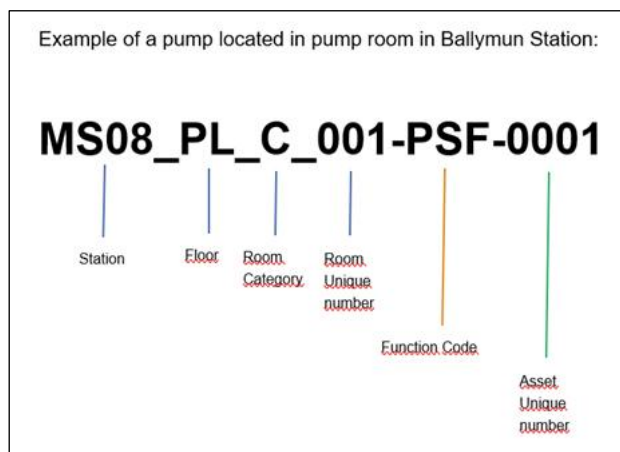


Fig.2 Ejemplo de etiqueta de una bomba. Elaboración propia (2019)

En esta segunda opción, los 4 primeros campos; “Station”, “Floor”, “Room Category” y “Room Unique Number” se correspondían con la localización del asset dentro de la propia línea, independientemente de si nos encontrábamos dentro o fuera de una estación.

Tras consultar con expertos en sistemas de gestión de activos, estos nos indicaron la no necesidad de mantener esta información dentro del propio nombre, puesto que cualquier software de gestión de activos o una simple base de datos te podría facilitar esa información.

Finalmente, se acordó que con el fin de acortar lo máximo posible la etiqueta sin perder información, esta etiqueta incluiría 2 códigos correspondientes a grupo y sub-grupo y un número único para evitar el riesgo de identificar de la misma manera a más de un único asset.

4.2. Asset Data Dictionary

Finalmente, otro documento que se creó, y en el que actualmente se continúa trabajando, es un Asset Data Dictionary, en el cual se incluyen todos los assets que TII necesitará gestionar durante cada fase del proyecto.

Este Asset Data Dictionary es un conjunto de documentos esencial para la correcta gestión de la información ya que detalla qué información ha de contener cada asset, quién es el responsable de incorporarla, en que formato, que documentos están asociados al asset, etc.

Como esta definición puede sonar ciertamente genérica o ambigua, en la Figura 3 se incluirá un ejemplo real de un asset incluido en el Asset Data Dictionary.

También se comparará este sistema con el habitual de requerir los assets con un LOD (Level of Detail) y un LOI (Level of Information) especificado.

El ejemplo que se desarrollará a continuación, un viaducto, corresponde a la clasificación de Entities dentro de Uniclass 2015 (En_80_94 – Bridges). Siguiendo el sistema habitual podríamos encontrarnos que ese viaducto se requiere ser modelado con un LOD2.

Este requerimiento que encontramos muy frecuentemente cuando nos enfrentamos a un proyecto BIM, puede resultar un tanto inexacto puesto que ese viaducto se compondrá de diferentes elementos; pilas, estribos, tablero, imposta, cables, vigas, etc. y muy posiblemente no deseemos el mismo nivel de detalle gráfico en cada uno de ellos.

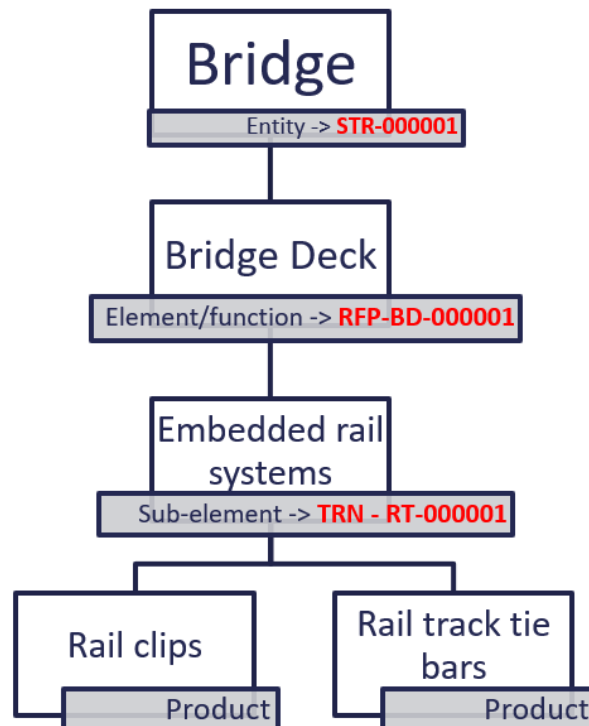


Fig 3. Ejemplos de nomenclatura definitiva. Elaboración propia (2019)

Por este motivo, en el Asset Data Dictionary se requerirá con mayor definición qué información gráfica he de incluir para ese viaducto según en qué fase de desarrollo del proyecto me encuentre.

A su vez, y continuando con el mismo ejemplo, podríamos ver que el LOI requerido para ese viaducto es un LOI2, siendo, de nuevo, una afirmación que puede resultar inexacta al no poder conocer con precisión qué información es necesaria para cumplir con un LOI2.

El uso del Asset Data Dictionary permite listar que información ha de ser incluida sin género de dudas.

Por último, ha de ser mencionado que el Asset Data Dictionary también incluirá que documentos asociados tiene ese asset y quien y cuando debe incorporarles.

Al haber identificado con un número único el asset, esa documentación se vinculará a esa etiqueta sin perder la trazabilidad.

5. Conclusiones

Durante la vida útil de cualquier construcción, una gran cantidad de agentes intervendrán en ella y es por eso que la correcta gestión de la información ha de ser, sin ningún género de duda, una de las máximas prioridades.

Para conseguir que esta gestión sea un éxito, es necesaria crear y difundir todos los estándares previos al comienzo de los trabajos. Con demasiada asiduidad contemplamos como se asocia un proyecto BIM a modelos 3D y se ha demostrado que, sin negar un ápice de su importancia, la gestión BIM de un proyecto no puede únicamente focalizarse en los modelos.

Adicionalmente, es vital que estos estándares se acuerden entre el cliente o el agente que promueve la construcción del activo y los demás agentes, puesto que cada empresa u organización tiene unas necesidades particulares.

6. Referencias

- [1] CROSSRAIL LEARNING LEGACY. Better Information Management to optimize whole life business decisions. <<https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/better-information-management-to-optimise-whole-life-business-decisions/>> [Consulta: 09 de julio de 2018]
- [2] ISO (2018). *Organization and digitization of information about buildings and civil engineering Works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling*. ISO 19650:2018. Suiza: ISO.
- [3] BSI (2013). PAS 1192-2:2013. *Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling*. British Standard Institution

BIM en la gestión de la cadena de valor de la ejecución de carreteras

Pérez-Romero, Juan^a; Vea-Folch, Francisco José^b

^aIngeniero de Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Valencia. BECSA Departamento Proyectos e I+D+i. jperez@becsa.es, ^bIngeniero de Caminos Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Cataluña. BECSA Departamento Proyectos e I+D+i. fjvea@becsa.es.

Abstract

The civil design plan and the following construction phase inside a construction company are not automatic. The project schedule, which is done by the site manager, is usually extempore. BECSA, in view of its digital transformation strategy, is developing a software which connects and transforms information flows from civil design to planning process, integrating every actor of the assembly line. Moreover, it allows to obtain data from real construction process (connecting real world with digital world), that is useful as input to coordinate it. Specially, it has been developed for road surfaces process. It is started with a BIM design model whose data is captured automatically and it is transformed in useful information to plan the work construction and fabrication, like material orders. Besides, the monitoring of key parameters of the bituminous mixtures in real time, during the assembly line, (temperature, times, etc.) allows making decisions in construction site and asphalt factories to plan again activities according to necessities.

Keywords: design, infrastructure, value chain, bituminous surfaces, real world, digital world.

Resumen

El proceso de diseño de infraestructuras y posterior ejecución dentro de una empresa constructora no se encuentran automatizados. La planificación se genera en base a la experiencia del jefe de obra replanificando “sobre la marcha”. BECSA, ante su estrategia de transformación digital, está desarrollando una plataforma software que conecta y transforma los flujos de información del diseño de la infraestructura con los procesos de planificación integrando a todos los actores de la cadena de suministro, y además permite capturar información del estado de ejecución real de la obra (conectando el mundo físico con el mundo digital), que sirve como input para los procesos de coordinación de la misma. En concreto, se ha desarrollado para la ejecución de firmes bituminosos. Se parte de un modelo BIM de diseño del que se capturan datos de forma automática y se transforman en información útil para procesos de planificación de obra y fabricación, como pedidos de materiales. Además, la monitorización en tiempo real de parámetros clave de la mezcla de asfalto durante su cadena de suministro (temperatura, tiempos, etc.) permite tomar decisiones en la propia obra y en la planta de asfaltos para replanificar actividades de acuerdo a necesidades y en tiempo real.

Palabras clave: diseño, infraestructuras, cadena valor, firmes bituminosos, mundo físico, mundo digital.

Introducción

Hoy en día, en el sector de la construcción, los flujos de información del proceso de diseño de infraestructuras (estudio de arquitectura/ingeniería) y el proceso de ejecución de obra (empresa constructora con medios propios de construcción o capacidad para subcontratar algunas operaciones a especialistas) no se encuentran automatizados ni siquiera integrados. La responsabilidad de generar la planificación y coordinación del proyecto de ejecución de la obra recae sobre la empresa constructora, y en última instancia, sobre la figura del jefe de obra, que suele ser una persona con una amplia experiencia en el mundo de la construcción y que, gracias a ello, posee la capacidad de planificar un calendario de operaciones en el orden secuencial mas lógico y económico posible, así como de coordinarse con los diferentes actores de la cadena de suministro.

El proceso de planificación de obra recibe los inputs del diseño de la infraestructura (que no contiene el nivel de detalle para la toma de decisiones), pero se genera en base a la experiencia y saber hacer individual del jefe de obra, responsable además de hacer frente a los imprevistos (información de diseño errónea, retrasos en entrega de materiales, problemas de calidad, etc.) replanificando “sobre la marcha” la ejecución de la obra y coordinando la ejecución de actividades, uso de recursos y suministro de materiales. Esta situación provoca retrasos, duplicidad de actividades y tiempos de espera, generando sobrecostes en la ejecución de la obra respecto de lo presupuestado.

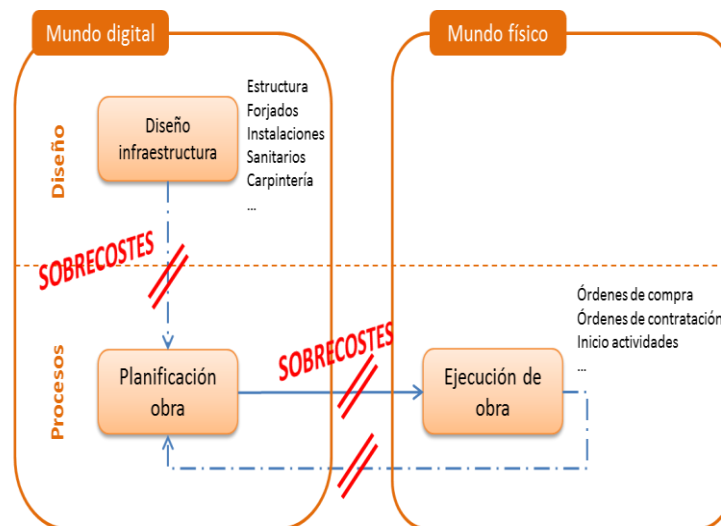


Fig. 1. Desconexión entre diferentes flujos de información. Fuente: Elaboración propia. (2018)

La plataforma AUTOPRO-2, desarrollada por BECSA con el apoyo de la Agència Valenciana de la Innovació (AVI), en colaboración con la empresa 2aCAD y el instituto AIDIMME, pretende abordar esta problemática general, mejorando la eficiencia del proceso de ejecución de obra de los proyectos de construcción (reducción de plazos, costes, y errores). El objeto de la plataforma es conectar y transformar los flujos de información del diseño de la infraestructura con los procesos de planificación integrando a todos los actores de la cadena de suministro (fabricantes de materiales, transporte, ejecución de obra, etc.), no solo en su etapa inicial, sino que además permita capturar información del estado de ejecución real de la obra (conectando el mundo físico con el mundo digital), de forma que sirva como input para los procesos de coordinación de la misma.

Para que sea posible este proceso inteligente, se hace necesaria la existencia de dos tipologías de base de datos de entrada. El primer tipo de datos de entrada es un diseño de la infraestructura que es la expresión ordenada en el espacio de un conjunto de objetos definidos sin ambigüedades en tres dimensiones y que esté basado en la metodología BIM ("Building Information Model" o Modelo de Información de la Construcción) que tendrá una descripción geométrica tridimensional y las características de los materiales empleados para su fabricación, así como el conocimiento de operaciones y recursos necesarios para la construcción para el constructor y sus contratistas con respecto a las operaciones y procesos que a fecha

de hoy no incorpora por el desarrollo de implantación del BIM en el sector. El segundo tipo de datos de entrada pretende conectar el mundo físico con el mundo digital al incorporar la información de ejecución real de la obra, que incluye tiempos (y retrasos de forma indirecta), errores, problemas de calidad, parámetros de proceso (temperatura, presión, etc.) que una procesada por la plataforma permite una coordinación dinámica de la ejecución de la obra.

El desarrollo de la plataforma se centra en el proceso de ejecución de firmes bituminosos. Actualmente la plataforma se encuentra en fase piloto en diferentes experiencias analizando el impacto directo en la eficiencia y rentabilidad directa en la gestión de la cadena de valor de la ejecución de carreteras. El proceso de ejecución de firmes bituminosos parte de un diseño de la infraestructura BIM donde se dispone de un conjunto de datos e información de diseño en los formatos de software tipo Civil 3D, Revit, ArchiCAD, etc.

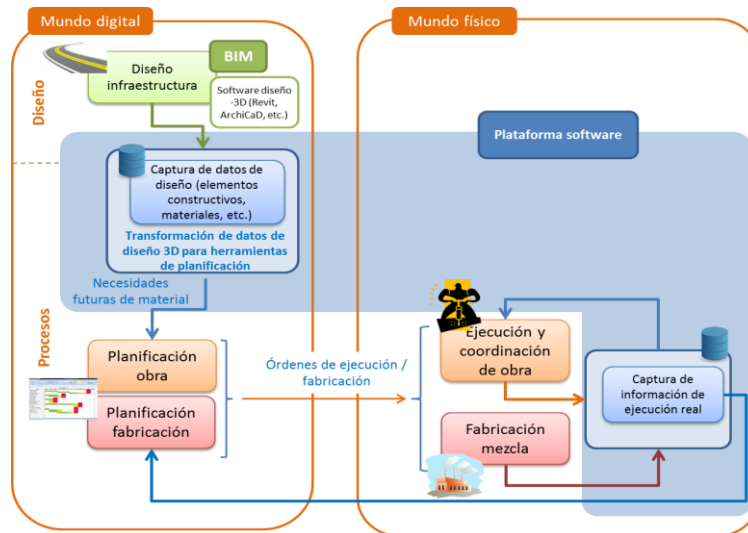


Fig. 2. Esbozo resultados del proyecto Fuente: Elaboración propia. (2018)

La plataforma será capaz de alimentarse de una captura automática de la información de diseño ligada a materiales, superficies, geometrías, etc., (primer tipo de datos) y transformarla en información útil para procesos de planificación de la obra y de la fabricación (integrando la información de proveedores de la cadena de suministro). De ésta manera, la plataforma transformaría los inputs de diseño de infraestructura en inputs de planificación (pedidos de materiales, etc.). Además, la monitorización en tiempo real de parámetros clave de la mezcla de asfalto durante su cadena de suministro (temperatura, tiempos,...), constituye el segundo tipo de datos, permitirá tomar decisiones en la propia obra y la fábrica para replanificar actividades cuando sea necesario.

1. El sistema de planificación del proceso de asfaltos

El sistema de planificación en una empresa constructora en los procesos de ejecución de firmes bituminoso, requiere combinar la planificación de actividades propias de obra con actividades de producción de aglomerado de forma sincronizada. En estas actividades tenemos recursos comunes a ambas actividades como son los vehículos de transporte (camiones) que entregan el aglomerado fabricado en las plantas a las diferentes obras, y recursos que son "consumidos" de forma exclusiva por cada una de las dos actividades (por ejemplo maquinaria en la obra, y áridos /betún en las plantas) cuya gestión afecta en la ejecución de la otra actividad.

La plataforma AUTOPRO-2 para la planificación del proceso de asfaltos genera información y resultados de salida que ayuda a los responsables de BECSA a la toma decisiones de forma dinámica, como son:

- Programación: fechas de inicio y fin las obras.
- Previsión de cargas: cantidad de mezcla bituminosa necesarias por semana en cada planta de aglomerado y para cada obra.

- Planificación de adquisición de recursos: necesidades de material que se van a consumir (áridos y betunes).
- Informes de actividad: Reporte de la actividad diaria con estadísticos clave de cada día.
- Modelo BIM de ejecución: Los datos recogidos de la obra permitirán realimentar el diseño de la obra en el modelo BIM inicial, que refleje la ejecución real para su consulta en tiempo real.

Esta información debe retroalimentarse en la plataforma en un proceso dinámico e iterativo de gestión necesitando:

- Estudio previo: camiones planificados, las toneladas a extender diariamente, la superficie total, el equipo adscrito, planta de asfaltado asociada.
- Partes diarios: informe del punto kilométrico (PK) de inicio y fin de asfaltado, así como temperatura del compuesto, el tiempo de actuación o la cantidad de toneladas de mezcla extendida.
- Albaranes de fábrica: cantidad de camiones y aglomerado utilizados.

2. Análisis de estructura de información de un proyecto BIM

2.1. Objeto del proyecto BIM en la plataforma

Para poder aportar la información necesaria a la plataforma AUTOPRO-2, se hace necesario identificar la información contenida en el proyecto bajo la metodología BIM relacionadas con la estructura de información de los inputs de la plataforma, así como su vinculación con el análisis de la estructura de datos para la planificación y gestión del proyecto, con el objeto de que los flujos de trabajo del diseño y de la ejecución sean fluidos y eficaces, mejorando la eficiencia del proceso de ejecución de obra de los proyectos de construcción (reducción de plazos, costes, y errores). De esta forma, el proceso de ejecución de firmes bituminosos parte de un diseño realizado con la metodología BIM que contendrá toda la información necesaria para su correcta ejecución.

El proyecto BIM para infraestructuras, debe tener dos elementos principales, un entorno de colaboración (EdC) y un nivel de detalle o desarrollo adecuado (LOD). Para ello, la unidad BIM de BECSA ha desarrollado un nivel LOD para los proyectos de infraestructuras del negocio de asfaltos, que permita:

- Quede reflejada el tipo y espesor de la mezcla bituminosa o similar a ejecutar.
- Extensión de la ejecución.
- Planificación de la ejecución de la obra
- ...

Todos estos requerimientos quedan especificados en un BIM Execution Plan (BEP) el cual, para cada proyecto en particular, debe definir el detalle del alcance de cada especialidad, las actividades de coordinación y verificaciones, y el procedimiento para aseguramiento de la calidad de los modelos. Cada proyecto tendrá su entorno de colaboración (EdC) en un sistema integrado de gestión. La necesidad de cualquier empresa constructora para el uso proyectos desarrollados con modelos BIM y que pretende abordar la plataforma AUTOPRO-2 son:

- Herramienta que reduzca el proceso de estudio y solicitud de ofertas.
- Permite detectar errores significativos o carencias importantes a nivel estudio.
- Herramienta que permita una mejor comunicación con el cliente.
- Se busca la mejora de la planificación de las actividades de la obra.
- Mejorar el control del avance de las partidas de las obras.
- Conectar el avance con certificaciones
- Conectar ejecución de familias con proveedores. Plan de aprovisionamiento.

Actualmente, las organizaciones en proceso de implantación de BIM tienen carencias en cuanto a la integración de información que permita un trabajo colaborativo entre los procesos de diseño de infraestructuras y los procesos de planificación ejecución de obra. Para ello se ha programado un desarrollo específico, para poder unificar de manera automática los principales softwares de diseño y revisión de proyectos BIM como son Autodesk Civil 3D y Navisworks, con la que de manera automática se crea una relación dinámica entre las fases de creación y diseño de proyectos con el control de la ejecución y planificación. En consecuencia, en la fase de ejecución de obra es posible obtener:

- Estimaciones de cantidades de mezclas con mayor precisión.
- Obtención de un registro histórico, punto base de aprendizaje para otros proyectos
- Se evitan los errores en la cadena de elementos asociados al proyecto, como las plantas de aglomerado, que ahora se sabe con exactitud qué tipo de mezcla se va a extender, que día y en qué cantidad.

2.2. Estructura del proyecto BIM en la plataforma

Tras un análisis de los elementos principales del proceso de ejecución de firmes bituminosos, se identifican las necesidades del diseño de infraestructura que van ligadas a las diferentes actividades que recoge la plataforma. El análisis consiste en:

- Recapitulación de la información necesaria del Modelo BIM: ensamblaje con el tipo y espesor de firme especificado, región de aplicación de dicho ensamblaje, volumen específico para cada material de extendido
- Creación de información de la planificación: actividades a desarrollar diariamente, definición de los PKs (Puntos kilométricos) a ejecutar cada día, material de ejecución y programación de las tareas, rendimiento estimado diario de los equipos de extendido
- Generación de información de la Plataforma digital de BECSA,
 - Partes diarios de la obra ejecutada, estos partes dispondrán como mínimo de la información siguiente: fecha, material/es ejecutados en el día, Pk de inicio y fin.
 - Además de toda la información extra que se desee quede reflejada en el modelo para ese día de ejecución, como número de camiones, climatología, etc.

Para la máxima automatización de los procesos, se usan los mismos códigos en el modelo BIM que en la plataforma de BECSA, para así, poder dotar de total integración entre las partes, de forma que la información es perfectamente integrable en la solución.

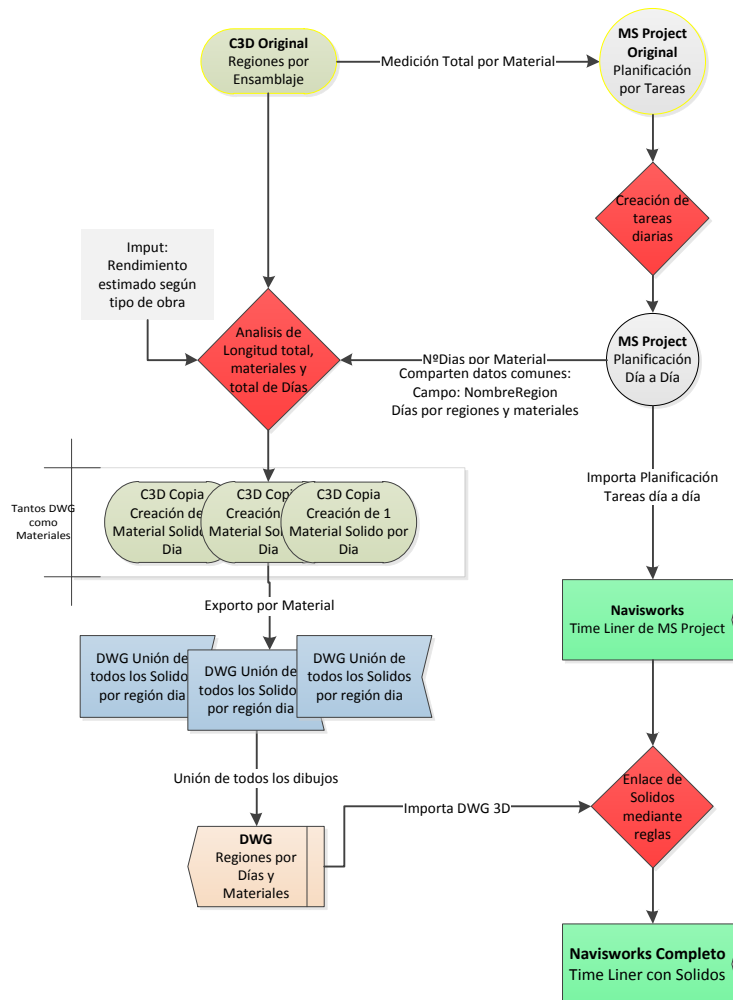
2.3. Fase de estudio de proyecto

En la fase de estudio de proyecto se prepara el modelo para su posible construcción, evaluando las diferentes alternativas de construcción obteniendo:

- una evaluación de alternativas constructivas al proyecto antes de la ejecución.
- un estudio previo que se actualiza de manera automática con la información de Proyecto.
- evaluación de las necesidades de plantas de aglomerado.
- mayor agilidad para planificar semanalmente las obras a ejecutar, eliminando las estimaciones o información sin contrastar.

El proyecto se inicia con un modelo BIM de la obra u obras a ejecutar, que contiene toda la información necesaria y el nivel de detalle adecuado para las necesidades de la ejecución en obra. Al final de esta fase se obtiene:

- La planificación de la obra distribuida de diariamente es el primer Input con el que se inicia la programación del Modelo BIM.
- Análisis de la planificación, según materiales a ejecutar y longitud de la obra.
- Vinculación de todos los materiales de la obra en un solo modelo en 3D, que contiene elementos sólidos de cada capa de material y cada uno de ellos estará dividido en tantas partes como días estimados de ejecución se hayan planificado.
- En Navisworks se unen los sólidos (diseño BIM) con la planificación estimada permitiendo evaluar de manera conjunta y en 4 dimensiones la futura construcción de la obra, de forma que es posible evaluar diferentes alternativas de ejecución.



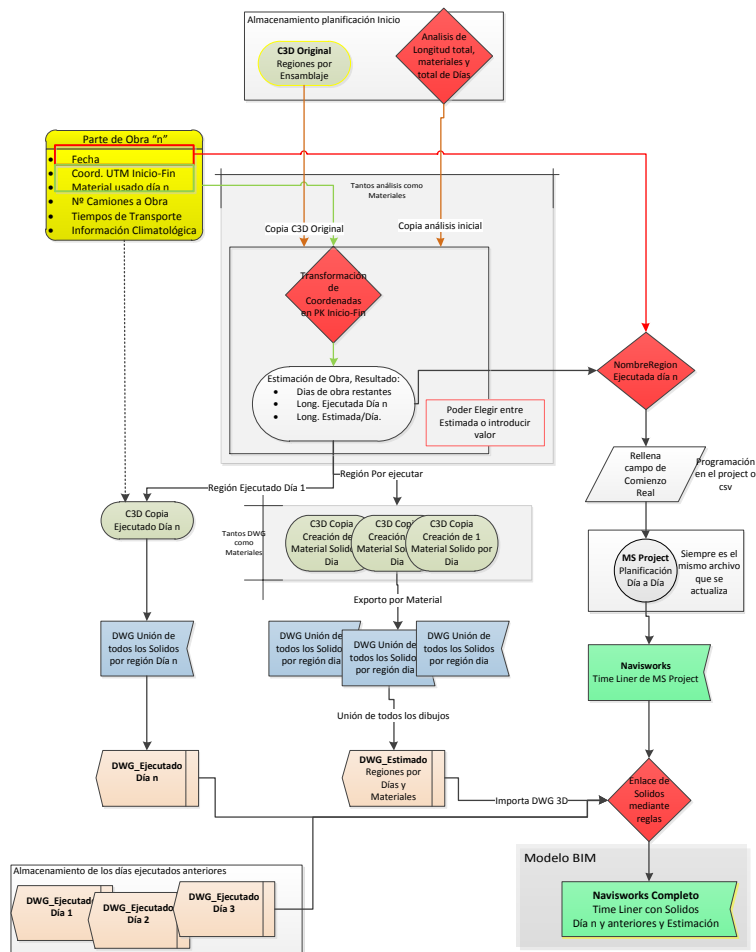
Esquema 1. Flujo de trabajo en fase de inicio de proyecto. Fuente: Elaboración Propia. (2018)

2.4. Fase de inicio de ejecución

Una vez iniciada la obra, la información de planificación realizada debe actualizarse con datos reales procedente de los partes de obra de la ejecución real (mundo físico), añadiendo esa información al modelo, estimando rendimientos y avances para los días siguientes. De esta forma, la obra se reprograma en función de lo ejecutado cada día, actualizando por ejemplo las fechas de finalización. El proyecto se inicia con la información del modelo BIM, completando la información con datos reales con la siguiente secuencia:

- El primer día de obra real, al finalizar los trabajos, el Jefe de obra, envía (como sucede actualmente) un parte de obra, que resume las actuaciones del día.

- Con la información del Parte, material extendido ese día y avance de la obra (PK final de la ejecución), la solución se estima entre otros datos:
 - Días de obra restantes (en comparación con los estimados) para el rendimiento de ese día.
 - Longitud de extendido de ese día.
 - Longitud de extendido para los días siguientes.
- Con esa información se procede a realizar dos acciones:
 - Obra ejecutada: Para ese día, queda en el modelo registrado aquello que se ha realizado en forma de sólidos la información de lo ejecutado en obra.
 - Obra por ejecutar: se repite el proceso de estimación para los días siguientes, pero se corrigen las estimaciones erróneas al tener información real de rendimientos.



Esquema 2. Flujo de trabajo en fase de ejecución y cierre. Fuente: Elaboración Propia. (2018)

- Como resultado obtenemos un modelo BIM en el que tenemos la información de lo que ha sucedido a diario en la obra, a la vez que tenemos las estimaciones para los días posteriores. De esta forma se puede hacer referencia a la programación anteriormente realizada para poder calcular desviaciones entre lo estimado y lo realizado, etc.
- Sobre este modelo, las demás aplicaciones de BECSA pueden recoger información del proyecto, para que, de manera automática, puedan estimar diversas previsiones, como de acopios en las plantas de aglomerados, previsiones de cargas, etc.

2.5. Fase de ejecución y finalización

A partir del análisis anterior, donde van quedado registrados todos los inputs del día a día de la obra en el Modelo se pueden extraer conclusiones a escala macro, coordinándose con varios proyectos para poder saber las estimaciones mensuales o semanales, establecer acopios, rendimientos, etc. Además, el Modelo contiene toda la información actualizada de lo sucedido cada día de obra. En esta fase el proyecto continúa ejecutándose, de forma similar al punto anterior, solo que en esta fase, se definen nuevos parámetros:

- Se van almacenando los archivos de la obra ejecutada cada día anterior, y se cargan en el modelo junto con las previsiones de programación.
- En el modelo, siempre se dispone de la información de lo realizado hasta ese momento, y de la restante para terminar la obra.

3. Outputs BIM de ejecución de obra hacia la planificación

3.1. Desarrollo

A partir del registro de parte diario donde se recoge información del status real de la obra día a día, con utilidad tanto para realimentar la planificación individual de una obra en un modelo BIM, como para realimentar la planificación global de las plantas.

3.2. Retroalimentación de la planificación de obra BIM

La información facilitada por el encargado de obra diariamente en el parte, sirve para generar la retroalimentación de la obra del modelo BIM real de ejecución actualizando la planificación inicial de la obra. El sistema recoge diariamente la información en forma de coordenadas del punto kilométrico (PK) de inicio y el punto de fin del proceso de asfaltado de un día concreto, así como las toneladas extendidas, lo que permite definir el modelo digital para comprobar la evolución diaria de la obra en un modelo vinculado en NAVISWORK. El modelo de ejecución real almacena también datos como la temperatura del asfalto que se genera o el material de cada una de las capas de asfaltado, permitiendo así la revisión de la ejecución en cualquier momento.

3.3. Retroalimentación de la previsión de cargas

Las desviaciones registradas en el parte diario deben de realimentar la previsión de cargas en la medida que implican un consumo menor de toneladas día, o retrasos en la ejecución de las obras. En concreto la localización, el equipo y planta asignada, el material a extender y las toneladas reales extendidas. Con el dato de toneladas reales extendidas se puede llevar a cabo una revisión de las necesidades de fabricación futuras y modificar la fecha de finalización de una obra o la toneladas/día a fabricar en una determinada planta.

4. Prueba piloto de la plataforma en ejecución real de obra

4.1. Introducción

La plataforma AUTOPRO-2, mediante prueba piloto, actualmente está siendo testada. A continuación se remarcan aquellos aspectos relacionados con la metodología BIM, así como la experiencia de usuarios encargados de generar los diferentes outputs de la plataforma.

4.2. Documentación inicial del diseño del proyecto

El contenido de la documentación inicial del diseño del proyecto es:

- Modelo BIM en Civil 3D; el proyecto se inicia con un Modelo BIM de la obra. Este modelo contiene toda la información necesaria y el nivel de detalle adecuado para las necesidades de la ejecución en obra.
- Creación de una planificación de ejecución diaria; se crea una planificación estimada de la ejecución del proyecto. En esta planificación se estipula según los rendimientos y otros factores, las distancias a ejecutar cada día, de forma que se crean unos PKs de finalización para cada material y día.

4.3. Ejecución automática de la solución

La ejecución automática de la solución consiste en:

- Análisis mediante programación de las características de la Obra.
Análisis de la planificación, según materiales a ejecutar y longitud de la obra. Con este análisis, se procede a segmentar los archivos en según los materiales, de forma que cada material tiene su propia planificación, puesto que la operación de extendido se realiza por capas de material. En este punto unimos la planificación con el Modelo BIM. Posteriormente se realiza la separación de materiales a ejecutar por días, para poder tener una planificación ajustada a la ejecución real en obra, mediante un desarrollo realizado para la plataforma.

- Archivos discretizados por días.

Este modelo BIM se exporta para poder realizar las conexiones necesarias entre materiales, mediante un desarrollo programado.

- Archivos de planificación

Finalmente se obtiene un archivo de gestión de la planificación a partir de:

- Unión en un solo archivo de los sólidos creados por separado, para una perfecta integración con Navisworks.

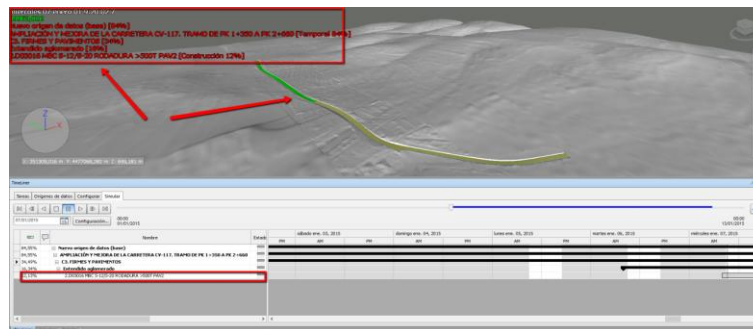


Fig. 3 Modelo BIM 5D, preconstrucción. Fuente: Elaboración Propia. (2018)

- Enlace de los sólidos (obra que se va a ejecutar) con la planificación estimada día a día.
- Obtención de un modelo 3D con la Planificación, En el que está completamente sincronizada la planificación de la obra con el modelo. De esta forma se puede saber con certeza cantidades de material a ejecutar cada día, previsiones de cargas de camiones, aprovisionamiento de las plantas de aglomerado, etc., de manera automática.

4.4. Programación 20/30 días

La programación a 20/30 días vista se realiza de forma semanal, y en ella se asigna fecha de inicio a nuevas obras. Esta programación se genera a partir de la información del estudio previo y de la planificación previa. Con ello los usuarios consiguen una visualización conjunta y secuenciada en el tiempo de todas las

obras a las que se les asigna una fecha de inicio. Además se puede identificar el volumen de carga de trabajo asignado a cada equipo evitando saturaciones y la toma de decisiones ágiles con el ahorro de tiempo en la generación de la programación de la organización.

4.5. Previsión de cargas

La programación de cargas se realiza por parte de la empresa de forma semanal, indicando las cantidades a ejecutar en obra y fabricar en planta. Esta programación se genera a partir de la información del estudio previo de cada obra, la asignación que se había hecho a plantas, y la fecha de inicio registrada en la programación a 20/30 días vista. A continuación, en la siguiente pantalla se muestra una imagen del resultado de la previsión de cargas generada. Con ello se consigue un ahorro de tiempo en la generación de la programación al generarse automáticamente. Además permite identificar el volumen de carga de trabajo en cada planta, así como la toma de decisiones ágiles acerca de una obra.

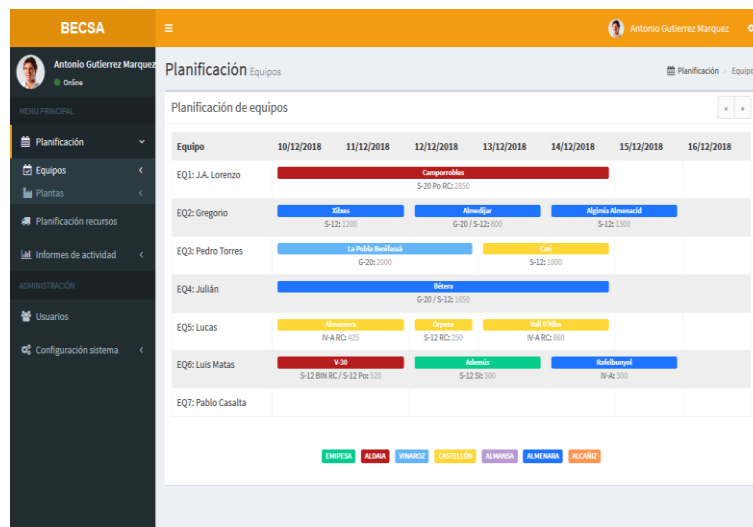


Fig. 4 Frontend de la previsión de cargas. Fuente: Elaboración Propia. (2018)

4.6. Captura de datos en obra

La captura de datos en obra se realiza a partir de una APP. El Jefe de equipo o la persona responsable correspondiente realiza esta acción a la finalización de la jornada indicando la posición exacta del fin del asfaltado para ese día. La aplicación muestra la posición GPS del usuario y este puede mover el marcador y seleccionar el lugar exacto de finalización del trabajo. Esta información se envía vía webservice al servidor de la plataforma, donde queda disponible para el sistema BIM mediante otro webservice, junto con la planificación y con el resto de datos de la obra. De esta manera se completa el ciclo y la retroalimentación con el sistema BIM. La citada acción permite el registro de la actividad en tiempo real de forma fácil mediante un dispositivo móvil en obra de forma el sistema BIM es retroalimentado mediante un dato clave para la planificación individual de la obra en Navisworks.

4.7. Retroalimentación del modelo BIM de planificación/ejecución de una obra

En esta fase, se cierra el proceso de planificación uniendo la ejecución real con la planificada, uniendo el mundo digital de un diseño asistido por ordenador con la realidad de la construcción. Todo, parte de un desencadenante, el parte de obra que rellena el jefe de obra, cada día al finalizar las tareas. Se reciben partes de obra de la ejecución real (mundo físico), y se añade esa información al modelo y se estiman rendimientos y avances para los días siguientes. Con esta información se pueden extraer conclusiones a escala macro, de varios proyectos para poder saber las estimaciones mensuales o semanales, establecer acopios, rendimientos, etc. Además, el Modelo contiene toda la información actualizada de lo sucedido cada día de obra.

4.7.1. Parte de Obra ejecutada a diario

Este parte es leído en la plataforma extrayendo los datos necesarios para dotar de información al sistema:

- Fecha del día al que se refiere el parte
- Coordenadas de la Obra ejecutada, con inicio y fin
- Material extendido ese día o materiales
- Resto de información requerida al modelo, como número de camiones, tiempos, meteorología, etc.

4.7.2. Análisis de las informaciones recibidas y planificación

Mediante el análisis de la cantidad de obra ejecutada en ese día en concreto se procede a crear una segunda y sucesivas planificaciones de obra, partiendo de datos reales.

4.7.3. Resultado Final

Finalmente se obtiene un Modelo BIM 5D real muy avanzado y próximo a la realidad de la construcción, relacionado, con una ejecución real (3D), la planificación (4D) y los costes reales (5D).

5. Referencias

BECSA (2018). AVI Programa Consolidación de la cadena de Valor empresarial. "AUTOPRO-2, Desarrollo de un sistema para la monitorización y automatización de los procesos productivos en la construcción".

COMISIÓN es.BIM (2018). *Implantación de BIM en España*. <<http://www.esbim.es/>> [Consulta: 8 de enero de 2018]

INFRAESTRUCTURES.CAT (2018). GUBIMCLASS. *Sistema de classificació BIM d'elements "per funció"*. <<http://infraestructures.gencat.cat/?page=bim>> [Consulta: 15 de enero de 2018]

MINISTERIO DE FOMENTO (2017-2020). *Plan de Innovación para el Transporte y las Infraestructuras*. <https://www.fomento.gob.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/PLANES/PLAN_INNOVACION_TRANSPORTE_INFRAESTRUCTURAS> [Consulta: 2 de noviembre de 2017]

Integración de sistema de mediciones y presupuesto automatizado en Autodesk® Revit™ mediante el enlace de unidades de obra paramétricas en formato BC3 con elementos paramétricos del modelo BIM

Abellán Alemán, José María^a

^aDirector de proyecto de BiMMate jm.abellan@BiMMate.com

Abstract

The previous GUBIMESP meeting to the EUBIM 2017 congress dealt with several interesting topics; among them, the measurement of a BIM model. The different commercial solutions were mentioned, each of them with its own limitations, concluding that there is no magic button to perform the task of measuring the model automatically.

That is the starting point of a thought that is flying around for quite a long time: if at the time of building a BIM model the decisions of what is modelled are taken, why do we have to repeat the procedure to explain the measure program how to proceed?. It is true that there is no magic button to measure a BIM model in the commercial solutions we know, but is it because it cannot be done or because there is an interest of not doing it so? Are the software developers not interested in developing new technologies based on the BIM potential?

The magic button can be done...

Keywords: Cost estimating, magic button.

Resumen

La reunión del GUBIMESP previa al comienzo del EUBIM 2017 trató varios temas interesantes, entre ellos el tema de las mediciones de un modelo BIM; se comentaron las diferentes opciones comerciales, cada una con sus limitaciones, para realizar esta tarea, concluyéndose que no existía un botón mágico que pudiera acometer la tarea de medir el modelo de manera automática.

Tal afirmación es el punto de partida de una reflexión que llevaba tiempo meditando: si al construir el modelo BIM ya se toman las decisiones oportunas respecto a qué se modela, ¿por qué tenemos que repetir la operación para explicar al programa de mediciones cómo se mide cada elemento?. Es cierto que no existe un botón mágico para medir un modelo BIM en las soluciones comerciales que conocemos, pero, ¿es porque no puede hacerse o porque no interesa hacerlo? ¿Acaso las empresas desarrolladoras de software no tienen interés en desarrollar nuevas tecnologías aprovechando el potencial del BIM?

El botón mágico puede hacerse...

Palabras clave: Mediciones, botón mágico.

Introducción

En la reunión del grupo de usuarios de Revit de España previa al comienzo de la edición 2017 del congreso EUBIM se discutió sobre varios temas, uno de los cuales llamó nuestra atención: la inexistencia de un proceso automatizado para realizar las mediciones de un modelo BIM. Se comentó que, desafortunadamente, a día de hoy no existe un botón mágico capaz de realizar de manera automática tales mediciones y presupuestar la obra a construir, por lo que habría que modelar el proyecto atendiendo a las especificidades del software de medición que fuera a usarse de modo que las tareas manuales fuesen las menos y se optimizase el flujo de trabajo lo mejor que fuera posible.

1. Estado del arte

Si se analiza el funcionamiento de los software de mediciones disponibles en la actualidad tenemos que, de manera generalizada, se trata de soluciones comerciales de los años 90 del pasado siglo con una interfaz gráfica pensada para una aplicación de escritorio, en muchos casos obsoleta. Es cierto que, desde sus orígenes, han acometido su específica tarea de una manera solvente, pero no es menos cierto que, con la llegada del BIM, el único camino por el que han evolucionado es el del desarrollo de un 'addin' para el software de modelado que permita el envío de información sobre la medición de los objetos contenidos en el modelo a dicha plataforma de mediciones, reconociendo uno o varios códigos almacenados en dichos objetos que se corresponderían con los códigos de las unidades de obra de un presupuesto previo (MITCHELL, 2012), es decir, el flujo de trabajo propuesto es el de asociar una 'foto fija' de una unidad de obra a un modelo BIM que, por definición, es cambiante (JIMÉNEZ ABÓS, BOUZAS CAVADA, ZARAGOZA ANGULO, & MOREA NÚÑEZ, 2018).

Este flujo de trabajo contiene unas evidentes limitaciones congénitas que impide a tales plataformas acometer el proceso de la medición de un modelo BIM con soltura y flexibilidad, por cuanto el estado paramétrico de cualquier elemento del modelo no está relacionado directamente con la unidad de obra cuyo código se ha asociado al elemento, sino que, previamente, el proyectista ha debido tomar la decisión de qué unidad de obra corresponde a cada elemento del modelo, la ha debido añadir a un presupuesto que actúa como plantilla, y ha añadido su código al elemento en algún parámetro del mismo.

El documento de la comisión es.BIM mencionado con anterioridad (JIMÉNEZ ABÓS, BOUZAS CAVADA, ZARAGOZA ANGULO, & MOREA NÚÑEZ, 2018), en el apartado 9.2.3, página 14, expone, con un ejemplo, la problemática del modelado del mismo elemento en dos situaciones diferentes que debe ser enlazado a diferentes unidades de obra: *"Tenemos un falso techo colocado en una doble altura, como muestra la sección de la imagen. La zona 'A' de falso techo tiene un precio superior a la zona 'B', debido a la posición respecto al suelo, medios auxiliares más caros y rendimiento de la mano obra inferior, de hecho, la diferencia de altura también afectará al modelado en fase de construcción, no solo por el precio en fase de creación del proyecto de ejecución, sino en la programación de trabajos en fase de obra, al tener menor rendimiento la parte 'A'..."*. Este ejemplo es clarividente, pues, efectivamente, el coste del producto, equipo o sistema es igual en ambos casos, pero la unidad de obra, al valorar el precio del material junto con la mano de obra, sus rendimientos y los medios auxiliares que entran en juego, es diferente en ambos casos; con las soluciones de medición tradicionales se requiere crear dos unidades de obra diferentes en el presupuesto y crear dos tipos diferentes de techos en el modelo, cada uno de los cuales se asociaría a un código diferente.

Esta rigidez intrínseca de las soluciones de medición para modelos BIM impide alcanzar el potencial que la parametrización de los modelos permite, por cuanto siempre se depende de un proceso manual donde el usuario asocia códigos fijos o estáticos a elementos variables y paramétricos.

2. El formato FIEBDC-3

Centrémonos ahora en las mediciones en sí mismas, sin atender a ninguna consideración de asociación a modelos BIM. Cada plataforma utiliza su propio algoritmo para manejar la información, pero todas ellas son

capaces de leer y escribir en el lenguaje BC3, un formato de intercambio estándar para bases de datos de la construcción.

FIE-BDC (FIE-BDC, 2018) es una asociación constituida para definir y supervisar el formato mencionado, un protocolo que permite al usuario intercambiar información entre diferentes programas de presupuestos y bases de datos de la construcción que lo cumplen.

El formato FIEBDC-3 tiene varias versiones desarrolladas desde el año 1995, siendo su versión actual la 2016. Se trata de un lenguaje descriptivo de los conceptos (cualquier unidad de obra, producto, equipo o sistema, entidad comercial, pliego, etc.) basado en texto con unas reglas sencillas para la generación de información. Pero lo más interesante de este formato es que, como los elementos de los modelos BIM, también soporta parametrización; esto es, la información sobre los conceptos es susceptible de ser generada paramétricamente.

3. BC3 paramétrico y objetos BIM paramétricos, un enlace necesario

La situación actual es la siguiente: las unidades de obra de las bases de datos de la construcción pueden definirse de forma paramétrica, esto es, pueden ser gobernadas por parámetros que inciden en los diferentes aspectos de la misma. Los elementos de los modelos BIM pueden ser también paramétricos, esto es, su definición geométrica y sus propiedades pueden definirse también mediante parámetros (LEE, SACKS, & EASTMAN, 2006).

Es cierto que aunque existen bases de datos paramétricas, casi todas las plataformas de software que las utilizan convierten una unidad de obra paramétrica en otra no paramétrica en el momento en que se añade a un presupuesto, pero ello es porque parten de un concepto tradicional donde el usuario hacía la selección paramétrica de manera manual desde la propia interfaz gráfica de la aplicación de mediciones, acabando el flujo de trabajo allí mismo. A este respecto cabe hacer una salvedad con la última versión de Presto y su complemento para Revit™ Cost-It (RIB SPAIN SA, 2019): Pueden establecerse enlaces paramétricos entre elementos del modelo BIM y unidades de obra paramétricas (referenciadas como códigos en alguno de los parámetros del elemento BIM) siempre que dichos elementos del modelo contengan parámetros con igual denominación que los de la unidad de obra BC3 y sus valores coincidan exactamente con las opciones definidas en este último; esto representa un avance significativo respecto de otras soluciones comerciales pero sigue quedando muy lejos de las posibilidades máximas que se alcanzarían con una integración completa de un motor de mediciones dentro de un software de modelado.

Cabe plantearse las siguientes cuestiones sobre el tema:

- ¿Pueden usarse las unidades de obra paramétricas directamente en un presupuesto?
- ¿Pueden establecerse enlaces entre los parámetros de las unidades de obra BC3 y los parámetros de los elementos del modelo y manejar estos enlaces con plena libertad?
- ¿Puede integrarse completamente el software de mediciones en el software de modelado?
- ¿Qué ventajas tendría hacerlo?

Si las respuestas fuesen positivas, podríamos encontrarnos ante el botón mágico para medir que no existe, un botón que, una vez pulsado, fuera generando las diferentes unidades de obra de las mediciones del modelo BIM a partir del estado paramétrico de los elementos que lo componen, atendiendo a la altura libre del techo si se desea, o a si se empleará bomba para el hormigonado de los pilares, y todo ello tomando las decisiones directamente desde el software de modelado, además de extraer la información sobre la medición también desde dichos elementos, completando el proceso de medición de una forma desatendida.

4. Definición de objetivos

La tarea se presenta titánica, pero merece la pena intentarla. Estos serían los pasos necesarios para conseguir el objetivo:

- Desarrollar una biblioteca de clases y de métodos capaz de leer y procesar un banco de precios de la construcción.
- Desarrollar una aplicación de escritorio que permita comprobar si la biblioteca anterior es operativa o contiene errores, y, ya de paso, que sirva como programa de mediciones convencional.
- Desarrollar un sistema de almacenamiento de unidades de obra en elementos del modelo BIM (potente, flexible y con verificación, lo que invalida la utilización de parámetros en elementos del modelo).
- Desarrollar un sistema de enlace entre los parámetros de las unidades de obra paramétricas almacenadas en los elementos del modelo BIM y los parámetros que gobiernan tales elementos.
- Desarrollar e integrar una interfaz gráfica en Revit™ que permita al usuario hacer todo lo anterior y resolver las mediciones del modelo BIM.

Las primeras dos subtarefas son generales y valen para cualquier plataforma de modelado, incluso para cualquier sistema operativo si se programara en lenguajes independientes a éste, aunque, en el caso que nos ocupa, se ha optado por desarrollarlas en .NET (MICROSOFT CORPORATION, 2018), por lo que quedan ya de partida limitadas al sistema operativo de Microsoft.

Las tres últimas tareas son, necesariamente, dependientes del software de modelado sobre el que se programe, por lo que, en este caso, debe acotarse el problema para investigar; nosotros hemos elegido Autodesk® Revit™ para este desarrollo por su amplia difusión en todos los mercados.

5. Descripción de las tareas

Se va a ir desgranando las tareas anteriores aportando algunas ideas y fragmentos de código de cómo se ha hecho, pero, puesto que el desarrollo del prototipo aquí expuesto ha devenido finalmente en un desarrollo comercial sujeto a propiedad intelectual, no se podrá incluir un vínculo a un repositorio tipo Git donde consultar la solución completa.

5.1. Biblioteca de clases y métodos

Por su extensión (y por limitaciones de propiedad intelectual), es imposible reproducir todo el código de la biblioteca de clases y métodos, pero sí puede explicarse su estructura y añadir algunos fragmentos de información.

La biblioteca se ha dividido en métodos y en clases (de datos) con la siguiente estructura:

5.1.1. Métodos

- Auxiliares: Contiene métodos internos usados por las clases y otros métodos. No son accesibles desde el exterior de la biblioteca al haberse definido como *'internal'*.
- De consulta: Contiene métodos públicos que pueden ser llamados desde fuera de la biblioteca para consultar aspectos sobre un concepto o sobre un presupuesto.
- De edición: Contiene métodos públicos que pueden ser llamados desde fuera de la biblioteca para editar algún aspecto de un concepto o del presupuesto.
- De escritura: Contiene métodos públicos que pueden ser llamados desde fuera de la biblioteca para escribir algún resultado.
- De lectura: Contiene métodos públicos que pueden ser llamados desde fuera de la biblioteca para leer y procesar un archivo BC3 desde el disco duro o desde FTP (ENRÍQUEZ & ÓSCAR, 2018).

5.1.2. Clases

- Constantes: Enumeraciones y constantes de programación utilizadas en la biblioteca.

- Dinámicas: Clases utilizadas en la biblioteca como el ámbito geográfico, las claves, códigos o los propios conceptos.

5.2. Aplicación de escritorio

Esta parte del proyecto de investigación es necesaria para ir verificando el correcto funcionamiento de la biblioteca de clases y métodos anterior. Cuenta con un potente motor paramétrico que permite, instantáneamente, conocer el funcionamiento de la definición paramétrica de un concepto.

Dado que el objetivo que se quería alcanzar con su desarrollo era la posterior implementación en una paleta acoplable de Revit™, necesariamente tenía que desarrollarse en XAML (HOLGUERA BLANCO, 2018), una versión actualizada de los tradicionales formularios de Microsoft Windows.

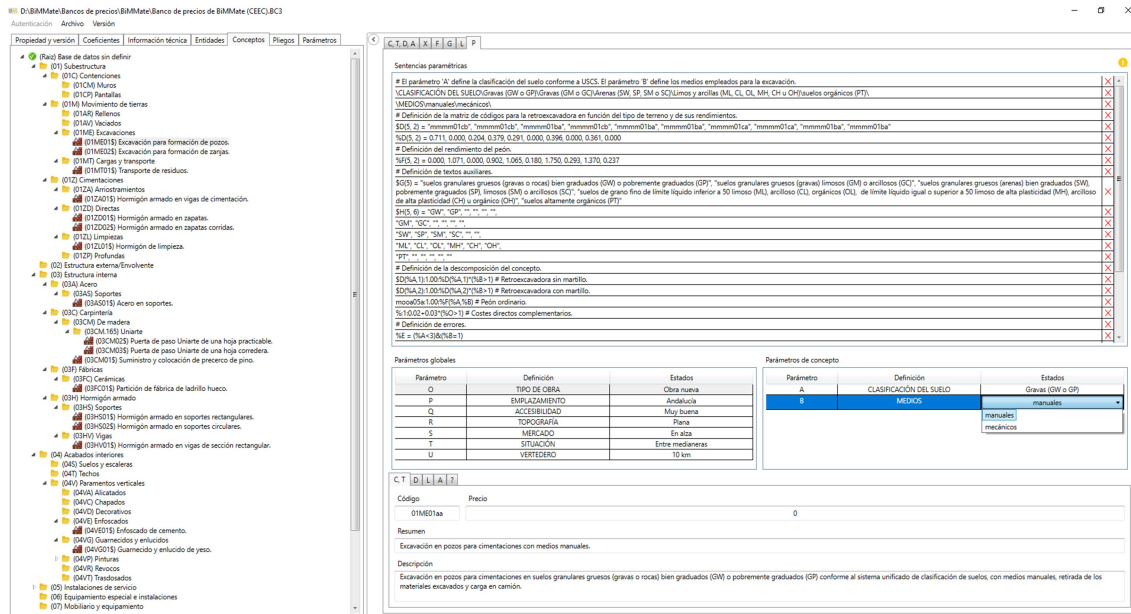


Fig. 1. Captura de la aplicación de escritorio que utiliza el motor de la biblioteca BC3. Año 2018. Fuente BiMMate

En XAML, hay varios patrones para abordar la comunicación del usuario con una estructura de datos, pero el más interesante de todos, y el que se ha adoptado en el desarrollo de la aplicación, es el MVVM (GOSSMAN, 2005). Básicamente se trata de un patrón de diseño de la arquitectura de las aplicaciones que busca desacoplar al máximo la interfaz de usuario de la lógica de la aplicación, organizándose en tres capas: una, el modelo, donde se almacena la estructura de datos (ZENG, 2006), otra, la vista, donde el usuario interactúa con la aplicación, y otra, la vista-modelo, donde se prepara una estructura de datos a partir de los datos del modelo que es la que se conecta a la vista, de modo que el usuario puede manipularla directamente sin necesidad de capturar eventos o realizar tareas complejas para averiguar la configuración de los datos al cerrar el formulario. A partir de ahí se establecen en el código XAML de la vista enlaces o 'bindings' a las diferentes propiedades de la vista-modelo.

```
<Expander Name="Expansor"
    Grid.Row="1"
    Grid.Column="1"
    Margin="0,5,5,5"
    HorizontalAlignment="Stretch"
    VerticalAlignment="Stretch"
    ExpandDirection="Right"
    IsEnabled="{Binding ElementName=VentanaPrincipal,
    Path=DataContext.ExpansorActivado, Mode=OneWay}"
    IsExpanded="{Binding ElementName=VentanaPrincipal,
    Path=DataContext.ExpansorExpandido, Mode=TwoWay,
    UpdateSourceTrigger=PropertyChanged}"
    BorderBrush="{DynamicResource {x:Static SystemColors.ControlDarkBrushKey}}"
    Background="{x:Null}"/>
```



Nótese en el siguiente fragmento de código la llamada al método 'OnPropertyChanged' que es quien se encarga de notificar a la vista los cambios en la propiedad de la vista-modelo cada vez que se cambia el valor de la misma.

```
public bool ExpansorActivado
{
    get
    {
        if (this.PestañaSeleccionada != null &&
            this.PestañaSeleccionada.Name.Equals("PestañaConceptos"))
            return true;
        else
            return false;
    }
}
private bool expansorExpandido;
public bool ExpansorExpandido
{
    get { return this.expansorExpandido; }
    set
    {
        this.expansorExpandido = value;
        if (this.expansorExpandido)
        {
            this.AnchuraColumnalIzquierda = new GridLength(1, GridUnitType.Star);
            this.AnchuraColumnaDerecha = new GridLength(1, GridUnitType.Star);
        }
        else
        {
            this.AnchuraColumnalIzquierda = new GridLength(1, GridUnitType.Star);
            this.AnchuraColumnaDerecha = new GridLength(28, GridUnitType.Pixel);
        }
        OnPropertyChanged("ExpansorExpandido");
    }
}
private bool expansorExpandido;
```

5.3. Almacenamiento de unidades de obra en elementos del modelo

Aquí se tiene claro que se usará el almacenamiento extensible de Revit™ por varios motivos:

- Se va a incrustar en los elementos del modelo información compleja, no solamente un código en forma de cadena.
- No es deseable que el usuario pueda manipular libremente estructuras de datos complejas sin una interfaz de usuario apropiada (por la necesidad de verificación de la información).
- No es deseable que se 'ensucie' el modelo añadiendo indiscriminadamente parámetros adicionales a los elementos del modelo.

En BiMMate ya tuvimos ocasión de exponer esta estrategia de almacenamiento de datos no gráficos en los elementos del modelo en la sexta edición del congreso EUBIM, en 2017 (ABELLÁN ALEMÁN, 2017). Básicamente lo que se hace es crear una estructura de datos basada en un esquema que se asocia a los elementos del modelo (a las familias en los casos de componentes de Revit y a los tipos de familia en los casos de familias del sistema). Como ya se citó en EUBIM 2017, la clave es la escalabilidad, lo que va de la mano de la serialización, y, como en la anterior ocasión, se ha escogido el formato JSON, de este modo se puede serializar toda una instancia de una clase, convertirla en una cadena de texto serializada que se

almacena en la entidad de datos basada en esquema que, a su vez, se almacena en el elemento del

```
entidadBasadaEnEsquema.Set<string>("ConceptosVinculados",JSON.SerializarObjetoACadenaJSON(conceptosVinculados));
```

modelo BIM:

Donde *'entidadBasadaEnEsquema'* representa una instancia de la clase *'Entity'* del espacio de nombres *Autodesk.Revit.DB.ExtensibleStorage*, *'ConceptosVinculados'* es el campo de la entidad donde se va a almacenar el valor, *'SerializarObjetoACadenaJSON'* es el método que se encarga de hacer la serialización

```
public static string SerializarObjetoACadenaJSON(object objetoASerializar)
{
    return JsonConvert.SerializeObject(objetoASerializar);
}
```

de un objeto a una cadena con el formato JSON, y, *'conceptosVinculados'* es la instancia de la clase que se quiere serializar.

El fragmento de código anterior, de extraordinaria simplicidad, se encarga de serializar un objeto de entrada en una cadena en formato JSON. Se trata de un método público y estático cuyo único argumento de entrada es el objeto que se pretende serializar y su único resultado de salida es una cadena con la serialización.

5.4. Enlaces paramétricos

Aquí está el primer 50% del avance tecnológico que este proyecto de investigación supone. No se va a incrustar en los elementos del modelo el código de una unidad de obra que luego el programa de mediciones localizará y procesará, sino que se va a añadir una lista de instancias de una clase que contiene, para cada código de unidad de obra, todos los parámetros que la definen (si ésta es paramétrica), junto con el identificador del parámetro de Revit a que se enlaza y las reglas que determinan el estado BC3 que será de aplicación en función del valor del parámetro de Revit a que se haya enlazado.

Esta	Expresión inferi	Expresión supe
A/8	CVM A/8	CVM A/8
A/10	CVM A/10	CVM A/10
A/12	CVM A/12	CVM A/12
A/15	CVM A/15	CVM A/15
B/10	CVM B/10	CVM B/10
B/12	CVM B/12	CVM B/12
B/15	CVM B/15	CVM B/15
B/20	CVM B/20	CVM B/20
B/23	CVM B/23	CVM B/23
B/25	CVM B/25	CVM B/25

Fig. 2. Aspecto de la interfaz de usuario para incrustar en el elemento seleccionado del modelo la lista de instancias de la clase *'Concepto Vinculado'*. Año 2018. Fuente BiMMate


```
public class ConceptoVinculado
{
    public string CódigoDeConcepto { get; set; }
    public string ResumenDeConcepto { get; set; }
    public string ComentarioALaSelecciónDeParámetros { get; set; }
    public ObservableCollection<EnlaceParamétrico> EnlacesParamétricos { get; set; }
    public ObservableCollection<EnlaceParamétrico> EnlacesParamétricosNoEstablecidos
    {
        get
        {
            List<EnlaceParamétrico> listaDeEnlacesParamétricosNoEstablecidos;
            listaDeEnlacesParamétricosNoEstablecidos = new
            List<EnlaceParamétrico> { };
            foreach(EnlaceParamétrico cualquierEnlaceParamétrico in
            this.EnlacesParamétricos)
            {
                if (cualquierEnlaceParamétrico.ParámetroDelElemento is null ||
                cualquierEnlaceParamétrico.ParámetroDelElemento.NombreDelP
                arámetro.Equals("**Ninguno**"))
                {
                    listaDeEnlacesParamétricosNoEstablecidos.Add(
                    cualquierEnlaceParamétrico);
                }
            }
            return new ObservableCollection<EnlaceParamétrico>
            (listaDeEnlacesParamétricosNoEstablecidos);
        }
    }
    public ObservableCollection<ParámetroDeMedición> ParámetrosDeMedición { get; set; }
    public string EcuaciónDeMedición { get; set; }
    public string Capítulo { get; set; }
    public ConceptoVinculado()
    { return; }
    public ConceptoVinculado(
        string códigoDeConcepto,
        string resumenDeConcepto,
        string comentarioALaSelecciónDeParámetros,
        ObservableCollection<EnlaceParamétrico> enlacesParamétricos,
        ObservableCollection<ParámetroDeMedición> parámetrosDeMedición,
        string ecuaciónDeMedición,
        string capítulo)
    {
        this.CódigoDeConcepto = códigoDeConcepto;
        this.ResumenDeConcepto = resumenDeConcepto;
        this.ComentarioALaSelecciónDeParámetros =
        comentarioALaSelecciónDeParámetros;
        this.EnlacesParamétricos = enlacesParamétricos;
        this.ParámetrosDeMedición = parámetrosDeMedición;
        this.EcuaciónDeMedición = ecuaciónDeMedición;
        this.Capítulo = capítulo;
        return;
    }
}
```

De la Fig. 1 anterior y del fragmento de código que la sigue, puede deducirse que se ha desarrollado una interfaz gráfica en XAML usando un patrón MVVM para que el usuario vaya enlazando unidades de obra (paramétricas o no), desde un banco de precios, al elemento del modelo BIM que se ha seleccionado, permitiendo asociar, a cada parámetro BC3, su homólogo de Revit™, y posibilitando, además, que se

escriban las reglas de cada estado posible en el parámetro BC3 a partir del valor que el parámetro de Revit™ pueda adquirir

En realidad, el proceso de enlace tiene tres partes:

- En la primera columna, '*Variables y parámetros*', de la interfaz gráfica, se determinan, para cada unidad de obra enlazada, los enlaces paramétricos del BC3 a sus homólogos de Revit™, junto con las reglas de captación de los estados que sean de aplicación.
- En la columna '*Medición*' y '*Parámetros de medición*' se define cómo se va a medir la unidad de obra considerada. Pueden añadirse cuantos parámetros del elemento se desee y escribir la fórmula que los relacionará.
- En la tercera columna se define la ubicación de la unidad de obra en la estructura del presupuesto que se generará.

5.4.1. *Variables y parámetros*

Si se enlaza una unidad de obra no paramétrica no existirán parámetros que enlazar y la interfaz gráfica no mostrará nada.

Los parámetros de Revit™ disponibles para los enlaces son todos los de ejemplar y de tipo (y de familia en componentes), de modo que la posterior medición determinará la unidad de obra correcta a nivel de ejemplar, de tipo o de familia de forma automática, sin intervención del usuario.

Si algunos parámetros de la unidad de obra BC3 no se enlazan a parámetros de Revit™, aun así el usuario podrá establecer el valor por defecto (desde la paleta de información ampliada de elemento que se presentó en EUBIM 2017); esto es útil, por ejemplo, para no saturar los elementos del modelo con parámetros que sólo son necesarios para la medición y no controlan nada desde el punto de vista gráfico; también resuelve la problemática de las familias del sistema, donde los enlaces paramétricos sólo podrían acometerse añadiendo nuevos parámetros de proyecto a la categoría, incluso si afectan a elementos que no los necesitan.

Los parámetros de Revit™ a que se enlacen los de la unidad de obra BC3 pueden ser numéricos o alfabéticos; en este último caso la comparación para los estados se hará carácter a carácter.

Se ha añadido un pseudo-parámetro Revit™ para poder enlazar, a un parámetro de una unidad de obra BC3, el espesor de una capa en familias del sistema que se organizan en capas, como suelos o muros; de este modo puede, por ejemplo, decidirse automáticamente el tipo de ladrillo que se usará en las fábricas modificando el espesor de la capa correspondiente, o actualizar la unidad de obra correspondiente al espesor del guarnecido de yeso sin más que variar el grosor de la capa en la que se aplica a un muro.

5.4.2. *Medición*

Una vez determinada la unidad de obra concreta que debe utilizarse en la medición para cada ejemplar o tipo de elemento (se trata de un proceso automático) debe asignarse cuál será la manera en que dicha unidad de obra se medirá, para lo cual el usuario puede añadir tantos parámetros de Revit™ como quiera entre los disponibles para el ejemplar y el tipo a que pertenece el ejemplar; en esta ocasión, los parámetros se filtran para que sólo sean de tipo numérico.

El usuario debe entonces escribir la fórmula que relaciona todos los parámetros asignados entre sí usando la sintaxis adecuada (CHU-CARROLL, 2007), con la cual la aplicación será capaz de calcular la medición de la unidad de obra a partir de los parámetros del elemento.

5.4.3. *Organización*

Para organizar automáticamente las unidades de obra añadidas a la medición, el usuario puede añadir una ruta de capítulos donde desea que se añadan éstas de manera automática, aunque posteriormente se

pueda reorganizar esta estructura desde la interfaz de usuario del programa de mediciones que se desarrolla en el apartado 5.5 siguiente.

5.5. Interfaz gráfica en Revit™

Aquí reside el otro 50% de la innovación tecnológica del proyecto de investigación. Aprovechando la biblioteca de métodos y clases del apartado 5.1, los conocimientos adquiridos en el desarrollo de la aplicación de escritorio del apartado 5.2, la incrustación de datos del apartado 5.3, y los enlaces paramétricos del apartado 5.4, es posible construir una paleta acoplable en Revit que muestre la información que se genere al realizar la medición.

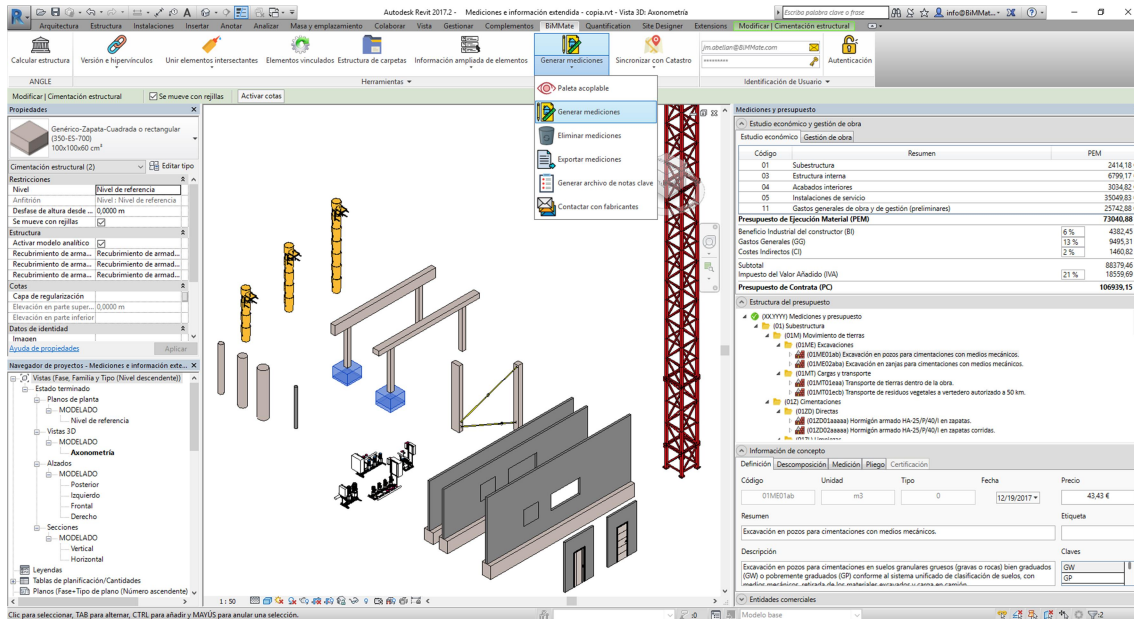


Fig. 3. Aspecto de la paleta acoplable que muestra los resultados de las mediciones automáticas. Año 2018. Fuente BiMMate

Dos son, esencialmente los pasos que dar:

- Desarrollar un comando externo que realice la medición y la almacene en el modelo (en el almacenamiento extensible, por supuesto, colgando del elemento de información del documento).
- Desarrollar una aplicación XAML basada en el patrón MVVM que esté enlazada a los datos que el comando anterior genera.

5.5.1. El comando externo para medir el modelo.

Este comando realiza las siguientes tareas:

- Itera entre todos los elementos seleccionados del modelo.
- Itera entre todos los conceptos BC3 vinculados a cada elemento seleccionado del modelo.
- Itera entre todos los enlaces paramétricos para conocer cuál es el estado que corresponde aplicar.
- Compone un código que parte del paramétrico original (6 primeros caracteres hasta el carácter '\$') añadiendo las letras del estado correspondiente a cada parámetro en el orden en que se definieron en función del valor del parámetro de Revit™ a que fueron asociados.
- Llama al método que genera u obtiene el concepto BC3 asociado a dicho código.
- Si no existe el concepto en la medición, lo añade.
- Al concepto recién añadido (o encontrado), añade las mediciones que correspondan al elemento de la iteración actual.

5.5.2. El WPF para presentar la vista en una paleta acoplable en Revit™

Para el estado de desarrollo actual del proyecto de investigación se ha optado, como se ve en la Fig. 3, por dividir el formulario en cuatro epígrafes organizados en expansores:

- El primero contiene el estudio económico y la gestión de la obra: Se utiliza para mostrar el presupuesto por capítulos, el importe total del PEM, los gastos generales, el beneficio industrial del constructor y el presupuesto de contrata. Todos los porcentajes e importes pueden ajustarse directamente y se recalcula todo al instante.
- El segundo muestra la clásica estructura en árbol de las mediciones. Se pueden añadir capítulos y arrastrar y soltar para cambiarla. En un futuro se implementará la posibilidad de añadir nuevas unidades de obra, asociadas o no a elementos del modelo. Al seleccionar cualquier concepto, todos los elementos del modelo BIM involucrados en su generación se iluminan gracias a la llamada a un evento externo (TAMMIK, 2018) de Revit.
- El tercero muestra las propiedades del concepto BC3 seleccionado (código, unidad, resumen, descripción, claves, mediciones, pliego y certificaciones), pudiendo ajustarse cualquiera de los datos generados automáticamente, como, por ejemplo, el precio.
- El cuarto muestra un listado de todos los fabricantes involucrados en las mediciones del proyecto, junto con información de contacto, lo que permite, por ejemplo, iluminar todos los elementos del modelo BIM asociados a dicho fabricante.

6. Conclusiones

Si bien los flujos de trabajo para realizar mediciones con las soluciones comerciales actuales son adecuados en la mayoría de situaciones, es también posible establecer enlaces entre conceptos BC3 paramétricos y elementos paramétricos de un modelo BIM, de modo que las unidades de obra y sus estados de medición se calculen automáticamente a partir del estado paramétrico del modelo, permitiendo automatizar completamente el estado de mediciones de un modelo BIM; este segundo camino explorado en la presente comunicación habilita, además, la automatización en la gestión de cambios con los inevitables ajustes del modelo durante la fase del ciclo de vida del activo, abriendo la puerta a utilizar el modelo de mediciones como una herramienta de diseño, es decir, tomar decisiones sobre bombear las piezas a hormigonar o usar cubilote puede hacerse comprobando la incidencia de tal decisión sobre el coste sin tener que realizar dos modelos de medición diferentes.

Como consecuencia de ello, no es necesario establecer enlaces de manera manual cada vez que cambia el modelo, eliminando procesos manuales y previsible errores. Adicionalmente, el estado de mediciones y presupuesto de un modelo BIM se convierte en una herramienta para la toma de decisiones en la fase de diseño, en lugar del habitual resultado final cuando el diseño está terminado.

Respecto de las preguntas planteadas en el apartado 3 tenemos que:

- Sí pueden utilizarse unidades de obra paramétricas directamente en el modelo de medición de un proyecto, permitiendo que cualquier cambio en el modelo genere una nueva unidad de obra acorde a el estado paramétrico del elemento asociado
- Sí pueden establecerse enlaces entre los parámetros de la unidad de obra BC3 y los elementos del modelo BIM, de modo que los segundos controlen a los primeros.
- Sí puede desarrollarse un software completo de mediciones que se integre en el software de modelado, convirtiendo las 5D en algo tangible y real.
- Gracias a lo anterior, el proceso de realización de las mediciones y presupuesto de un modelo BIM (5D) es una tarea más del modelado, como la integración del tiempo (4D), pero además abre el camino a la gestión de la obra (6D), y hasta del ciclo de vida del edificio desde el propio modelo.

7. Referencias

- ABELLÁN ALEMÁN, J. M. (2017). Utilización del almacenamiento extensible de Autodesk® Revit™ para almacenar y consultar documentación no gráfica en objetos BIM. *EUBIM 2017, Congreso Internacional BIM / 6º encuentro de usuarios BIM* (págs. 142-152). Valencia: Universitat Politècnica de València.
- CHU-CARROLL, M. (2007). Good Math, Bad Math. *Science Blogs*, 1.
- ENRÍQUEZ, P., & ÓSCAR, A. (consulta 28 de Diciembre de 2018). *Utilización del protocolo FTP para la transferencia de información de gestión*. Recuperado el 25 de 2 de 2019, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5303/1/t1644.pdf>
- FIE-BDC. (consulta: 24 de Febrero de 2018). *Formato de Intercambio Estándar de Bases de Datos para la Construcción*. Obtenido de <http://www.fiebdc.es/>
- GOSSMAN, J. (2005). Introduction to Model/View/ViewModel pattern for building WPF apps. *Microsoft Developer Network*, 3.
- HOLGUERA BLANCO, J. (consulta 28 de Diciembre de 2018). *Avalon y XAML (II)*. Recuperado el 25 de 2 de 2019, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2266403>
- JIMÉNEZ ABÓS, P., BOUZAS CAVADA, M., ZARAGOZA ANGULO, J. M., & MOREA NÚÑEZ, M. (consulta 28 de Diciembre de 2018). <https://www.esbim.es>. Obtenido de https://www.esbim.es/?smd_process_download=1&download_id=3185
- LEE, G., SACKS, R., & EASTMAN, C. (2006). Specifying parametric building object behaviour (BOB) for building information modelling system. *Automation in construction*, vol. 15, nº 6, 758-776.
- MICROSOFT CORPORATION. (2018, Diciembre consulta 28). *What is .NET?* Retrieved from <https://www.microsoft.com/net/learn/what-is-dotnet>
- MITCHELL, D. (2012). 5D BIM: Creating Cost Certainty and Better Buildings. *RICS Cobra Conference*. Las Vegas, Nevada USA.
- RIB SPAIN SA. (consulta: 06 de Abril de 2019). <https://www.rib-software.es/>. Obtenido de <https://www.rib-software.es/pdf/Notas-tecnicas/Sincronizacion-de-parametros-de-Revit-con-parametricos.pdf>
- TAMMIK, J. (2018, Diciembre consulta 28). *External Events and 10 Year Forum Anniversary*. Retrieved from The building coder: <http://thebuildingcoder.typepad.com/blog/2015/12/external-event-and-10-year-forum-anniversary.html>
- ZENG, X. (2006). BIM based on Intelligent Parametric Modelling Technology. *Journal of Chongqing University*, vol. 6, 27.

Ayuda a la toma de decisiones a través de modelos digitales de infraestructuras lineales

Lucio-Iglesias, Daniel^a; Rodríguez-Serrano, Marcos^b; Rufo-Blázquez, Sergio^c; Fernández-Pumarejo, Miguel^d

^aBSc + MSc in Civil Engineering. INECO. daniel.lucio@ineco.com, ^bBSc + MSc (Candidate) in Civil Engineering. INECO. marcos.rodriguez@ineco.com, ^cBSc + MSc in Civil Engineering. INECO. sergio.rufo@ineco.com, ^dBSc + MSc in Civil Engineering. INECO. miquel.fernandez@ineco.com

Abstract

Thanks to new technologies such as Mobile Mapping, it is possible to capture a real environment both massively and quickly. This opens the door to developing as-built models with greater ease and lower cost, which allows to be treated as a basis for the development of BIM models focused on the Design, Construction or Maintenance phases, helping to make better decisions that arise from natural way in the development of any project. The first of the examples shows the use of point clouds of railway tunnels in service for the study of gauges, so that decision making about the proposed structural solutions for the tunnels could be optimized. The second example of use in civil works projects presents the massive data collection in cutting slopes in railway lines of metric width in service for stabilization and reinforcement projects, improving the geotechnical quality of the solutions. In both examples, decision making is optimized through the use of digital models, reducing time, cost and improving the quality of projects.

Keywords: MDDM, Engineering, railways, management, capture, reality, tunnels, geotechnics, optimization

Resumen

Gracias a nuevas tecnologías como el Mobile Mapping, es posible capturar un entorno real tanto de forma masiva como rápida. Esto abre la puerta a desarrollar modelos as-built con mayor facilidad y menor coste, lo que permite ser tratados como base para el desarrollo de modelos BIM enfocados a las fases de Diseño, Construcción o Mantenimiento, ayudando a la toma de decisiones que surgen de forma natural en el desarrollo de cualquier proyecto. El primero de los ejemplos muestra el uso de nubes de puntos de túneles ferroviarios en servicio para el estudio de gálibos, de modo que se pudiera optimizar la toma de decisiones relativas a las soluciones estructurales propuestas para los túneles. El segundo ejemplo de uso en proyectos de obra civil presenta la toma de datos de forma masiva en desmontes (trincheras) en líneas ferroviarias de ancho métrico en servicio para proyectos de estabilización y refuerzo, mejorando la calidad geotécnica de las soluciones. En ambos ejemplos se optimiza la toma de decisiones mediante el uso de modelos digitales, reduciendo tiempo, coste y mejorando la calidad de los proyectos.

Palabras clave: MDDM, Ingeniería, ferrocarriles, gestión, captura, realidad, túneles, geotecnia, optimización

Introducción

La interoperabilidad es la capacidad del sistema ferroviario transeuropeo de permitir la circulación segura e ininterrumpida de trenes que cumplen las prestaciones requeridas. La Unión Europea legisla la interoperabilidad con el objetivo de armonizar las redes ferroviarias europeas. Dentro de este conjunto de directrices, se encuentra la norma EN 15273-3 “Aplicaciones ferroviarias. Gálibos”, la cual ha sido la principal base de partida para la elaboración, a nivel nacional, de la “Instrucción ferroviaria de Gálibos” (Orden FOM/1630/2013). Esta instrucción es de aplicación a todos los proyectos de líneas ferroviarias integradas en la Red Ferroviaria de Interés General, y uno de los principales requisitos en la redacción de los proyectos que establece es la verificación del cumplimiento del gálibo de implantación de obstáculos.

El gálibo de implantación de obstáculos es el espacio en torno a la vía, que no debe ser invadido por obstáculos, ni por vehículos que circulen por las vías adyacentes, al objeto de preservar la seguridad en la explotación.

El procedimiento seguido habitualmente para la verificación del cumplimiento del gálibo de implantación de obstáculos de las infraestructuras ferroviarias consiste en el análisis de diferentes secciones transversales a lo largo de un tramo, pero este procedimiento supone una comprobación discretizada. Por tanto, es necesario destacar la ventaja de utilizar modelos digitales continuos que permiten analizar este importante requisito de seguridad sin pérdida de información.

En el contexto de los proyectos de estabilización de taludes de desmonte (trincheras), de naturaleza eminentemente geotécnica, siguiendo las recomendaciones en Ingeniería Geológica (2002), el Manual de Ingeniería de Taludes (2006), en los libros Geotecnia y cimientos I (1996) y Geotecnia y cimientos II (2018), el conocimiento del terreno y, por tanto, la disponibilidad de perfiles transversales fiables es un elemento clave de partida para la simulación del comportamiento geotécnico del terreno.

En este sentido, los modelos digitales basados en nubes de puntos permiten un conocimiento exhaustivo de la topografía de los taludes que hace posible la comprobación de los perfiles obtenidos a partir del curvado (altura y pendiente del talud, presencia de zonas con diferente pendiente, existencia de bermas y anchura de éstas, etc.). Esta verificación se realiza en gabinete, apoyándose en aplicaciones informáticas que proporcionan una visualización tridimensional y dinámica del terreno. En ausencia de estos modelos de nube de puntos, que se comportan como un registro preciso y denso, la comprobación de los modelos del terreno ante hipotéticas dudas requeriría de nuevas salidas a campo para la toma de puntos.

1. Estudio de gálibos ferroviarios a través de nubes de puntos

En el primer caso práctico mostrado en la presente comunicación se describe la aplicación de modelos digitales tridimensionales tanto de túneles existentes como del propio gálibo ferroviario en formato DWG 3D en un estudio dinámico de gálibos. Durante la realización de esta comunicación, se ha implementado en Istram (software de trazado de obra lineal), en colaboración con Ineco, la posibilidad de exportar gálibos en IFC, dando la posibilidad de realizar el estudio a partir de dicho formato abierto, en lugar de DWG 3D.

La naturaleza del presente caso práctico reside en la renovación de un tramo de vía férrea de la red convencional, siendo dicha red aquella que presenta un ancho de vía de 1.668,00 milímetros, que transcurre por un tramo con numerosos túneles de gran antigüedad y de sección libre menor de la que se proyecta en túneles más modernos. Esto implica que el nuevo material rodante, tanto las maquinas tractoras como los coches y vagones modernos, con una sección transversal mayor, puedan entrar en conflicto con los hastiales o bóvedas de los diferentes túneles. En la jerga ferroviaria se denomina coche a aquel material rodante destinado al transporte de viajeros mientras que se denomina vagón a aquel material rodante destinado al transporte de mercancías.

1.1. Características de los túneles analizados

Los túneles se diferenciaban en dos tipos. Estos dos tipos presentan una compleja problemática a la hora de proponer una solución ingenieril apta, no siendo la naturaleza de la presente comunicación. No obstante, se indican someramente los factores limitantes de estos tipos.

- Túneles de dovelas de piedra en sillería: la excavabilidad bajo las dovelas inferiores de los hastiales se estimó limitada a un máximo de 50 centímetros ya que un valor mayor implicaría el descalzamiento del anillo correspondiente.
- Túneles de sección en roca viva: la irregularidad entre diferentes secciones transversales aumenta la dificultad en el proceso de detección de colisiones entre el gálibo cinemático del material rodante y la sección del túnel. Así mismo, la falta de recubrimiento de los hastiales y la bóveda favorecen tanto la acumulación de suciedad producto del tráfico ferroviario como el flujo e infiltración del agua procedente del macizo rocoso fracturado.

Tabla 1: Información de los túneles estudiados. Fuente: Elaboración propia (2018).

nº	Longitud (m)	Alineación
1	55	curva
2	37	recta
3	72	curva
4	212	mixta
5	187	curva
6	229	recta
7	156	curva
8	426	mixta
9	176	mixta
10	86	curva
11	98	recta
12	27	recta
13	86	curva
14	30	curva
15	135	curva
16	135	curva
17	158	curva
18	264	curva
19	41	curva
20	1903	recta
21	127	curva
22	112	recta

El tramo de red convencional estudiado presentó un total de 22 túneles. La mayor longitud de túnel analizada en este caso práctico fue de 1903 metros, correspondiente a un túnel de trazado recto. A este, en cuanto a longitud se refiere, le siguió uno de 426 metros. En lo relativo al resto, la longitud de los mismos fue variada, desde los 27 metros de uno de ellos hasta aquellos con varias centenas de metros. La longitud total de túneles estudiados mediante nube de puntos ascendió a 4.752,0 metros.

En lo relativo a la alineación del trazado a través de los tramos subterráneos, fue también variada entre alineaciones puramente curvas y alineaciones rectas, así como mixtas.

Esta disparidad geométrica entre túneles, así como el elevado número de los mismos, condicionó el procedimiento de estudio a través de modelos digitales constituidos por nubes de puntos, aportando una gran cantidad de ventajas desde el punto de vista de calidad y tiempo.

1.2. Descripción del procedimiento

El proyecto en el cual se implementó el estudio de gálbos mediante modelos tridimensionales presentaba, además de los condicionantes estructurales y técnicos relativos a los túneles previamente mostrados, otros específicos de la gestión de proyectos, como el reducido plazo que determinó el cliente para que el proyecto se encontrase finalizado. Así mismo, no se debió olvidar la variable coste la cual está siempre presente en todo proyecto.

Partiendo de las premisas y condicionantes anteriormente descritos, se planteó una estrategia basada en la adquisición masiva de datos que diese lugar a una nube de puntos por cada túnel, de modo que pudiera ser enfrentada a la geometría del trazado con el gálbo incluido. Para ello, tanto el gálbo como los modelos de puntos de los túneles debieron encontrarse correctamente georreferenciados.

Desarrollada la campaña de toma masiva de datos, para la cual se emplearon sistemas de haz láser, los cuales permiten la adquisición de forma rápida de numerosos elementos de la geometría en estudio correctamente georreferenciados, se obtuvieron nubes de puntos en bruto en formato .e57 (LIB E57, 2019), el cual se trata de un formato no propietario capaz de almacenar información variada del escaneo, tal como los propios puntos, imágenes y los metadatos generados. Así mismo, este formato abierto se encuadra a la perfección dentro del enfoque Open BIM promovido por la BuildingSMART (BUILDING SMART, 2019).

Una vez obtenidos los modelos en bruto de los túneles en estudio, se procedió a la depuración de los mismos, de modo que se pudieron eliminar ciertas agrupaciones de puntos que iban a causar “falsos” errores en el posterior estudio de gálbos. En este caso práctico aquí desarrollado, un aspecto determinante del alcance del proyecto fue la necesidad de realizar una renovación de vía a lo largo de todo el trazado, por lo que el balasto captado por el escáner láser no aportaba información para el estudio de gálbos (se proyectó su demolición). De este modo el balasto, material sobre el que se apoyan las traviesas, se depuró de todos los modelos de los túneles.



Figura 1: Modelo de nube de puntos sin tratar de un túnel del trazado en estudio. Fuente: Elaboración propia (2018).

Debido a la necesidad de coordinación que requiere el mundo ferroviario, se tiende a realizar en una misma ventana de tiempo todas aquellas labores que lo permitan. Esta optimización se traduce en que la nube de puntos resultante, en bruto, presentará un elevado nivel de ruido, o “suciedad” que, de no ser limpiada en labores de gabinete, provocará que los análisis posteriores sean lentos, debido al elevado número de

colisiones generadas así como poco fiables, porque del total de colisiones detectadas, la mayoría corresponderán a colisiones que no aportan información ni clarifican el camino hacia la solución más óptima.

Una tarea paralela a la optimización de la nube de puntos fue la inclusión del gálibo cinemático correspondiente dentro del programa "Istram" una vez encajado el primer modelo de trazado.

En cuanto se llegó a este punto se pudo proceder a la realización del estudio de colisiones para así poder determinar las afecciones producto de las colisiones entre el gálibo dinámico aplicado y la estructura de los túneles actuales. Como resultado se pueden determinar las posibles actuaciones a desarrollar en el programa de trazado, todas ellas enfocadas a evitar o mitigar las colisiones detectadas. Dichas acciones pueden ser el ripado o movimiento transversal de la vía hacia o el rebaje de la misma.

Como se puede apreciar, se trata de un procedimiento iterativo que permite refinar la solución facilitada por el programa de trazado a través de un proceso de toma de decisiones basado en los desplazamientos transversal y vertical en determinados tramos del trazado. Se ha de remarcar que para alcanzar datos de salida coherentes, desde el punto de vista técnico, es preciso que tanto la cartografía empleada en el programa de trazado como las diferentes nubes de puntos se encuentren correctamente georreferenciadas,

1.3. Estudio de colisiones

Para llevar a cabo el estudio de colisiones se empleó la herramienta Navisworks, de la compañía Autodesk. Dicha herramienta permite cargar de forma conjunta tanto las diferentes nubes de puntos de los túneles como el modelo de trazado obtenido del programa Istram, de la empresa Buhodra. Como primer procedimiento de validación de los modelos que se emplean, se comprueba que la coordinación espacial entre ellos es coherente y coincidente en aquellos puntos en los que debe ser así.

Una vez validado este aspecto fundamental de coordinación, se procedió a la realización del estudio de colisiones entre sendas geometrías, aquella que contenía las nubes de puntos de los túneles y la del gálibo de trazado.

Se trata de un proceso iterativo, de modo que el nivel de detalle del trazado, fruto de la resolución de la cartografía empleada, converge en una solución compatible, desde el punto de vista ingenieril, con el alcance planteado al proyecto.

Dicha solución puede ser plenamente exitosa, como puede ser la nula necesidad de realizar algún tipo de actuación en los túneles para asegurar la libre circulación de los convoyes a través de los mismos sin que se vean afectados por problemas de gálibos, mientras que otra solución opuesta puede ser la de optar por ejecutar una ampliación completa de la sección del tubo.

El proceso iterativo, principalmente basado en la determinación a través del modelo 3D de colisiones de los desplazamientos máximos estimados tanto en vertical como en horizontal, llevaron a la optimización de la solución adoptada. En la mayoría de los túneles estudiados se minimizaron las afecciones a los hastiales y bóveda de los túneles mediante el ripado, o desplazamiento transversal de la vía dando lugar a actuaciones puntuales o de entidad mucho menor que la inicialmente planteada.

A continuación, se muestran sendos ejemplos de un par de los túneles analizados en el supuesto. En la figura 2, la geometría del conjunto del trazado, junto con los condicionantes técnicos relativos a la excavabilidad, no permitió el rebaje de la vía por lo que la afección del gálibo dinámico ferroviario sobre los hastiales y bóveda del túnel presentó mayor complejidad que aquella acontecida en los túneles contiguos. Por otro lado, en la figura 3 se muestra un conjunto de afecciones principalmente en las instalaciones ancladas en el hastial, siendo su solución mucho más simple que la primera pues quedarían resueltas tanto con su recolocación dentro de la estructura de sostenimiento como con un rebaje superficial de las dovelas para conseguir un espacio adicional de seguridad.

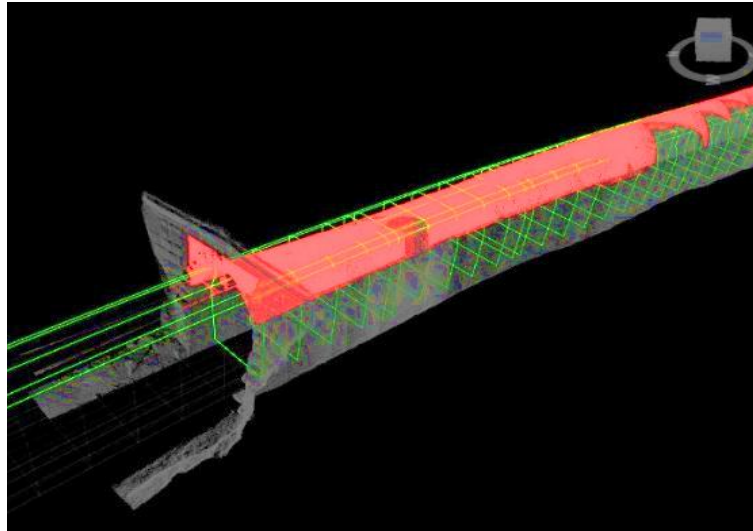


Figura 2: Detalle de la afección en la bóveda de uno de los túneles. Fuente: Elaboración propia (2018).

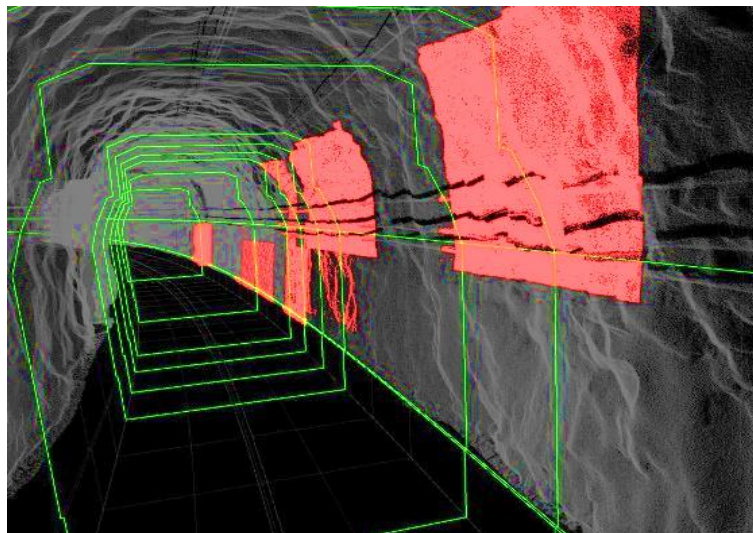


Figura 3: Detalle de la colisión del gálibo con las instalaciones presentes en el túnel. Fuente: Elaboración propia (2018).

2. Estabilización de desmontes a través de nubes de puntos

El segundo caso práctico que se va a mostrar desde aquí en adelante describe la aplicación de modelos digitales 3D, a partir de nubes de puntos, para su utilización en diferentes ámbitos durante el transcurso de la realización de proyectos de estabilización de trincheras (desmontes) de líneas ferroviarias.

Las trincheras son desmontes creados a ambos lados de la línea ferroviaria cuyo objetivo reside en permitir el paso del ferrocarril de modo que la vía posea pendientes suaves. En la actualidad, las trincheras objeto de estudio presentan riesgos de estabilidad para la circulación ferroviaria que, en numerosos casos en nuestro país, han generado descarrilamientos, heridos, e incluso pérdidas de vidas humanas; obligando a cancelar el servicio durante horas o incluso días.

La naturaleza de estos proyectos es puramente geotécnica, dentro del ámbito del mantenimiento de las infraestructuras y enmarcado en el *Plan de Actuación en Cercanías (Núcleo de Asturias)*. Estos proyectos nacen de la necesidad de aportar seguridad y compromiso en el mantenimiento y modernización de las infraestructuras en las líneas de cercanías (muy necesitadas en el entorno), dada la antigüedad en determinados puntos (obsolescencia de la infraestructura).

Cabe destacar que nuestro país posee una gran cantidad y calidad de infraestructuras que deben ser mantenidas y cuidadas. La importancia del mantenimiento de las infraestructuras cada vez será mayor y utilizar la tecnología de escáner laser para capturar la realidad, mediante toma masiva de datos, aporta un alto grado de información para la administración sobre su patrimonio en el ámbito de las infraestructuras.

Estas trincheras, en su mayoría, poseen gran altura, grandes pendientes del talud, escaso espacio en la plataforma y los riesgos existentes para la circulación deben ser subsanados mediante la estabilización de los taludes por medio de elementos de sostenimiento como bulones, mallas de triple torsión, muros de contención, etc., los cuales presentan gran variabilidad de comportamiento geotécnico.

2.1. Descripción del procedimiento

Todas estas variables descritas desde el inicio de este supuesto, crean la necesidad de conocer e interpretar con exactitud el terreno y las infraestructuras en las que se está trabajando, mejorando la calidad de los proyectos y, por consiguiente, de las obras a ejecutar en la estabilización. Cuanta mayor información se obtenga de la realidad, mayor conocimiento se tendrá del terreno y, por tanto, mejores soluciones se podrán aportar al proyecto, reduciendo drásticamente la incertidumbre en ciertos proyectos.

Aparte de realizar visitas técnicas a la zona de estudio (imprescindibles para la calidad de los proyectos), hay cierta información sobre el conocimiento del terreno o la orografía de los taludes que se pierde, bien sea por el transcurso del tiempo, por el escaso tiempo dedicado a las labores de topografía clásica, por el nivel de detalle que precisan algunas zonas de los taludes necesarias para las actuaciones (desconocidas por los topógrafos) o incluso porque existen geotécnicos/técnicos que trabajan en el proyecto que no conocen realmente las peculiaridades del terreno de estudio porque no han realizado la visita a campo.

Por todo esto se decidió utilizar la adquisición masiva de datos mediante nubes de puntos. Mediante esta metodología se dispone en gabinete de un sinfín de datos que pueden ser consultados en cualquier momento, bien sea para consultar zonas del terreno, elementos existentes en los alrededores de la zona de estudio o para realizar cualquier encaje de solución geotécnica que es mucho más difícil coordinar espacialmente mediante metodología tradicional.

Tradicionalmente, hasta la actualidad, se han utilizado taquimétricos (topografía clásica) para la realización de este tipo de proyectos, necesitando una gran cantidad de tiempo de trabajo en campo que muchas veces es inviable para un alto nivel de detalle, teniendo en cuenta los límites económicos o de operaciones por las características de la vía y/o de la disposición de encargados de vía en el momento del estudio. Esto realmente genera una gran incertidumbre sobre sí la cartografía que se ha estado utilizando hasta ahora proporcionaba la calidad esperada.

Mediante el escáner laser este tiempo de dedicación en campo se reduce en gran medida y se disminuyen las visitas técnicas a campo, aunque aumenta el tiempo de procesado en gabinete (un trabajo importante para poder sacar partido a los datos adquiridos).

La campaña de toma de datos se planteó de modo que las zonas bajas y medias se realizaban mediante un láser escáner sobre trípode junto a la vía y para las zonas altas de difícil acceso se utilizaba un dron, obteniendo así un mapa conjunto de datos con toda la zona a estudiar, independientemente de la facilidad de acceso.

2.2. Usos de la nube de puntos en el supuesto práctico

Partiendo de las nubes de puntos y de las curvas de la cartografía generadas a partir de estas, a lo largo del transcurso del proyecto, se han realizado los siguientes usos definidos, utilizando los softwares Navisworks y Revit:

2.2.1. Comprender el entorno y la orografía en 3D:

Uno de los aspectos esenciales a tener en cuenta a la hora de realizar el proyecto es conocer el terreno y el entorno donde se está trabajando. Mediante modelos 3D es posible comprender de mejor manera los taludes que se están analizando, aportando una mejor visión global del proyecto y conocer el entorno en su conjunto. Por ejemplo, es más fácil comprender las pendientes y la orografía del terreno mediante modelos 3D que mediante curvas de nivel.

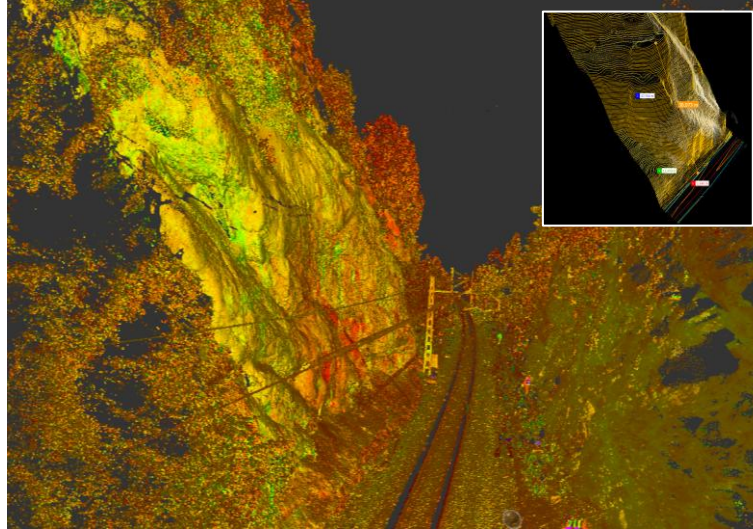


Figura 4: Entorno de una de las trincheras de la trincheras de estudio. Fuente: Elaboración propia (2019).

También, se comprobaban las características geométricas de los taludes de modo que las alturas de las trincheras se pueden medir directamente desde el modelo tridimensional, teniendo una perspectiva más fiable sobre la altura máxima de talud.

Además, se puede observar en la nube de puntos las zonas con actual tratamiento donde se dispusieron en el pasado mallas de triple torsión u otros tratamientos.

2.2.2. Comprobación de la cartografía (curvas de nivel) generada a partir de la nube de puntos:

A partir de la nube de puntos, se generó una cartografía en base a curvas de nivel que serviría como datos de partida para las especialidades que intervendrían en el trascurso del proyecto. Para comprobar que esta cartografía que serviría de base, por ejemplo, para realizar perfiles transversales del terreno era correcta, se coordinó espacialmente con la nube de puntos y se comprobaron discrepancias.

Comprobando este procedimiento, se detectó un gran número de errores que no se pueden dejar pasar en este tipo de proyectos, como por ejemplo:

- Taludes más tendidos que la realidad.
- No se representaban las viviendas, muros y vallados existentes en las proximidades.
- Altura de taludes.
- No se cartografió un paso superior existente junto al talud con los estribos de hormigón inmediatamente junto a la Trinchera.

Después de analizar y comprobar este procedimiento, se pudo modificar la cartografía gracias a disponer de la nube de puntos de la zona de estudio. Algunos de estos problemas hubiesen pasado más inadvertidos en el caso de no haber utilizado un modelo digital tridimensional a partir de nubes de puntos, como por ejemplo la inclinación de los taludes.

2.2.3. Generación de perfiles transversales imposibles por otros métodos:

Relacionado con el anterior punto, en una de las trincheras de estudio excavado en roca presenta desprendimientos de cuñas en las partes inferiores del talud. Esto genera que el perfil tenga un aspecto en “barriga” que propicia desprendimientos continuados en el tiempo. Es un aspecto clave a tener en cuenta, ya que en estas zonas se debe plantear un tipo de tratamiento especial que evite el desprendimiento global de la “barriga”.

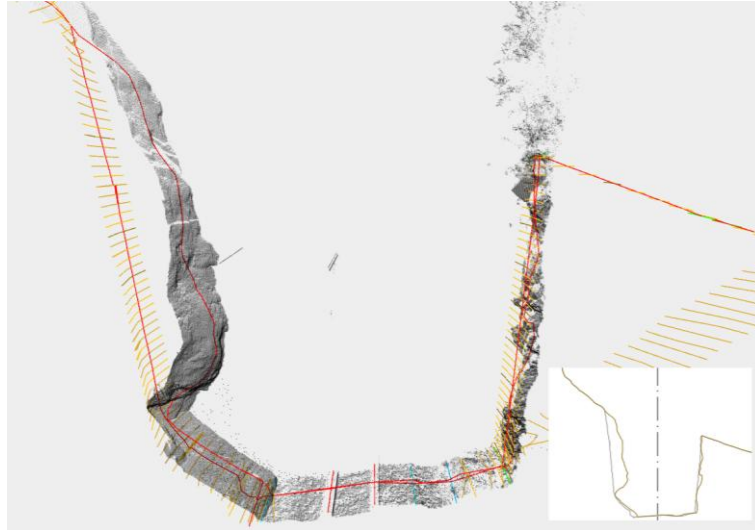


Figura 5: Comparación entre secciones y perfiles iniciales y finales. Fuente: Elaboración propia (2019).

Similar al anterior uso, la cartografía en base a curvas de nivel no es capaz de representar estos huecos generados por los desprendimientos que son claves para el cálculo de la estabilidad. A partir de la nube de puntos, haciendo uso del software Revit, se generaron perfiles transversales cada 5 metros que sí aportaban la información que se precisaba y que no se podían haber obtenido de manera tradicional.

De esta forma, se aportan unos perfiles transversales más realistas que aportan mayor calidad al análisis geotécnico del terreno.

2.2.4. Encaje de estructuras en la nube de puntos:

Una de las actuaciones a realizar para la estabilización de un talud se diseña mediante la ejecución de un muro de hormigón ejecutado in situ. El escaso espacio del que se dispone para la ejecución de esta contención genera que el diseño del muro sea de difícil encaje geométrico.

Mediante el uso del software Revit fue factible el encaje del muro, junto con la nube de puntos, de modo que se podía analizar también la afección y el “descalce” del pie del talud en la zona existente de una manera más visual e intuitiva. Además de analizar la afección al pie de talud, se podían analizar distancias tridimensionales a otros elementos de la plataforma de vía como distancia al eje de vía, distancia a catenaria, etc.

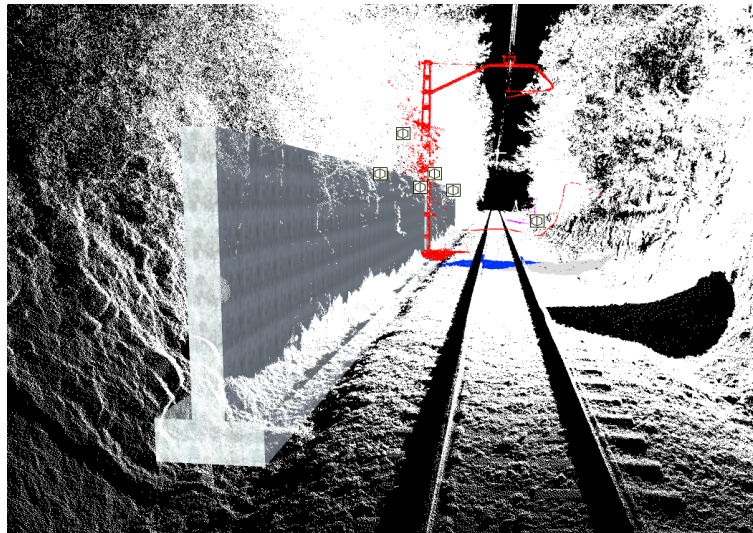


Figura 6: Encaje de un muro de contención en un talud de estudio. Fuente: Elaboración propia (2019).

2.2.5. Servicios o instalaciones afectadas:

Una vez diseñadas las actuaciones a realizar para las labores en obra, se utilizó la nube de puntos para determinar posibles servicios afectados, mediante la inspección y medición en el modelo de diferentes elementos como arquetas, postes de catenaria, líneas aéreas electrificadas, etc.

Esta labor ahorra la necesidad de desplazarse a la zona de estudio para contabilizar unidades afectadas, sus dimensiones y sus ubicaciones, ahorrando tiempo y coste.

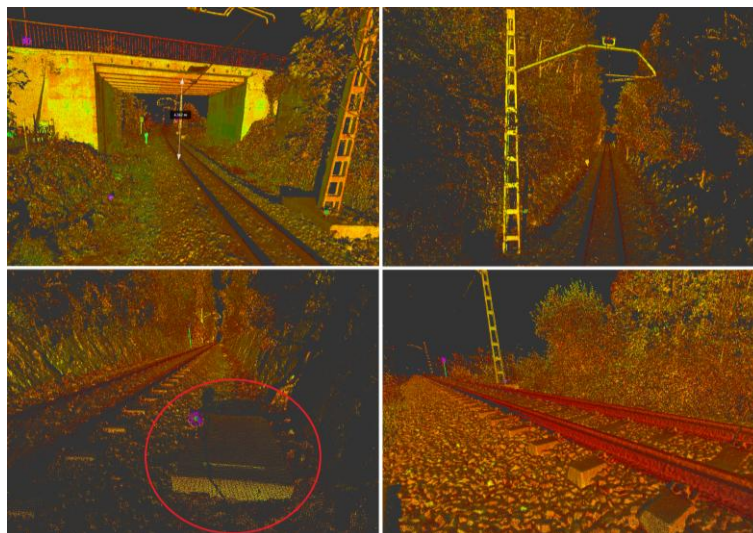


Figura 7: Localización y análisis de posibles servicios afectados y elementos constructivos. Fuente: Elaboración propia (2019).

2.2.6. Espesores de balasto y alturas de cunetas:

Como se pudo comprobar en la coordinación entre la nube de puntos y el taquimétrico complementario realizado para el proyecto mediante estación total, se analizó que el taquimétrico ubicaba mal la cota superior y la cota inferior de balasto, y en consecuencia, el espesor de balasto. Tras analizar este tema, se modificó el taquimétrico a partir de los puntos obtenidos en la toma masiva de datos, ajustando el espesor de balasto a la realidad.

En este proyecto, el espesor de balasto (y su cota inferior) condicionaba el encaje geométrico tanto del encapado y cota de cimentación del muro, como del encaje geométrico de la cuneta. En caso de haber utilizado únicamente el taquimétrico, el diseño de estos elementos constructivos estaría mal realizado.

Imaginemos, después de todo que se pudiera, en el futuro mantenimiento de las infraestructuras ferroviarias, disponer de una pequeña locomotora circulando sobre las líneas férreas con un láser escáner integrado (Mobile Mapping) que circule de manera autónoma (o no) y de forma periódica, escaneando la infraestructura y/o las trincheras de todas las líneas del administrador. De esta forma, la administración podría tener una gran cantidad de información sobre la infraestructura que gestiona, con datos periódicos y variables aportando información a la gestión de activos y aportando un nuevo sistema de gestión de infraestructura. Se podría analizar, desde el punto de vista geotécnico, la variación en las tomas de datos, o lo que es lo mismo, las deformaciones que ha sufrido el talud en un tiempo "t" y las velocidades de las deformaciones de forma automática.

De este modo, se podrían estudiar los cambios que se han producido en el talud durante un largo periodo de tiempo, alertando de posibles cambios en trincheras que a priori parecían estables, o mostrando realmente la curva de deformación que ha tenido una trinchera de alto riesgo; en lugar de realizar cálculos que finalmente se basan en cálculos empíricos extrapolados a un futuro.

De esta manera la administración tendría un total control sobre la seguridad en la circulación y sobre el riesgo real que produce el estado evolutivo de una trinchera. Se podrían realizar decisiones basadas en un gran número de datos objetivos que aportan fiabilidad y seguridad.

3. Conclusiones

Desde el punto de vista del mantenimiento de las infraestructuras, disponer de tal cantidad de datos proporcionada por las nubes de puntos aporta información muy relevante sobre el estado de las infraestructuras y su obsolescencia, sobre todo si pensamos en la oportunidad de disponer de datos separados en el tiempo para poder observar los cambios ocurridos y su evolución.

Con el uso de esta metodología, es posible reducir y automatizar el tiempo de toma de datos en campo, reducir el número de visitas a la zona de estudio, reducir coste y aumentar la calidad de los proyectos, reduciendo errores e incertidumbre en los datos de partida de los proyectos. Se evita una gran pérdida de información sobre el conocimiento del entorno de estudio, disponiendo de estos datos durante todo el trascurso del proyecto.

Además, se han utilizado las nubes de puntos para comprender de mejor modo el entorno y la orografía del terreno, comprobar la cartografía y realizar cambios en ella, realizar perfiles transversales realistas, encajar estructuras con mayor definición, localizar y medir posibles servicios afectados por la obra y estudiar el gálibo para el acceso de maquinaria de obra bajo un paso superior.

La adopción de nuevas técnicas y tecnologías para el desarrollo de procesos de análisis detallados, han permitido desarrollar procesos de toma de decisiones optimizando tiempo y recursos, ya que los estudios de gálidos realizados de forma tradicional se basaban en datos parciales de los túneles, tales como secciones cada 20 metros, requerían análisis más costosos tanto en plazo como en coste. Por el contrario, el uso combinado de nubes de puntos de los túneles con el modelo de trazado con el gálibo incluido, favoreció la reducción de dos aspectos fundamentales en cualquier proyecto, el plazo y el coste, ya que permitió realizar un análisis mucho más detallado de la interacción entre el gálibo y las geometrías de los túneles en un menor plazo de tiempo. En la figura 8 se puede apreciar el resultado del desarrollo de un modelo IFC de gálibo llevado a cabo por la compañía Buhodra, encontrándose actualmente esta nueva utilidad disponible para todos los usuarios del software.

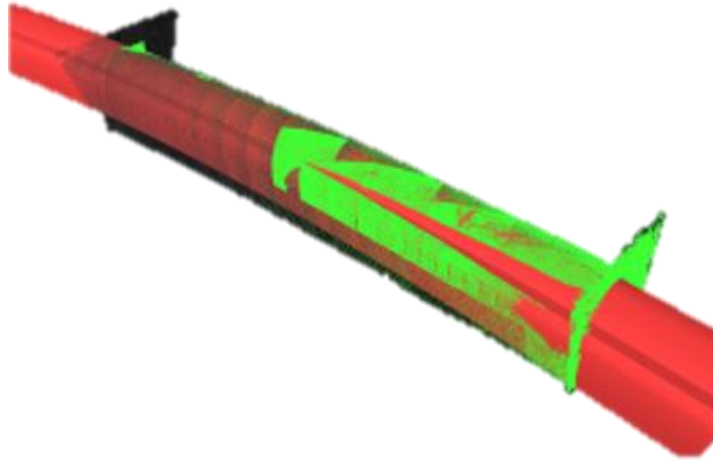


Figura 8: IFC Resultado de desarrollo de software. Fuente: Elaboración propia (2019).

4. Referencias

JIMENEZ SALAS, J.A. y DE JUSTO ALPAÑES, J.L. (1996). *Geotecnia y cimientos I. Propiedades de los suelos y las rocas*.

JIMENEZ SALAS, J.A. y DE JUSTO ALPAÑES, J.L. (2018). *Geotecnia y cimientos II. Mecánica del suelo y de las rocas*.

AYALA CARCEDO, F.J. y ANDREU POSSE, F.J. (2006). *Manual de ingeniería de taludes*.

GONZÁLEZ DE VALLEJO, L.I. (2002). *Ingeniería Geológica*.

LIB E57 (.e57 FORMAT). <<http://www.libe57.org/>> [Consulta: 15 de febrero de 2019]

BUILDING SMART. <<https://www.buildingsmart.es/>> [Consulta: 15 de febrero de 2019]

AENOR (2013). *Aplicaciones ferroviarias. Gálibos*. UNE-EN 15273-3.

BOE (2015). *Instrucción ferroviaria de gálibos*. ORDEN FOM/1630/2015.

La aplicación de BIM en el edificio inmobiliario más alto de Zaragoza

Mayorga-Romero, Manuel^a

^aIngeniero técnico. BIM Manager. Ingennus Urban Consulting. mmayorga@ingennus.com

Abstract

The development of Torre Zaragoza, the highest residential building in the city could not have succeeded without the design capacity and calculating possibilities that BIM offers.

The topographic studies with Dynamo have raised different systems and phases of excavation. The wind impact studies and simulations for each level have allowed us to make design decisions in every stage of the project, from the beginning to the facade studies, so we have identified the type of glass needed for each window, regarding their orientation and height. The above-mentioned activities show how we have got the most out of BIM methodology.

Keywords: *BIM, real case, implementation, construction, certificate, IoT, topography.*

Resumen

El desarrollo de Torre Zaragoza, el edificio inmobiliario más alto de la ciudad no hubiese sido el mismo sin la capacidad de diseño y las posibilidades de cálculo que ofrece BIM.

Tanto los estudios topográficos con Dynamo, mediante los cuales se plantearon diferentes sistemas y fases de excavación, hasta los estudios y simulaciones de impacto del viento en cada uno de los niveles, que nos han permitido tomar decisiones de diseño desde el inicio del proyecto, pasando por los estudios de fachadas, gracias a los cuales se ha podido identificar el tipo de vidrio de manera individual para cada una de las ventanas, en función de su orientación y altura, muestran cómo hemos exprimido, sobre este proyecto, todo el jugo que hemos sido capaces de extraer de la metodología BIM.

Palabras clave: *BIM, Caso real, implementación, construcción, certificado, IoT, topografía*

Introducción

La complejidad principal del proyecto radica en la gestión de sus 30 plantas alzadas y sus 5 sótanos debido a la variedad de tipologías existentes. En cuanto al modelado el proyecto se plantea como un reto organizativo de subproyectos y modelos vinculados coordinados entre sí, realizado con éxito gracias a la profesionalidad de los agentes implicados.

Gracias a las diferentes automatizaciones aplicadas se ha conseguido calcular los vidrios de las ventanas pertenecientes a las diferentes fachadas para cada una de las orientaciones existentes, además de trabajar en rangos de alturas predefinidos. Todos los datos se han calculado desde la base de datos que es el propio modelo BIM, el cual ha permitido realizar un cálculo exhaustivo de la tipología de vidrios necesarios en obra.

Se han realizado estudios de viento y el impacto que ejercía este sobre las plantas alzadas del edificio, resultando esto en apoyo fundamental para decisiones de diseño del proyecto, se ha programado el proceso de excavación, el cual ha sido un reto debido a la profundidad de sus 5 sótanos y al encaje en la parcela, se han generado cálculos de porcentaje de hueco en fachada según la orientación de las habitaciones para los 30 niveles de las plantas alzadas y se han aplicado desarrollos para la redimensión automática de los pilares del proyecto.

1. Características del edificio

El edificio consta de 30 plantas, planta baja y 5 sótanos repartidos en 62.017m² con un LOD 300/350 según disciplinas y categorías. Para la realización del proyecto han colaborado un equipo de 9 arquitectos y modeladores, tres directores de proyecto a los que también hay que sumar colaboradores externos como calculistas de estructuras, instalaciones, acústica y demás profesionales que han apoyado en los diferentes apartados para definir 285 viviendas, locales, garajes y trasteros.

2. Actuaciones sobre el diseño del modelo

A continuación, se describirán las diferentes actuaciones aplicadas sobre el modelo, estas actuaciones han sido realizadas mediante software BIM y están orientadas a la toma de decisiones en fase de diseño del proyecto.

2.1. Excavaciones

Para ello se ha realizado un estudio con masas conceptuales el cual ha permitido prever las fases de la excavación y su situación (Dynamo Primer, 2018).

La complejidad a la hora de estudiar la excavación a realizar en este tipo de edificios está en analizar las posibilidades existentes en cuanto a taludes, disposición del terreno, entrada de vehículos, acopios, etc. En este caso se ha utilizado un desarrollo de Dynamo para crear los volúmenes de extracción de tierras teniendo en cuenta la topografía existente. De esta forma podemos tener en cuenta el volumen exacto de la excavación teniendo como techo las masas la propia topografía.

La altura de los cinco sótanos ha obligado a calcular los taludes en dos fases diferenciadas, por un lado, un primer talud para muros a dos caras con una separación de un metro desde la base del muro hasta la altura correspondiente del sótano tres, añadiéndole una segunda separación para compactar y separar el segundo talud desde el sótano tres hasta la cota del terreno original. Principalmente se ha pretendido organizar la excavación sin que sea necesario salir de la propia parcela. En la imagen se diferencian por colores los diferentes volúmenes de excavación calculados los cuales siguen el perímetro del edificio y no sobresalen de la parcela como se ve en el detalle en planta adjunto (Figura 1).

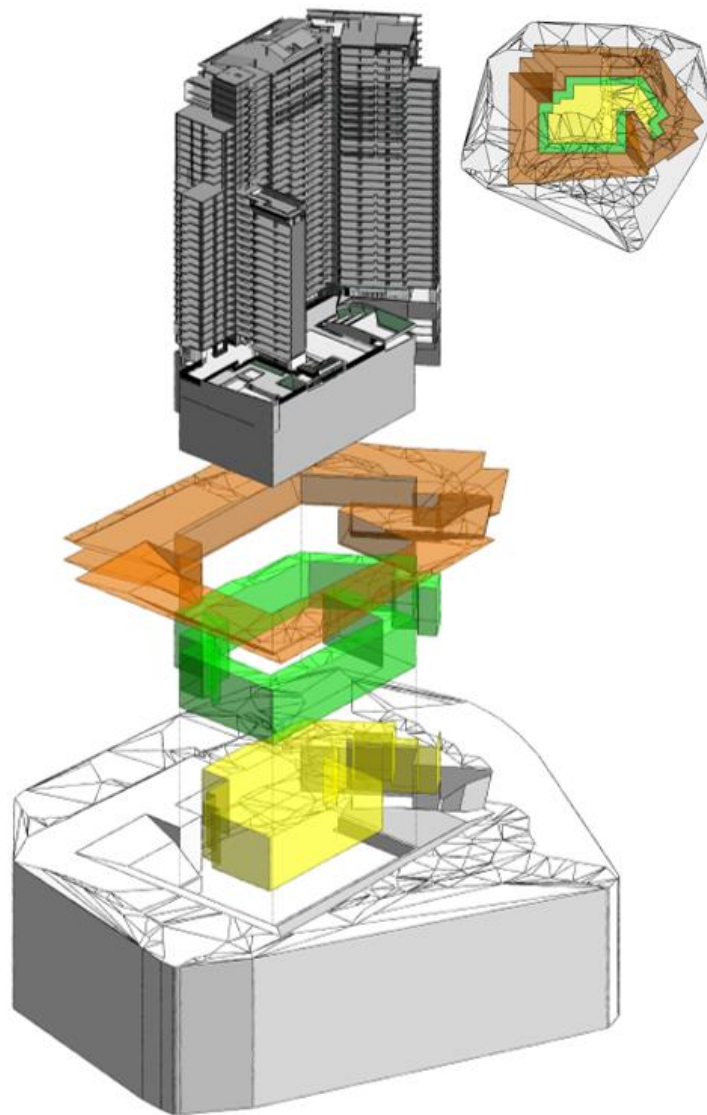


Fig. 1 Montaje topografía. Fuente: Creación propia, Revit (2018)

2.2. Pilares Estructurales

La intención principal es la de obtener las superficies reales para cada vivienda y habitación, debido a que al salvar tanta altura existe mucha diferencia de tamaño entre los pilares de planta baja y los de la planta treinta o veintinueve. Siendo esto vital para la toma de decisiones de distribución ya que además es bastante variable en el proyecto debido a las disposiciones de fachada.

Se ha asignado la verdadera magnitud a todos los pilares, según datos generados por el calculista mediante automatizaciones. De manera general este proceso de redimensionado es bastante tedioso debido a que se recibe la información obtenida por el calculista en formato .dwg. En este caso se ha pedido la importación del cuadro de pilares a formato .doc, desde el cual se han extraído los datos relativos a número de pilar y a sus dimensiones b y h a formato xls.

Gracias a que se ha proporcionado al calculista la numeración de los pilares definidos para cada columna de cálculo, se ha podido generar la numeración independiente para cada pilar teniendo en cuenta la referencia de nivel al que pertenece cada uno de ellos. De esta manera resultan numerados los pilares con valores de 1000 a los pilares de planta primera, valores de 2000 a pilares de planta segunda. etc.

Los valores exportados desde Cype tienen el siguiente formato (Tabla1).

Tabla 1. Exportación de datos Cype. Fuente: Creación propia, Excel (2018)

Armado de pilares		
Hormigón: HA-25, Yc=1.5		
Pilar	Geometría	
	Planta	Dimensiones (cm)
1	T. BAJA	40x50
1	T. SOT. -1	-
1	T. SEPTIMA	35x30
1	T. SEXTA	35x30
1	T. QUINTA	35x30
1	T. CUARTA	35x30
1	T. TERCERA	35x35
1	T. SEGUNDA	40x40
1	T. PRIMERA	50x45
1	T. BAJA	-
2	T. SEPTIMA	30x30
2	T. SEXTA	35x30
2	T. QUINTA	40x30
2	T. CUARTA	40x35
2	T. TERCERA	40x35
2	T. SEGUNDA	45x35
2	T. PRIMERA	50x40
2	T. BAJA	60x45
2	T. SOT. -1	-
3-4	T. SEPTIMA	Diámetro 45

Los datos extraídos del documento ha de ser transformados a un formato más adaptado a Dynamo, para ello se ha generado un proceso de adaptación en Excel basado en macros. Una vez limpiados y transformados en hojas de cálculo se muestran en la tabla 2. En dicha tabla se puede observar la numeración de los pilares en función de la planta.

Tabla 2. Datos transformados para su uso. Fuente: Creación propia, Excel (2018)

Armado de pilares		
01	0,4	0,5
-	-	-
7001	0,35	0,3
6001	0,35	0,3
5001	0,35	0,3
4001	0,35	0,3
3001	0,35	0,35
2001	0,4	0,4
1001	0,5	0,45
-	-	-
7002	0,3	0,3
6002	0,35	0,3
5002	0,4	0,3
4002	0,4	0,35
3002	0,4	0,35
2002	0,45	0,35
1002	0,5	0,4
02	0,6	0,45
-	-	-
7003	-	0,45

Una vez generada la tabla se ha aplicado el desarrollo de Dynamo que asocia estos valores de pilares con los del proyecto y escribe los valores de b y h en sus parámetros correspondientes teniendo en cuenta el eje de colocación como se muestra en la figura 2.

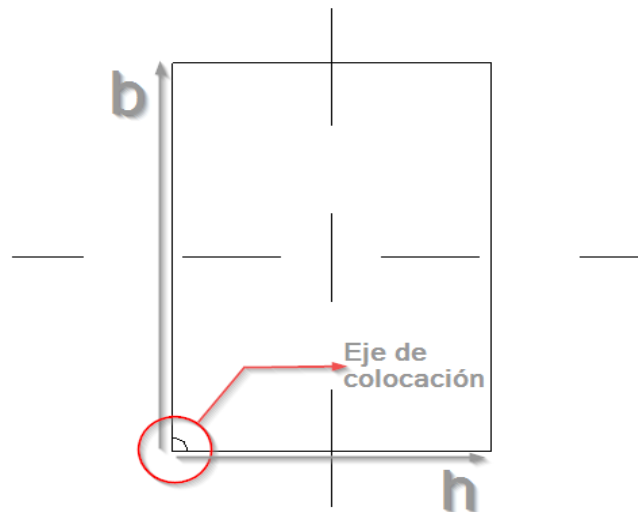


Fig. 2 Detalle pilar en planta. Fuente: Creación propia, Revit (2018)

2.3. Estudio acústico

Para realizar el estudio acústico del edificio se ha tenido en cuenta la información del porcentaje de hueco en fachada de cada habitación y para cada orientación. Para definir el porcentaje de hueco en fachada se ha creado una relación entre la ventana y la propia habitación para que la información del hueco y su área se refleje en la propia habitación. Se ha generado una clasificación de las áreas de los huecos en cada una de ellas para cada una de las posibles orientaciones de fachada existentes con la finalidad de discretizar estos huecos y obtener el porcentaje de huecos en fachada para cada orientación.

Realizando el computo de los datos, finalmente obtenemos la información para determinar los vidrios de las ventanas. Para ello se han tenido en cuenta además de lo mencionado anteriormente, los niveles a los que pertenecen, el tipo de ventana asignada y diferentes criterios de situación dependiendo de la calle a la que da la fachada, la situación de la piscina comunitaria, etc.

Todos estos datos se han calculado mediante desarrollos de Dynamo lo cuales han permitido calcular este proceso sobre las habitaciones correspondientes a las 285 viviendas. Se ha de tener en cuenta que la cantidad de datos y la geometría asociada para su resolución sería una cuestión casi irresoluble de manera manual, para lo cual se debería hacer reducciones de calculo sin que esto permitiese hacer prescripciones de vidrio de manera individual para cada las más de 1800 ventanas del proyecto.

En la figura 3 se muestran los resultados en función de las ventanas y su orientación, se han acompañado los datos de un ejemplo de tipologías de vidrios por alturas para la fachada noreste, de color verde en la imagen.

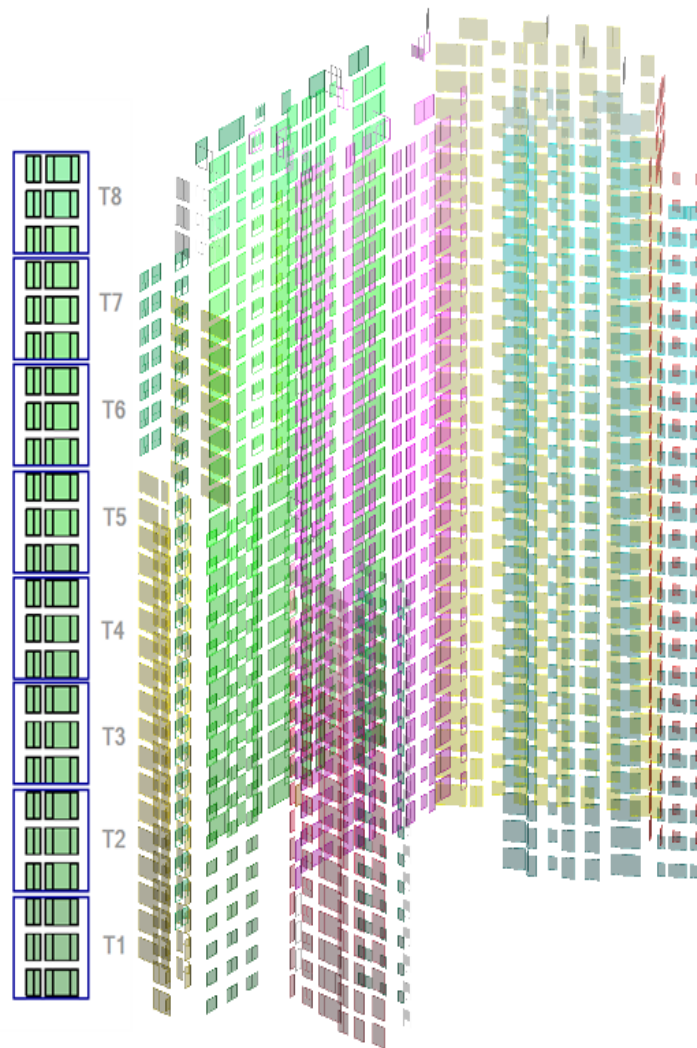


Fig. 3 Vista de vidrios y ventanas del proyecto. Fuente: Creación propia, Revit (2018)

2.4. Estudio impacto del viento

Se ha realizado un estudio del impacto del viento sobre el modelo, mediante Autodesk Flow Design (Figura 4). Para el estudio se han virtualizado las condiciones atmosféricas más adversas de las que se tiene constancia (157km/h), ya que Zaragoza posee un clima un tanto especial en cuanto al viento, estadísticamente el viento sopla en la capital de Aragón 353 días al año.

Conocido como Cierzo este viento del noroeste está presente de manera continuada por lo que se ha de considerar un efecto importante sobre el edificio. En términos de diseño se preveía la creación de un saliente a modo de vela el cual gracias a este estudio se ha podido confirmar su viabilidad, llegando a producir un momento flector equiparable al peso de dos personas apoyadas en el extremo opuesto del saliente, a lo largo de toda su longitud (Breval, 2019).

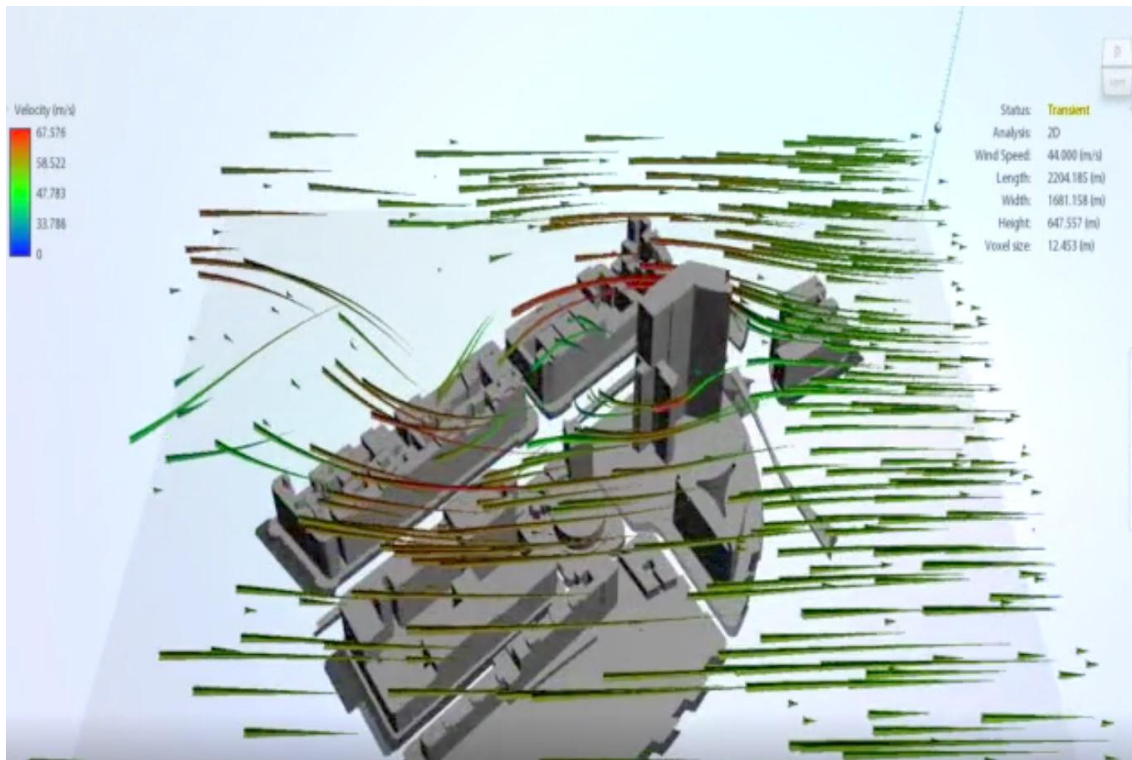


Fig. 4 Estudio de viento. Fuente: Creación propia, Flow Design (2018)

3. Conclusiones

La aplicación de herramientas BIM como Autodesk Dynamo y Autodesk Flow Design han permitido un desarrollo de proyecto mucho más práctico y eficiente comparado con la metodología tradicional. La capacidad de simular acontecimientos futuros como en el caso de la excavación y el cálculo de viento en el modelo han permitido tomar una serie de decisiones en fase de diseño imposibles de tomar de manera general y con la misma exactitud. Todo esto refuerza la necesidad de ampliar los tiempos de diseño comparándolos con los tiempos de ejecución, que es uno de los pilares más característicos de la metodología BIM. Por lo tanto, la conclusión que obtenemos es que el uso de esta metodología enriquece mucho la definición del proyecto ya que nos permite obtener información previa a su ejecución y mediante herramientas relativamente sencillas.

4. Referencias

BREVAL, J (2019). *Sobre España*. <<https://sobreespana.com/2016/09/20/el-clima-en-zaragoza/>> [Consulta: 01 de enero de 2019]

DYNAMO PRIMER (2018). *The Dynamo Primer*. <<https://www.dynamoprimer.com/>> [Consulta: 10 de julio de 2018]

La importancia de la interoperabilidad con herramientas BIM

Real, María Lucrecia^a

^aArquitecta. Universidad Nacional de Buenos Aires. Argentina. lucreciareal@gmail.com

Abstract

Technologically speaking, the world is changing, and so is the AEC world with the huge amount of trustworthy information created and used by BIM technology.

Applications and solutions are needed not only to connect those involved in projects with 3D models, but to connect applications and systems too, allowing information to be transferred from one to another.

Historically, professions have traditionally operated isolated. Even today, information produced by BIM is focused on a particular profession. While data and models are generated, the need to share the information between teams working together in a project increases.

The ability to produce new ideas from the collaboration between professionals to improve design, construction and even operations is our present date reality.

Interoperability is the best way to go forward. Multi-disciplinary teams need to understand processes and tools to work together, freely sharing design and construction data. Taking advantage of those connections will ensure that the best design is achieved.

Keywords: *Infrastructure, Coordination, Multi-disciplinary Models, Interoperability*

Resumen

El mundo de hoy está cambiando a nivel tecnológico y también el mundo de AEC con la gran cantidad de información confiable creada y utilizada dentro de la tecnología BIM.

Se necesita tener aplicaciones y soluciones que no solo conecten a los involucrados de un proyecto con modelo 3D, sino también a aplicaciones y sistemas que se conectan entre sí con la capacidad de transmitir información completa de un lado a otro.

Históricamente, las profesiones han operado tradicionalmente de una manera muy aislada. Incluso hoy en día, mucha de la información creada a través de BIM se enfoca en una profesión particular. A medida que se desarrollan los modelos y datos se ve la necesidad de transferir esta información entre grupos que trabajan en un mismo proyecto.

La capacidad de generar ideas de colaboración entre profesionales para informar un mejor diseño, construcción e incluso operaciones es la nueva realidad de hoy.

La interoperabilidad es la mejor manera de avanzar, los equipos multidisciplinarios necesitan entender los procesos y herramientas para trabajar juntos e intercambiando libremente datos de diseño y construcción. Aprovechar y dominar estas interconexiones ayudará a garantizar que no solo funcione un diseño, sino que sea el mejor diseño.

Palabras clave: *Infraestructura, Coordinación, Modelos multidisciplinarios, Interoperabilidad*

Introducción

Building Information Modeling (BIM) es un instrumento para compartir información estructurada. El transvase de esa información es lo que llamamos interoperabilidad, que no es otra cosa que la capacidad de sistemas, entidades o personas de organizarse para trabajar conjuntamente. Por ello, la nueva metodología de trabajo BIM no se entiende sin colaboración e interoperabilidad y para que esto pueda desarrollarse de una manera eficaz y eficiente se necesitan una serie de requisitos. Uno de ellos son los formatos específicos de datos.

La tecnología es una de las bases del éxito de BIM y por tanto los formatos específicos de datos son fundamentales para que se pueda compartir la información entre los diferentes agentes involucrados. Un trabajo en BIM requiere de la utilización de diferentes Softwares, muchos de ellos aún están desarrollándose actualmente, y es necesario encontrar la mejor manera de relacionar los archivos que generen conservando todas las propiedades de los objetos del modelo.

Por tanto, una vez expuesta la importancia de la coordinación de la información en este nuevo entorno de trabajo, nos centraremos en analizar Softwares¹ como Infraworks, Civil 3D, Revit, para abordar nuestro principal objetivo: el estudio acerca de las posibilidades que nos ofrecen estas herramientas, para poder compartir la información entre ellos y ser capaces de importar y exportar archivos de uno a otro, permitiendo estandarizar el flujo de trabajo y facilitar la automatización de tareas, lo que sin duda supone una ventaja para todos a la hora de gestionar toda la información de un proyecto.

El formato de archivo *Industry Foundation Classes* (IFC) ofrece una solución de interoperabilidad entre distintas aplicaciones de software, pudiendo exportar e importar modelos entre aplicaciones con certificación IFC.

Este formato no está bajo el control de ningún fabricante de software, ha sido desarrollado por la IAI (*International Alliance for Interoperability*), con el fin de convertirse en un estándar que facilite la comunicación entre programas del área de la construcción, como puede ser Tekla, Cype, Archicad, Revit, Vectorworks, etc.

Este trabajo no se focaliza en la interoperabilidad de este formato, dado que existe abundante bibliografía sobre el tema, por ejemplo “*Revit IFC manual – Detailed instruction for handling IFC files*”,

1. Interoperabilidad

Adoptar la metodología BIM en la propia actividad profesional significa orientarse hacia procesos colaborativos basados en herramientas informativas capaces de realizar modelos virtuales de obra (VDC, Virtual Design Construction).

¿Qué entendemos por interoperabilidad? Es la capacidad de intercambiar datos entre aplicaciones (entre softwares BIM), permitiendo estandarizar el flujo de trabajo y facilitando la automatización de tareas.

No se trata de un concepto nuevo: desde siempre la exigencia de intercambio de información entre aplicaciones destinadas a finalidades específicas, pero pertenecientes a la misma línea de producción, ha representado una exigencia. Por ejemplo, antiguamente con la aceptación del formato de archivo DXF para la transferencia de datos gráficos en formato vectorial entre programas de distintos desarrolladores de software. dicha exigencia tiene una importancia crítica en el caso de la metodología BIM, donde la integración entre diferentes fuentes de información es la esencia misma de la metodología.

La realidad nos demuestra que si no tenemos un buen flujo de trabajo, mucha de la información que tenemos en un modelo al pasarla a otro software se pierde o no es bien interpretada.

Es por eso que necesitamos conocer la mejor forma de comunicación entre ellos y de esta manera generar un manual de procedimientos de traspaso de información entre las diferentes especialidades que están

¹ En este documento se hace referencia a todos los softwares en versión 2019.

involucradas en nuestros proyectos, para que se mantengan los datos generados que necesitan ser compartidos, sin necesidad de volverlos a introducir.

Estas definiciones deben estar contempladas en el Plan de Ejecución BIM (PEB), o más conocido como *BIM Execution Plan* (BEP). donde se indicarán los formatos nativos de cada software a utilizar y en que formato se traspasarán.

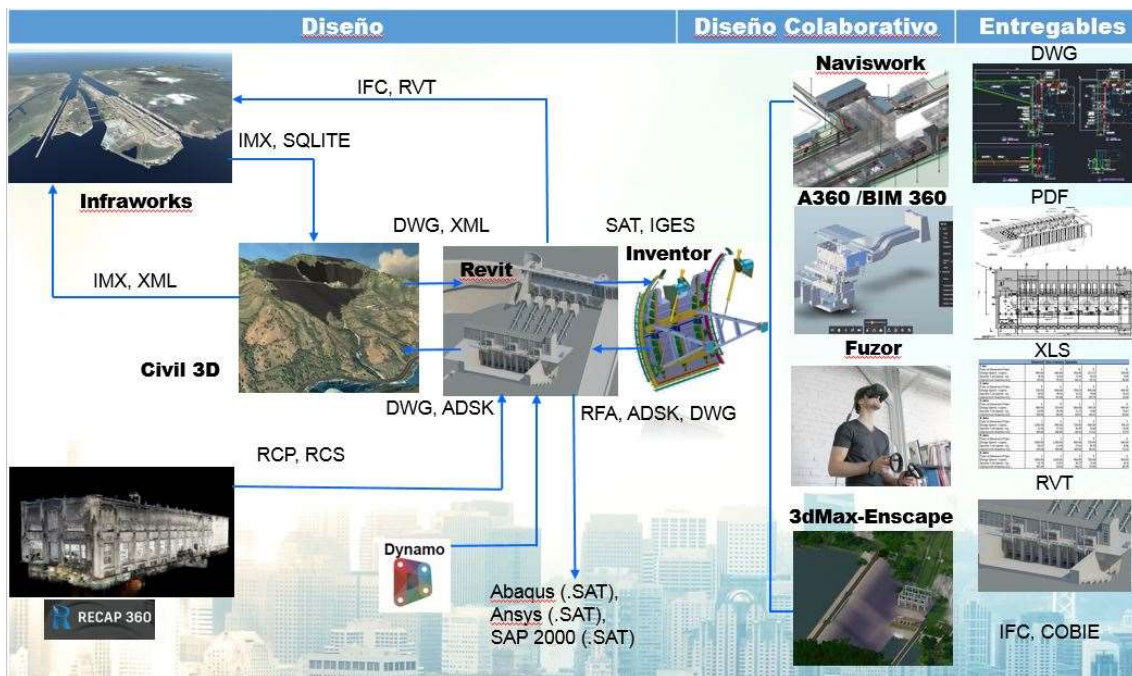


Fig. 1 Interoperabilidad en diferentes etapas del proyecto

1.1. Etapa de Diseño Conceptual - Infracworks

En esta etapa de diseño trabajaremos con Infracworks, que es una herramienta que está enfocada a generar anteproyectos o propuestas de proyectos integrando diferente información, creando un modelo semejante al entorno real y habilitándolo para trabajar sobre éste de una manera dinámica.

Los modelos del entorno real se pueden crear por medio del Generador de modelos o manualmente.

1.1.1. Generador de modelos

Esta herramienta busca capas de datos de alta resolución y construye el modelo del área geográfica de interés en la nube. El modelo se genera a partir del terreno, y sobre él se incorporan las capas que lo cubren (caminos, edificios, etc.). Las zonas húmedas se representan con cubiertas que se superponen al terreno, como también lo hacen las imágenes aéreas, carreteras, datos de construcción, árboles, etc.

1.1.2. Generador manual de modelos

Al generar un modelo manualmente es necesario comprender y utilizar bien el sistema de coordenadas, ya que afectará a los datos del modelo que se almacenan en el archivo .sqlite, y afectará la manera en que se exportan éstos a otras aplicaciones y a los que se importan desde otros modelos.

Para comenzar necesitamos obtener la base cartográfica, datos lidar de superficie, ortofotos y toda la información disponible para situar nuestro proyecto, pudiendo leer archivos de los siguientes formatos:

- Modelos 3D: .3ds, .dae, .dwg, .dxf, .fbx, .obj, .dgn
- Civil 3D: .dwb, .imx
- Revit: .rvt, .rfa
- CityGML: .gml, .xml
- IFC: .ifc
- Land: .xml, landxml
- Point: .rcs
- Raster: .adf, .asc, .ddf, .dem, .grd, .hgt, .ecw, .img, .jpg, .png, .tif, .wms, .vrt, .gz
- SDF: .sdf
- SHP: .shp
- Sqlite: .swlite, .db
- Sketchup: .skp

1.1.3. AutoCAD Civil 3D

AutoCAD Civil 3D es una herramienta de diseño y cálculo que se puede utilizar en el desarrollo de carreteras, movimientos de suelo, replanteo y muy útil para iniciar la implementación de un proyecto. La representación geométrica de un área de terreno se puede realizar a través del levantamiento de datos lidar, nube de puntos, curvas de nivel, fotos aéreas, datos Gis, etc. La principal característica es que todos los componentes del diseño están relacionados entre sí, y al ser modificados se recalcula toda la información.

Todos los elementos se pueden compartir con otras disciplinas a través de la exportación de modelos y de la generación de la documentación ejecutiva en distintos formatos, (PDF – DWG).

Una de las metodologías más comunes para comenzar a generar las superficies es a través de las curvas de nivel que nos envía el topógrafo o a través de archivos de puntos CSV en diferentes formatos, como por ejemplo ENZ delimitado por comas, (East North, Elevation).

Actualmente tenemos una manera muy sencilla de obtener la superficie topográfica de una región a través del uso de Autodesk Infracworks 360.

1.1.4. Intercambio Autodesk Infracworks – AutoCAD Civil 3D

Tenemos dos alternativas de importación del modelo de AutoCAD Civil 3D en Infracworks 360:

- Importando un archivo .IMX de la superficie obtenida en Infracworks
- Importando el modelo conceptual de Infracworks

Para abrir un modelo local de Infracworks 360 en Civil 3D es necesario tener instalados los dos softwares en la misma computadora y no tener abierto el modelo en Infracworks.

Debemos tener en cuenta que el sistema de coordenadas sea compatible con civil 3D, ya que por omisión Infracworks usa el sistema de coordenadas LL84, que no es compatible con Civil 3D y tener en cuenta las unidades utilizadas en los dos archivos.

Otra consideración de importancia es qué tipos de objetos se pueden exportar a Civil 3D desde Infracworks y a que objetos se convierten.

Tabla 1 Interpretación de objetos de Infracworks a Civil 3D

Objetos de Infracworks	Objetos en Civil 3D	Comentarios
Superficie de terreno.	Superficies TIN.	Se incorporan como Existing Ground, Existing Transportation, Proposed Ground.
Utilidades de Planificación – Son conductos con conectores genéricos.	Redes de Tuberías.	Las propiedades de utilidad de la red en Civil 3D, quedan sin definir.
Carreteras de planificación.	Alineaciones.	Son las que reflejan las condiciones existentes del proyecto o generadas a través del comando carreteras.
Carreteras de diseño.	Alineaciones, perfiles longitudinales de la rasante definidos y perfiles longitudinales de la rasante existente.	Son creadas con el módulo Roadway Design..
Intersecciones.	Intersecciones con alineaciones de empalme de intersección.	
Redes de drenajes.	Redes de tuberías.	Se establece el tipo de utilidad como red de drenaje, las bocas de inspección se asignan a la propiedad de cobertura, y las embocaduras a rejillas. Las tuberías usarán la forma, material y tamaño más aproximado del catálogo de tuberías.
Coberturas.	Polilíneas 3D	Sólo se incluyen las que modifican el terreno.
Zonas húmedas.	Polilíneas 3D.	
Puentes.	Sólidos 3D.	

En la siguiente tabla veremos la exportación de Civil 3D a Infracworks:

Objetos de Civil 3D	Objetos de Infracworks	Comentarios
Superficies TIN.	Superficies de terreno.	Cada superficie figurará en el panel de datos, y se pueden ajustar el orden de las capas sobre el terreno.
Alineaciones y perfiles	Carreteras de diseño (geometría horizontal y vertical)	Las alineaciones son las únicas que se pueden incorporar como carreteras de diseño, y se utiliza el primer perfil longitudinal de la rasante que se creó.
Obras lineales y superficies de obras lineales.	Coberturas y superficies de terreno.	
Redes de tuberías.	Conductos con embocaduras u bocas de inspección o conectores de conductos.	Si los ID de familia de piezas y de tamaño coinciden con el catálogo de piezas de Infracworks, se utilizará esa misma.

1.2. Inventor – Infracworks 360 / AutoCAD Civil 3D

Cuando queremos importar objetos de Inventor dentro de Infracworks, debemos contar con el archivo .ipt que contiene los ensamblajes, un archivo .xml y con 2 archivos .jpg que Inventor crea al exportar. El editor de partes requiere los 4 archivos.

El flujo de trabajo es:

- Importar las partes personalizadas (.ipt) en el editor de partes
- Asignar los tamaños de piezas
- Confirmar los tamaños y dimensiones de las piezas
- Crear el ensamblaje y confirmar los tamaños
- Publicar las partes en Infracworks y en Civil 3D

1.2.1. Infracworks

A continuación mencionaremos los pasos necesarios para insertar objetos de Inventor dentro de Infracworks:

- Seleccionamos dentro del módulo de drenajes el icono de diseño y luego el editor de partes. Éste se abre en forma independiente para crear un nuevo catálogo, le daremos un nombre y las unidades correspondientes.
- En el panel de la izquierda, seleccionamos el botón de estructura y luego el tipo de pieza para activar el botón New.
- Colocamos un nombre a la pieza.
- En Shape, se genera una nueva plantilla y buscamos el archivo .ipt de Inventor.
- En la pestaña propiedades, ingresamos la información deseada, pero debemos tener en cuenta que hay dos campos que son obligatorios: *Benching Method* (método) y *Structure Base Form* (Formulario base de la estructura).
- En la pestaña de edición de la pieza se crea el listado de tamaños de la estructura. Todas las partes de la infraestructura tienen parámetros requeridos que se indican con un asterisco en el encabezado y deben ser completados.
- Por último, validaremos el tamaño de las piezas creadas seleccionándolas una a una, y con la vista 3D se podrá verificar si se ensambla en forma correcta.

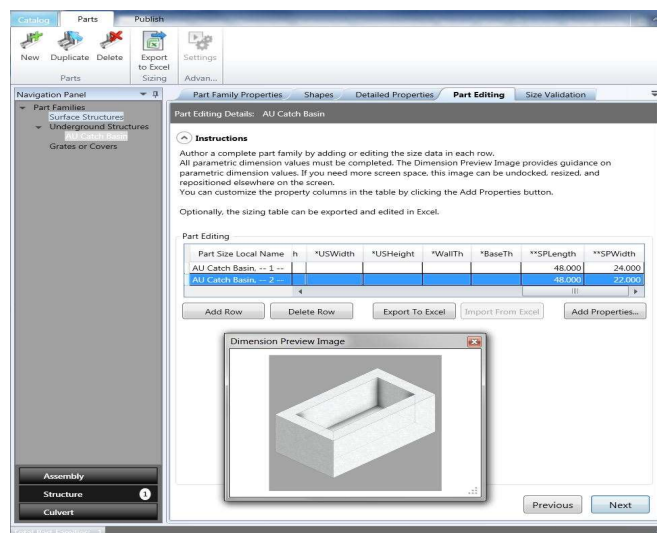


Fig. 2 Editor de Partes

Deben repetirse estos pasos para los 3 elementos: la estructura, la cubierta y la estructura superficial.

Cuando las 3 partes se crean se combinan dentro de un Assembly para usar en Infracworks o Civil 3D.

- En el panel de la izquierda se selecciona el botón Assembly y luego New. En el catálogo sólo se verá una pieza. Para ensamblar las piezas arrastre los 3 componentes a las ranuras vacías de la derecha.

Si uno de los componentes arrastrados contiene un alerta de color amarillo en la imagen, alguna medida ha sido mal definida. Para resolverlo, se debe seleccionar la solapa de propiedades y verificar las opciones.

- En la solapa validación, seleccione cada componente y verifique que esté correcto.
- Por último, haga clic en el botón “hecho” (DONE).

Una vez finalizado el proceso, se puede publicar en los catálogos de Infracworks y de Civil 3D. Pero para que funcione en Civil debe estar publicada la pieza en la ubicación predeterminada que tiene el software:

C:\ProgramData\Autodesk\C3D2019\enu\Pipes Catalog

- En el editor, seleccionamos la pestaña Publish, y en la caja de diálogo indique si se va a publicar para Infracworks y para Civil 3D.

A partir de ese momento la pieza está disponible en las redes de drenaje para Infracworks y Civil 3D, tal como muestra la figura siguiente.

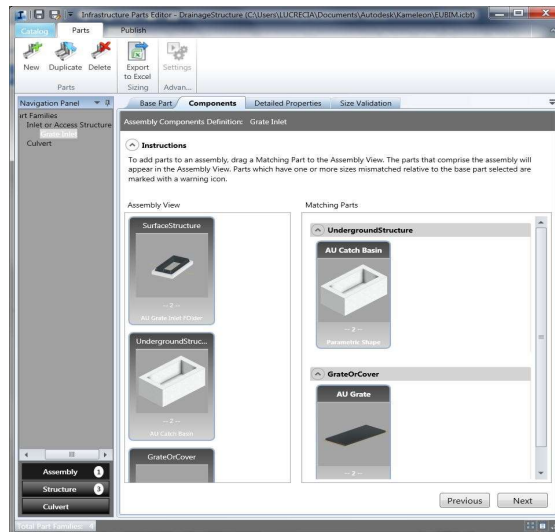


Fig. 3 Ensamblaje

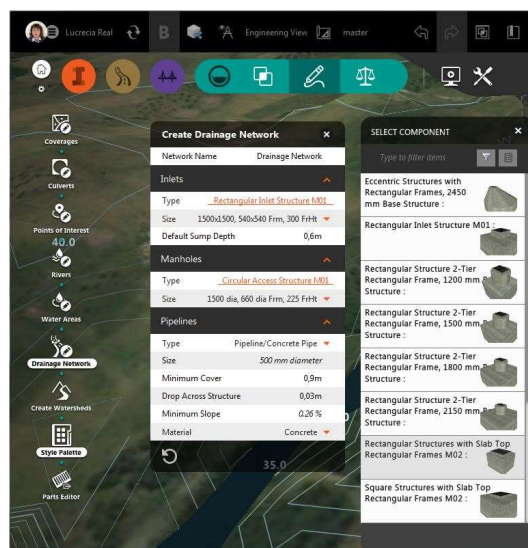


Fig. 4 – Partes en Infracworks

1.3. Civil 3D – Revit

Tenemos diferentes alternativas para llevar objetos desde un software a otro:

- De AutoCAD Civil 3D a Revit
 - Seleccionar las coordenadas desde Civil 3D a través de la aplicación Shared Reference Point para configurarlas en Revit.
 - Adquirir Coordenadas en Revit desde un archivo importado de Civil 3D.
 - Insertar en Revit superficies exportadas en formato XML desde Civil 3D.
 - Insertar superficies en Revit a través de la aplicación Autodesk Desktop Connector.
- De Revit a AutoCAD Civil 3D
 - Exportar objetos sólidos de Revit e insertarlos en Civil 3D.
 - Proyectar objetos sólidos importados desde Revit en los perfiles de Civi 3D.

1.3.1. Shared Reference Point

Esta aplicación proporciona la funcionalidad de exportar puntos conocidos con elevación desde civil 3D a un archivo externo .XML, con el cuál Revit, puede importar y configurar un sistema de coordenadas.

Se debe descargar desde la la página *Autodesk Desktop APP* o desde la página de suscripción, e instalar tanto en Civil 3D como en Revit.

- En Civil 3D:
Esta herramienta la encontramos en la paleta *Toolspace*, en la solapa *Toolbox*.
 - Cuando la ejecutamos nos pide la posición del punto que será la referencia de un hito: el 0,0 del Proyecto, la intersección de dos ejes u otra referencia definida en el Plan de ejecución de BIM (BEP).
 - Luego nos pide un punto en la dirección del eje y +.Una vez definidos estos datos, nos muestra a través de una caja de diálogo las coordenadas de ese punto, su elevación y las unidades de trabajo del archivo, para guardarlo en formato .XML.
- En Revit, una vez cargado el archivo de CAD como referencia para ubicar el mismo punto, seleccionamos dentro de la solapa *Add-Ins*, el *Panel Shared Reference Point*. El programa nos va a pedir:
 - el punto de referencia que tomamos en Civil 3D,
 - un punto en la posición Y+,
 - el archivo XML extraído de Civil 3D.

Si en este momento colocamos una cota de coordenada en el modelo de Revit, no coincide el valor de ese punto en Revit con el de Civil 3D, porque aún nos falta un paso: debemos configurar las coordenadas compartidas que vamos a utilizar en el modelo

Los pasos a seguir serían:

- Seleccionamos en la solapa *Manage!* panel *Project Location* la opción *Location*. En la ventana de diálogo seleccionamos la pestaña *Site* para definir las coordenadas importadas y la activamos con el botón *Make Current*, como se ve en la figura 5.

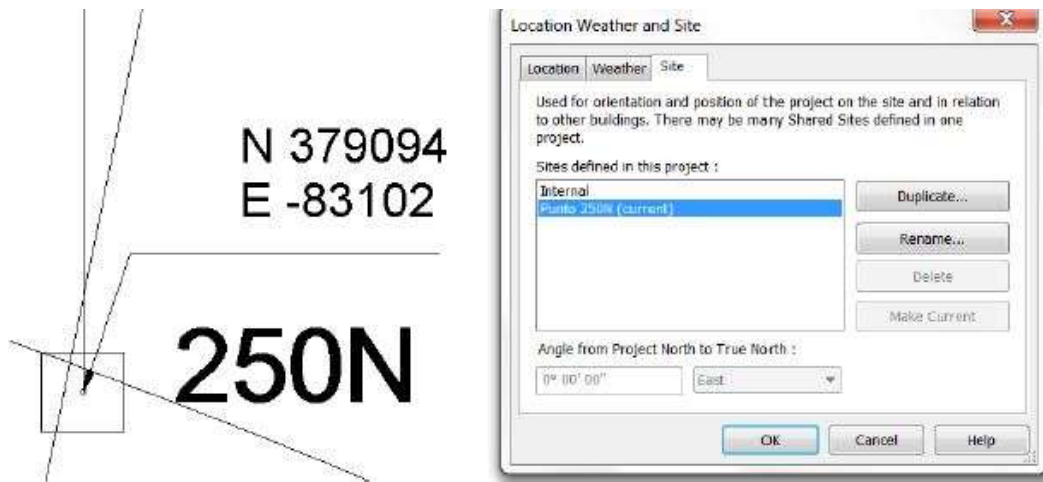


Fig. 5 Selección del sitio importado

1.3.2. Compartir coordenadas - Acquire Coordinated

Al adquirir las coordenadas desde un archivo DWG o RVT (que ya las tienen establecidas), las mismas conforman el sistema de coordenadas compartidas y la ubicación del norte real del modelo anfitrión. El eje Y y el origen del archivo se convierte en el norte real y el sistema de coordenadas compartidas del modelo de Revit.

- Debemos abrir un modelo de Revit, que será el anfitrión del archivo vinculado (DWG o RVT), desde el que se desea adquirir las coordenadas.
- Seleccionamos la solapa *Manage*/panel *Project Location* y desplegamos el menú *Coordinates* para seleccionar la opción *Acquire Coordinated*.
- hacemos clic en el archivo vinculado, y a partir de ese momento el modelo anfitrión comparte las coordenadas del vínculo.

1.3.3. Insertar archivos .XML

En Revit podemos crear topografías de dos formas diferentes:

- a) introduciendo puntos con su elevación
- b) importando un archivo de curva de nivel (DWG, DXF, DGN) o un archivo de puntos .CSV o .TXT.

La primera opción, por su poca precisión, se usa como recurso esquemático.

En la importación de archivos de curva de nivel contamos con una geometría precisa, incluso si se utilizaran las coordenadas compartidas tendríamos su orientación exacta. El problema se produce cuando necesitamos editar la superficie para crear terraplenes, excavaciones, plataformas, caminos o calles. En este sentido, el procedimiento sería manual, añadiendo y eliminando puntos de la superficie, por lo que el grado de precisión se ve reducido.

Con la aplicación *Site Designer* que se le instala a Revit desde la página *APP Store* de Autodesk, podemos trabajar de una manera más ágil. El primer panel nos permite importar/exportar de *Civil 3D* en formato de *LandXML* una superficie, que luego podemos editar con el resto de las herramientas de esta aplicación.

1.3.4. Autodesk Desktop Conector

Esta herramienta es nueva de Revit 2019.1, introduciendo una interoperabilidad entre Revit y Civil 3D a través de BIM 360 docs. Se puede publicar la topografía desde Civil a Bim 360 y luego ver los resultados en Revit.

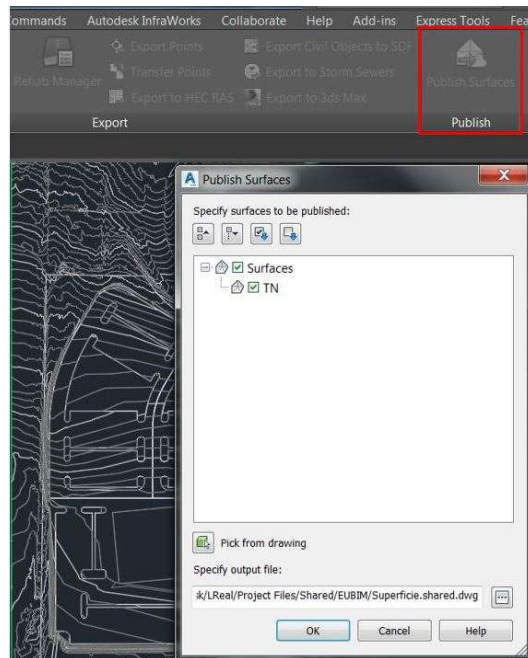


Fig.6 Publicar Topografía de Civil

- En Civil 3D, seleccionamos la superficie para publicarla a través de Desktop Connector.
- En Bim 360 se puede verificar que se publicó la topografía en una vista 3D con los datos correctos de Civil.
- En Revit, buscamos BIM 360 para enlazar la exportación realizada en Civil 3D.

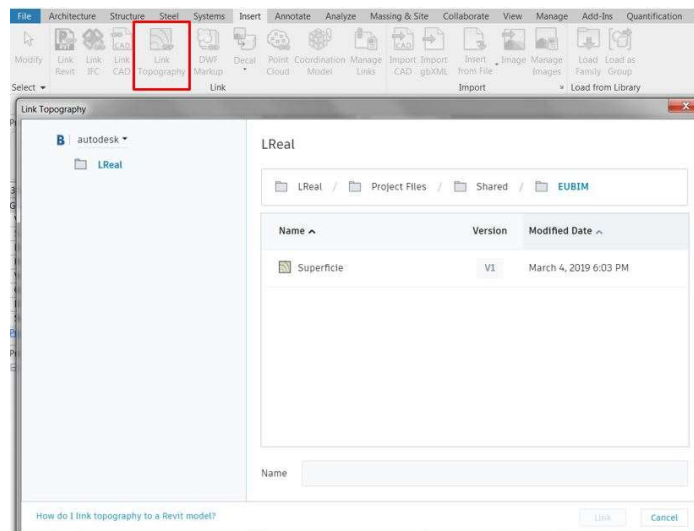


Fig. 7 Importar Topografía en Revit

1.3.5. Export Revit a Civil 3D

Para obtener un modelo de Revit en Civil 3D es necesario exportarlo como DWG teniendo en cuenta algunas consideraciones como:

- Limitar la geometría del modelo para mejorar el rendimiento del proceso de exportación.
- Desactivar las visibilidades de las categorías que no se necesitan.
- Utilizar la caja de sección o *Section Box* para delimitar la parte del modelo a exportar, todo lo que se encuentra fuera de ella no se exportará. Esto es necesario, sobre todo, en modelos de gran tamaño.
- Especificar el nivel de detalle de acuerdo al requerimiento del modelo que necesite exportar.
- Seleccionar las unidades adecuadas.
- Definir el sistema de coordenadas como compartidas para mantener la posición específica de los objetos del proyecto.
- Exportar los objetos de Revit como sólidos ACIS. La topografía que es una malla poligonal, seguirá siendo una malla.

1.3.6. Proyectar objetos en los perfiles de Civil 3D

A veces es necesario ver la relación de la geometría con los objetos sólidos importados de Revit en los perfiles de Civil 3D; por ejemplo, verificar que la excavación definida coincida con la geometría de la estructura. Para ello debemos asegurarnos que los objetos de Revit sean sólidos 3D, aunque también se puede proyectar en los perfiles puntos, bloques y polilíneas 3D.

Seleccionamos en Civil 3D el perfil y desde el ribbon la opción *Project Objects to View*; para seleccionar los sólidos 3D importados de Revit.

2. Conclusiones

Después de recorrer parte del Workflow necesario para la comunicación entre diferentes disciplinas, debemos entender que la interoperabilidad es un punto clave a tener en cuenta en los procesos BIM dentro de un proyecto.

Debemos trabajar juntos, diseñar estándares, procesos y protocolos de intercambio de información para confiar en lo que estamos recibiendo.

Estamos en una época en la cual la conectividad entre ingenieros, arquitectos, consultores, constructores y clientes, con nuevas herramientas nos facilitan la automatización y la capacidad de lograr mejores resultados. Debemos mantener la mente abierta, viendo el progreso y fomentar este cambio.

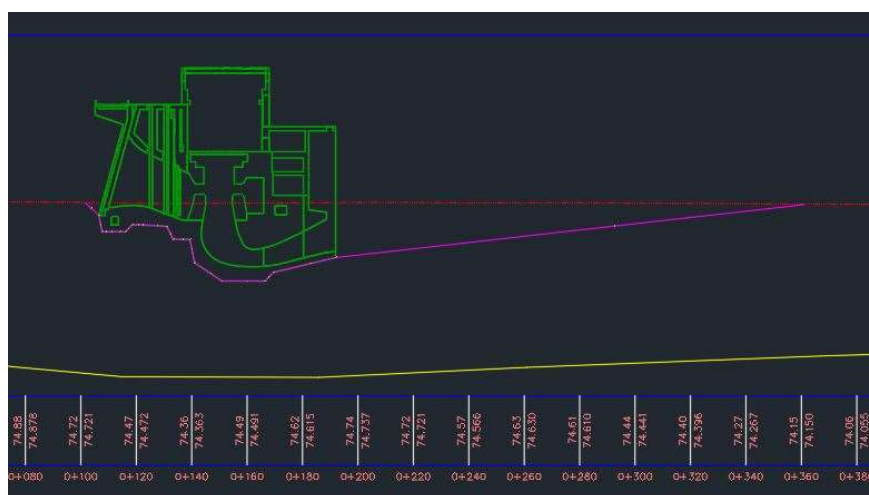


Fig. 8 Proyectar modelo 3D en perfil en Civil 3D

3. Referencias

AUTODESK – Autodesk Knowledge Networks <<https://knowledge.autodesk.com/es/support/infraworks/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/ESP/InfraWorks-UserHelp/files/GUID-2DC0258C-4FEE-4B25-A6FF-6C685671607A-htm.html>> [Consulta: Febrero de 2019]

CHAPPELL, Eric – Autodesk Infraworks 360 and Autodesk Infraworks 360 LT

MUNFORD, Paul – Mastering Autodesk Inventor 2018 and Autodesk Inventor LT 2018. Autodesk - Revit IFC manual – Detailed instruction for handling IFC files – 2018 – https://abcdnblog.typepad.com/abcd/2018/Success_Stories/IFC-Manual-2018-ENU.PDF

Posibilidades de la metodología BIM en la ingeniería civil

Pérez-González, Luis^a; García- Alberti, Marcos^a, Moreno-Bazán, Ángela^a y Arcos Álvarez, Antonio A.^b

^aDepartamento de Ingeniería Civil. Construcción. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. luis.perez.gonzalez@upm.es, angela.moreno@upm.es, marcos.garcia@upm.es, ^bDepartamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, ETSI Caminos, Canales y Puertos de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. antonio.arcos@upm.es

Abstract

This study emerged as a response to the schedule of the Ministry of Public Works for the implementation of the BIM methodology in Spain. Such schedule is based on three stages. From March 2018 BIM was recommended for public biddings projects, from December 2018 BIM was mandatory in public biddings and in mid-2019 it will be mandatory in public infrastructure projects.

BIM Civil engineering, although it is close to its implementation, there is still no clear route for its application within companies. The universities, for their part, have not yet introduced in the syllabus the study of this methodology. The academic training of professionals remains as an activity outside the university, according to the importance individually given to the topic.

The aim of this article is to acknowledge the current state of BIM methodology, the experiences of other countries, that have already implemented the use of BIM in Infrastructure. Hence, the legal framework proposed for implementation in Spain has been analysed. In addition, a procedure to apply this methodology in the business framework in an efficient manner in the stipulated period is proposed.

Keywords: BIM, Spain, Implementation, Methodology, Mandatory, Civil Engineering, Infrastructure.

Resumen

Este estudio surge como respuesta al calendario del Ministerio de Fomento para la implantación de la Metodología BIM en España, que consta de tres etapas. En marzo de 2018 su uso se recomendó en licitaciones públicas, en diciembre de 2018 su uso se hizo obligatorio en licitaciones públicas de edificación y a mediados de 2019 se prevé obligatorio en licitaciones públicas de infraestructura.

En el caso de la Ingeniería Civil, no existe aún una ruta clara para su aplicación dentro de las empresas. Las universidades por su parte, en su mayoría, aún no han introducido la utilización de BIM para infraestructuras en los planes de estudios. La formación académica de cada individuo queda como una actividad externa a la universitaria, de acuerdo con la importancia que de forma individual le den al tema.

El objetivo de este artículo es dar a conocer cuál es el estado actual de esta metodología, las experiencias de otros países, que ya han llevado a cabo este proyecto de implantar obligatoriamente el uso del BIM en obras de carácter público y su aprovechamiento en las infraestructuras. Para ello se ha analizado el marco legal propuesto para la implementación en España, con una propuesta para la aplicación de esta metodología en el marco empresarial de manera eficiente.

Palabras clave: BIM, Implantación, España, Metodología, Obligatorio, Ingeniería Civil, Infraestructura.

Introducción

BIM (Building Information Modeling) es una metodología colaborativa que consiste en la elaboración de un modelo gráfico computacional con información añadida, en el que se centraliza toda la información necesaria para la creación y gestión de un proyecto de construcción, formando parte de todo el ciclo de vida, desde el diseño conceptual hasta la demolición de la estructura, englobando todo este ciclo básicamente en las siguientes etapas principales: diseño, construcción, aprovechamiento y mantenimiento. (Demchak, G, 2009), (Eastman, Chuck, 2011).

Esta metodología es conocida y aplicada, la mayoría de las veces, a estructuras de edificación, así como al desarrollo de proyectos arquitectónicos. Sin embargo, las infraestructuras son las obras de ingeniería civil más representativas por su elevado presupuesto, su ajustado tiempo de ejecución y la elevada repercusión social. Los beneficios que presenta la metodología BIM en los proyectos de edificación podrían ser extrapolables a las obras de infraestructuras, entendiendo éstas, como el entorno y las edificaciones o elementos que se encuentran en él (Rafael Blanco, 2019).

Esto hace que los modelos a utilizar sean considerablemente más complejos ya que los proyectos de infraestructura no solo incorporan nuevas edificaciones al paisaje, sino que también modifican el paisaje existente. Por el contrario, los proyectos de edificación no ejercen una influencia considerable con el entorno, siendo la interacción con el entorno la diferencia fundamental entre proyectos de edificación y de infraestructuras. (David Pastor Moreno, 2019)

En este artículo se presenta el resultado de una revisión bibliográfica del estado actual de la metodología BIM en proyectos de edificación y sus posibilidades de aplicación en la Ingeniería Civil dentro del marco legal propuesto en España así como su implantación en una empresa de manera eficiente considerando las recomendaciones propuestas por la organización encargada de la implantación del BIM en España, es.BIM.

1. Globalización e implantación de la metodología BIM

La metodología BIM es un fenómeno global, propiciado principalmente por la interoperabilidad de los distintos software mediante archivos de intercambio IFC (Industry Foundation Classes). La organización buildingSMART, define la capacidad de realizar modelos BIM basado en estándares y flujos de trabajos abiertos como OpenBIM. Esta organización se encarga de promulgar y fomentar la utilización del uso del OpenBIM así como el mantenimiento y desarrollo de estándares IFC.

Y denota las principales ventajas de la utilización de esta metodología de la siguiente forma (buildingSMART):

- Fomento de un flujo de trabajo libre, que permite la participación e interoperabilidad en un proyecto, independiente al software utilizado por cada profesional,
- creación de un lenguaje común para procesos BIM, permitiendo la evaluación de varios programas informáticos, con calidad de datos asegurada,
- los proveedores de software pequeños y grandes pueden participar y competir en soluciones independientes, en etapas específicas del desarrollo del proyecto, evitando así fomentar un monopolio con los softwares y proveedores ya establecidos,

A continuación, se presenta el estado actual de la implantación del BIM en los países que han sido pioneros a nivel mundial:

- **Estados Unidos:** en el año 2003 la administración de servicios generales, a través del servicio de Edificios Públicos (PBS) establece el programa 3D-4D BIM, con la intención de lograr una adopción de la metodología BIM, finalmente en 2007 la misma organización exige la utilización del BIM en proyectos públicos (McAuley, 2017).

No se puede considerar de uso obligatorio a nivel nacional ya que tiene diferente regulación por estado. Sin embargo, la normativa general que rige el uso de la metodología es la *National Bim*

Standard, elaborada en conjunto con la asociación buildingSMART, además de diferentes guías de diseño (National BIM Standard - United States,2015).

El uso de esta metodología se incrementó de 28% a 79% entre los periodos de 2007 (fecha en la que se exige en proyectos públicos) al 2015.

- **Chile:** en 2015 se forma el BIM Forum Chile, órgano que sesiona bajo la coordinación de la Corporación de Desarrollo Tecnológico, de la Cámara Chilena de la Construcción (BIM Forum Chile, 2018). Postulando en el Plan BIM de 2016, su uso obligatorio en proyectos públicos en el año 2020 y en proyectos privados en 2025 (Carolina Soto,2018).

- **Reino Unido:** es considerado uno de los países líderes de la implantación de la metodología BIM, debido a la publicación en 2011 de la estrategia de construcción del Reino Unido, donde se estipula el uso obligatorio de esta metodología desde 2016, con un nivel de implantación 2. El marco legal del BIM en Reino Unido se rige por la *British Standard Institution, National BIM Specification y BuildingSMART* Reino Unido.

Con la particularidad de exigir un nivel de implantación 2, actualmente se estima que el 86% de los profesionales de la construcción esta usando BIM (McAuley,2017).

- **Países Nórdicos (Noruega, Finlandia y Dinamarca):** en 2007 el senado de Finlandia publica la primera versión de las guías de diseño BIM que en 2012 seria actualizadas como normativa llamada "Requerimientos Comunes BIM". Esta metodología cuenta con un nivel de adopción superior al 50% en el sector público (McAuley,2017).

Dinamarca para proyectos total o parcialmente financiados por el estado exige en 2007 el uso de la metodología BIM.

En Noruega en 2011, promovido por la Asociación Noruega de Constructores de Viviendas, elaborando el BIM manual (Norwegian Home Builders,2011).

La particularidad los países nórdicos es que no solo exigen el uso de la metodología BIM, sino que debe ser en archivos abiertos.

- **Singapur:** en 2010 se crea un fondo BIM para cubrir gastos de capacitación, consultoría, software y hardware a los primeros en adoptar esta metodología. En 2012 fue promovida la hoja de ruta de implantación, exigiendo el uso de la metodología BIM en proyectos en áreas superiores a 20 mil m² y en 2015 para áreas superiores a 5 mil m², (McAuley,2017).

- **España:** el organismo encargado de promulgar y gestionar la implantación de la metodología BIM en España se llama *es.BIM*, este se compone de 5 grupos principales: estrategia, personas, procesos, tecnología e internacional. Cuya hoja de ruta de implantación del BIM culmina con el uso obligatorio de este en licitaciones públicas de infraestructura a mediados de 2019.

De la experiencia de estos países, se puede concluir que la metodología BIM se propicia en la empresa privada debido a sus beneficios económicos. Sin embargo, no es hasta que esta se vuelve un requisito obligatorio en el país cuando se logra una implantación general. Esta debe ser incentivada por el estado ya sea con la elaboración de manuales o normas bien definidas que faciliten la implantación o fondos económicos que permitan afrontar los costes iniciales al migrar al BIM.

2. Aplicación de la Metodología BIM en Ingeniería Civil

La diferencia fundamental en la utilización de esta metodología en infraestructuras con respecto a su uso en edificación es la interacción que existe con el entorno.

Por lo que un modelo o conjunto de datos BIM de infraestructura puede estar compuesto de una serie de modelos coordinados que contribuyen a la mejora del conjunto. Estos pueden incluir los diferentes tipos de modelo que se presentan a continuación. (Barazzetti.L, 2017), (Eynon, 2016).

- Modelo general o de implantación de la infraestructura (georreferencia de cada elemento).
- Modelo Topográfico (Delimitación de linderos, superficie 3D de la zona involucrada).
- Modelo de Servicios (equipos, electricidad, gas, drenajes, señalizaciones, etc.).

- Modelo de Vialidad.
- Modelo de Estructuras (edificaciones, túneles, muros, puentes, etc.).
- Modelos de Información de utilización y mantenimiento de activos (realidad aumentada).

En la Figura 1 se presenta de manera esquemática la interacción de todos estos modelos, para representar de manera adecuada el modelo de la infraestructura, si bien este listado de modelos puede continuar creciendo, los indicados son los básicos para representar el entorno.

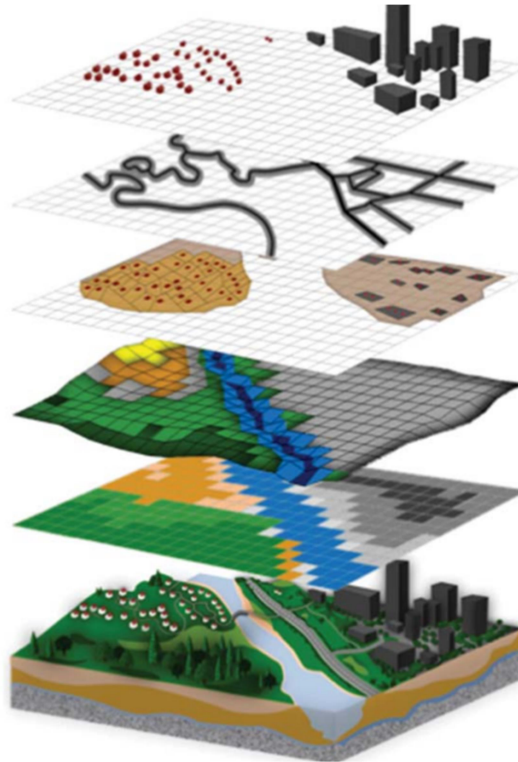


Fig. 1 Captación del entorno e implantación de la infraestructura en el terreno (Eynon, 2016).

2.1. Métodos para captar el entorno

A lo largo de la historia de la ingeniería civil se ha necesitado captar las condiciones del sitio donde se implantará una infraestructura. Este es un proceso tedioso que involucra por lo general, medidores de nivel, estaciones totales y una gran cantidad de cálculos numéricos. Al ser un proceso que requiere tantas etapas se presta a inexactitud en los resultados finales, sin embargo, este no es el mayor inconveniente que tiene el proceso sino el tiempo que involucra.

Por el contrario, el proceso de capturar el entorno con medios digitales permite hacer una representación de un modelo digital tridimensional de manera más rápida, precisa y asociarlo directamente al proceso de diseño y modelado digital, en el que se incluyan todos los elementos de la zona captada.

Para lograr la captura del entorno con medios digitales los principales métodos son la fotogrametría y escaneo laser LIDAR (Light Detection and Ranging), tanto aérea como terrestre, tanto para fotogrametría como el escaneo con láser, la alternativa aérea con vehículos no tripulados (drones) es la más utilizada ya que permite cubrir grandes extensiones de terreno en poco tiempo.

Para captar el entorno, haciendo uso de fotogrametría aérea se debe realizar una planificación del vuelo, dependiendo del resultado que se desee obtener existen tres alternativas. Vuelo para generación de orto mapas, vuelo para generación de áreas construidas en representaciones 2D o 3D y vuelos para generar volúmenes 3D, de elementos verticales como edificaciones.

Para la realización de orto mapas que son imágenes libres de distorsión y cuentan con una escala uniforme en la totalidad de su superficie, la cámara se encontrará perpendicular apuntando al suelo y se deberá seguir una trayectoria en forma de cuadrícula como se observa en la Figura 2, cuyos solapes mínimos deben estar entre el 70 y el 80 % (frontal) y al menos el 60% (lateral) (Aerial Insight).

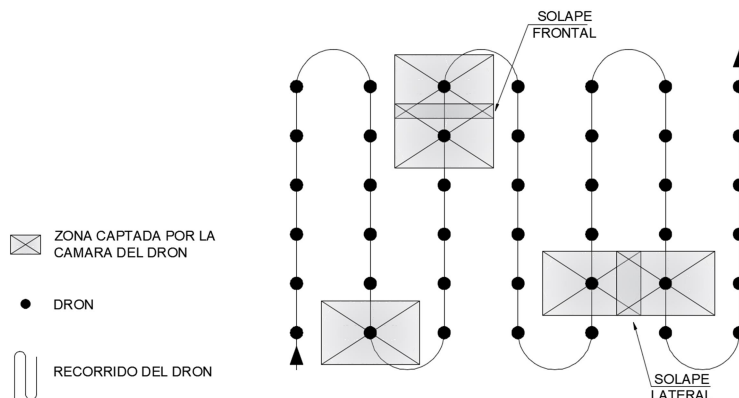


Figura 2. Planificación de ruta de vuelo para la obtención de orto mapas, imagen realizada por el autor basada en las imágenes de la página web aerial insight (Aerial Insight).

Si el resultado que se desea obtener es una imagen tridimensional el procedimiento es similar, aunque modificando la ruta que debe seguir el dron. Para este tipo de trabajos es necesario disponer de diferentes puntos de vista para cada área, para esto se debe realizar una trayectoria en doble cuadrícula como se presenta en la Figura 3. De esta manera se garantiza que se obtengan fotografías desde cuatro puntos. A diferencia del orto mapa en este caso se debe representar los elementos verticales, la cámara no puede estar enfocada de manera perpendicular a la superficie sino con un ángulo entre 10 y 35 grados, manteniendo un solape similar al caso anterior (Aerial Insight).

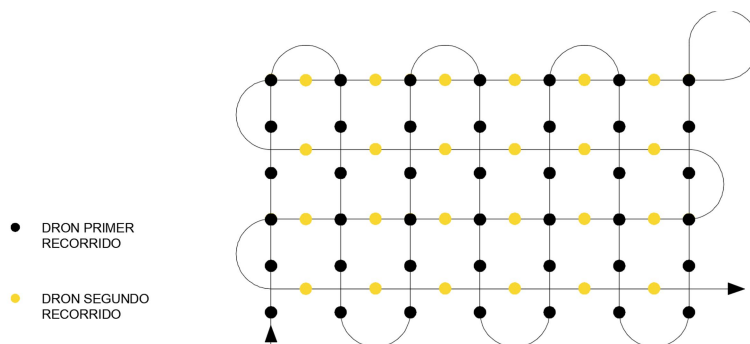


Figura 3. Planificación de ruta de vuelo para la obtención de modelos 3D, imagen realizada por el autor basada en las imágenes de la página web aerial insight (Aerial Insight).

Si lo que se desea obtener es una representación tridimensional de una edificación o estructura vertical la trayectoria que debe seguir el dron es completamente diferente a las expuestas previamente, se necesita que complete entre dos y tres trayectorias circulares ascendentes a diferentes cotas, alrededor del objeto a representar, en este tipo de trabajos la fotografía se tomará en la primera trayectoria a 45 grados, 30 en la segunda y finalmente 10 en la tercera Figura 4, evitando en todos estos casos incluir la línea del horizonte o el sol, el solape en fotos debe respetar que cada una estará separada de la anterior entre 5 y 10 grados aproximadamente 36 fotos por orbita (Aerial Insight).

Además de la fotogrametría otro método que ha tenido un importante auge en la actualidad es el escaneo con láser (LIDAR) de la superficie a estudiar, permite determinar distancias desde un emisor laser a una superficie, esta se obtiene a partir de las diferencias de tiempo entre la emisión del pulso y la recepción de la señal reflejada. Combinado con la información proporcionada por el GPS (Sistema de posicionamiento global) e INS (sistema de navegación por inercia), estas medidas se convierten en medidas de puntos tridimensionales en el espacio. Ya escaneados los puntos de la superficie se debe realizar la nube de puntos, que se resume básicamente en los datos obtenidos del LIDAR organizados espacialmente y con postprocesos, haciendo uso de software especializado.

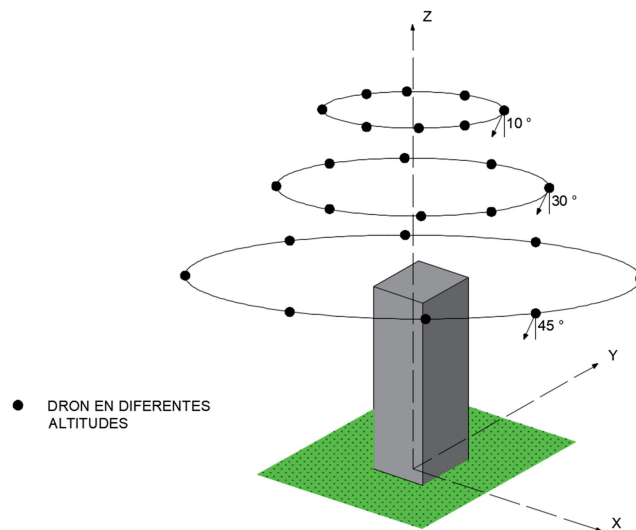


Figura 4. Planificación de ruta de vuelo para la obtención de modelos verticales 3D, imagen realizada por el autor basada en las imágenes de la página web aerial insight (Aerial Insight).

La reducción económica de estos equipos debido al avance tecnológico sumado al excelente resultado que se obtiene ha dado pie a la adopción de estas herramientas en el mundo de la ingeniería civil, sin embargo, esto no es lo único que ha permitido este proceso. Algunos de los beneficios que proporciona el uso de estas herramientas (Autodesk,2017) se exponen a continuación.

- Precisión en el cálculo: Combinando ambos métodos fotogrametría y escaneo LIDAR se obtiene un nivel de detalle sumamente alto.
- Mayor eficiencia: En el campo de la renovación y mantenimiento de estructuras, estas herramientas disminuyen el tiempo que requiere tomar las medidas y la posterior creación de modelos o planos.
- Menor mano de obra y viajes a el sitio de trabajo: elimina la necesidad del trabajo de medición manual con grandes equipos de trabajo, limitándolo a un grupo más reducido de trabajadores cualificados.
- Inicio de diseño en 3D: permite la correlación entre las condiciones existentes del terreno con la realización de un proyecto regido por la metodología BIM.
- Mejores verificaciones durante el proceso constructivo: es una manera de documentar el avance de una obra, escaneando periódicamente y comparando resultados

2.2. GIS (Sistema de información geográfica) y BIM en la ingeniería civil

Como se ha mencionado la diferencia fundamental del BIM en infraestructuras con respecto a edificación es la interacción con el entorno. Para la elaboración de modelos informáticos capaces de integrar información geo-referenciada, existen los Sistemas de Información Geográfica (GIS), en estos se puede incluir información muy variada como tipo de vegetación, simulaciones hidrológicas, procesos geomorfológicos, radiación solar, información demográfica etc, así como demás tipo de información asociada a un espacio georreferenciado (Barazzetti.L, 2017).

Para modelizar completamente el entorno y las infraestructuras que se desarrollan en el, se pueden desarrollar modelos en los que la metodología BIM y el GIS trabajan juntos, el primero proporcionando información detallada sobre los elementos estructurales, así como desarrollo de la infraestructura y el segundo sobre los elementos estructurales dentro del entorno (Geospatial World). Esto permite tomar decisiones acertadas tomando en cuenta todas las variables involucradas en el proyecto. En la Figura 5 se presenta un diagrama sobre el rol de cada sistema en el desarrollo del modelo y el proyecto.

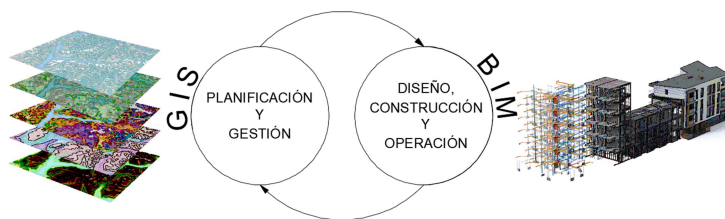


Figura 5. Interacción entre GIS y BIM (Elaboración Propia).

2.3. Incorporación de la metodología BIM en el desarrollo de un proyecto de infraestructuras

Es sumamente importante recalcar que no tiene un beneficio importante incluir softwares BIM en el proceso de manera aislada, sino hacer todo el proceso basado en la metodología BIM, es decir incorporar softwares BIM en cada etapa y que estos sean vinculantes con las etapas anteriores y posteriores del proyecto.

Las etapas consideradas en un proyecto son, recopilación de información, prediseño, diseño de detalle, proyecto de construcción, operación y mantenimiento. Un esquema de como incorporar el BIM en cada una de estas etapas podría ser el que se propone a continuación:

- **Recopilación de Información:** En esta etapa se recopila la información técnica que regirá el desarrollo del proyecto, como localización de infraestructuras existentes, estudio de suelos e hidrografía, estimación de flujo de tráfico, condiciones climáticas, normativas limitantes.
El cambio más visible con respecto al flujo de trabajo tradicional es la captación del entorno, los programas informáticos más utilizados para procesar los datos y generar el modelo después de tomar los datos de la realidad son Autodesk RECAP y Bentley Contextcapture.
- **Pre-Diseño:** Al trabajar haciendo uso de modelos digitales se tiene la ventaja de poder plantear una gran cantidad de alternativas en un ambiente tridimensional que permita una mayor comprensión, coordinación, integración y visualización del proyecto, este conjunto de alternativas permitirá al usuario tomar decisiones orientadas a definir la mejor solución para el proyecto.
Los programas informáticos más utilizados en esta fase son, de Autodesk Infracore y Bentley ConceptStation, estos son software diseñados para proyectos complejos de infraestructura tomando en cuenta el entorno, inclusive con la capacidad de vincularse con google maps y tomar directamente información de la zona a desarrollar. Sin embargo, en el predimensionamiento en edificaciones basta con realizar un modelado en un software BIM con un bajo nivel de Desarrollo.
- **Diseño de detalle:** Ya realizado el modelo conceptual y seleccionada una o más alternativas a desarrollar se procede a realizar un modelado de detalle, para esta etapa se requiere la utilización de un software compatible con los principios y flujos de trabajo BIM, que permita la integración y extracción de información, así como la interoperabilidad con un conjunto de herramientas que permitan la visualización del modelo donde analizar interferencias, opciones constructivas y estado final del proyecto.
En esta etapa de diseño es donde se utilizan mayor número de software ya que se requiere desarrollar todas las variables involucradas en el diseño, ya sea vialidad, movimiento de tierras, elementos estructurales etc. Las casas comerciales capaces de proporcionar este conjunto de herramientas principalmente son Autodesk y Bentley; la primera con software como CIVIL 3D, REVIT, NAVISWORKS y la segunda con software como AECOSIM, OPENROADS DESIGN STATION, BENTLEY VIEW.
- **Proyecto Constructivo:** Esta metodología permite integrar a el modelo digital la variable económica y tiempo de ejecución, con respecto a la gestión del tiempo basta con concatenar diagramas de trabajo tradicionales como los de Gantt, a los elementos que componen el modelo, de esta manera evaluar rutas críticas y analizar diferentes incidentes posibles. Para incorporar la variable económica se debe añadir a cada elemento que compone el modelo, un coste asociado, gracias a esto se podrá conocer el coste del proyecto en cada etapa de este. El desarrollo de esta etapa es muy similar al de edificaciones ya que la metodología de trabajo es la misma, asignar más información a los elementos del modelo. Para tratar la gestión del tiempo uno de los softwares más populares es

SYNCHRO de Bentley y en menor medida NAVISWORK de Autodesk, ya que este no está diseñado específicamente para gestionar el tiempo.

- Operación y Mantenimiento: esto se logra añadiendo información extra a cada elemento que amerite, creando así un modelo con realidad aumentada, por ejemplo, una pieza mecánica en particular, se puede agregar información sobre cada cuanto se debe hacer mantenimiento o reemplazarlo, añadir videos de cómo hacer dicho mantenimiento, así sucesivamente con los elementos que lo requieran para garantizar la máxima utilidad de esta estructura, como información sobre planes de desalojo. El Desarrollo de esta etapa es similar al de edificación ya que como se explicó en el punto de Proyecto constructivo consiste en añadir más información al modelo existente.

3. Implantación de la metodología BIM en el marco empresarial

Previo a profundizar en los aspectos que se deben considerar al implantar esta metodología, se deben conocer cuáles son los elementos por los cuales las empresas aún se resisten a la utilización de esta metodología. Según el NBS-National BIM Report de 2018 (NBS,2018) las principales barreras existentes para la utilización del BIM en el caso de Reino Unido son: ausencia de experiencia en la empresa, escasez de solicitudes por parte del cliente, falta de entrenamiento, costes inherentes a la utilización y falta de tiempo para su aplicación.

Estas barreras son un común denominador en el marco empresarial. Si bien es cierto que el proceso de aprendizaje y modificación de una estructura de trabajo conlleva tiempo, así como un decrecimiento de capacidad o producción, previo a alcanzar la capacidad esperada como se observa en la Figura 6, referente a la curva J de adopción de un nuevo sistema o conocimiento, esta curva surgida de teorías económicas ha sido aplicada en diferentes ramas del conocimiento, para describir la adopción de un proceso o inversión. Este decrecimiento se puede mitigar si la implantación se hace de manera planificada, resultando una curva en este caso marcada en rojo. Sin embargo, si no se toman en cuenta este tipo de medidas mitigantes se obtendrá una curva como la marcada en negro. La curva verde representa el camino deseado en el que inmediatamente hay un aumento de capacidad, que es muy poco probable su ocurrencia.

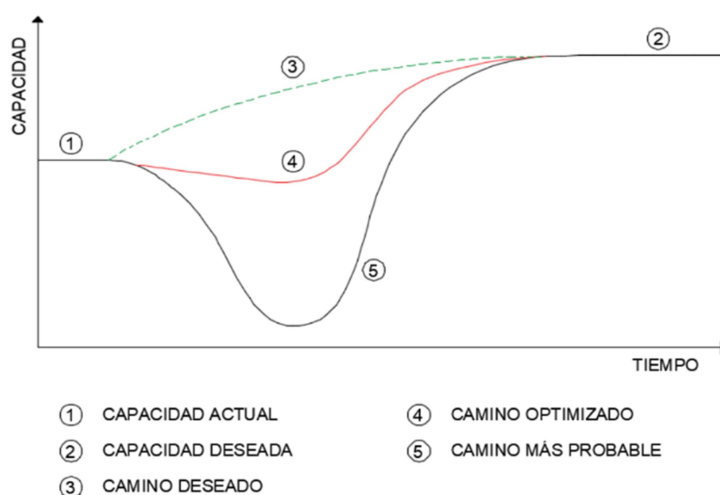


Fig. 6 Curva J de adopción (INNOVA PROYECTOS, 2016).

El resultado final será siempre el mismo al cambiar de la metodología CAD al BIM. Un aumento sistemático en la capacidad de desarrollar proyectos, que se reflejará en un ahorro de recursos, materiales, tiempo, problemas y presupuesto. Esto sin considerar que al no implantar BIM se reducirá significativamente la cartera de clientes y la capacidad de captar nuevos ya que a nivel mundial será una exigencia al concursar en una licitación.

Para comprender la necesidad económica de la implementación del BIM en todas las etapas de la vida de una obra civil, se puede recurrir a la explicación o regla nemotécnica promulgada por Patrick MacLeamy

“BIM-BAM-BOOM”. Esta teoría señala que BIM no abarca todo el enfoque de la metodología, refiriendo esta únicamente a la parte de proyecto, añade el acrónimo BAM (*Building Assembly Modeling*) referente a la etapa constructiva y BOOM (*Buildig Owner Operator Model*) referente a la etapa de explotación u operación.

Esta teoría considera, que el coste de proyecto (BIM) representa alrededor de 5 o 10% del coste total de la construcción y que el coste del mantenimiento de la obra en todo su tiempo de operación hasta la demolición (BOOM) representa hasta tres veces el coste de la construcción, es decir que cada euro invertido en la etapa de proyecto repercutirá en gran medida en el coste total de la estructura, por esta razón cada día será más solicitado el uso de esta metodología.

Tras esta breve explicación se puede deducir que las barreras previamente mencionadas pueden ser desmontadas si se sigue un plan de trabajo, ya que pesar de ser un proceso de transición complejo, económicamente resulta viable y rentable para toda la industria de la ingeniería civil. Además, no se puede decir que el cliente no lo está demandando ya que en la mayoría de los países será próximamente un requisito indispensable, quedando como última barrera el adiestramiento, la experiencia y el manejo de herramientas BIM, así como, la gestión adecuada de esta metodología.

3.1. Estado de la metodología BIM en el marco empresarial español

Con la intención de conocer el estado de la metodología BIM en el marco empresarial, ante la implantación de su uso de manera obligatoria en licitaciones públicas en España, se realizó una encuesta que consta de 26 preguntas, en la que se logró la participación de al menos 10 empresas, de diferentes dimensiones, pequeña, mediana y gran empresa. Considerando pequeña y mediana empresa a las que cuenten con menos de mil empleados y grandes empresas a las que cuenten con más de mil.

De las preguntas planteadas, las que permitieron diferenciar como afronta la pequeña y gran empresa, la implantación obligatoria de la metodología BIM se presentan a continuación, ¿Cómo afrontan esta medida? Se observan los resultados generales de esta pregunta donde las empresas que indican aun no estar preparadas para afrontarla (66% de los encuestados), centrando su mayor esfuerzo en capacitar al personal y contratar personal cualificado, como se observa en la Figura 7.

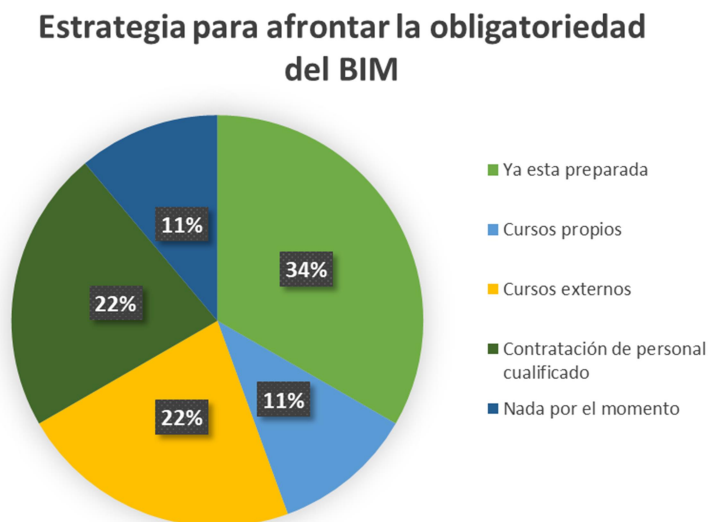


Fig. 7 Como afrontan las empresas la obligatoriedad del BIM en 2019 (Elaboración propia, 2018).

Al analizar estos datos por sector, se puede observar que las empresas que señalan ya estar preparadas se concentran únicamente en el sector grandes empresas, indicando así que el uso de esta metodología ha tenido un rol dominante en este sector antes de que fuese un requisito obligatorio. El resto de los sectores y la parte del sector grandes empresas que indican no estar preparados aun para afrontar el uso de manera obligatoria del BIM en licitaciones públicas, han decidido invertir en el personal existente capacitándolo ya sea con cursos propios o externos y en menor medida contratación de personal cualificado, según lo señalado en la Figura 8.

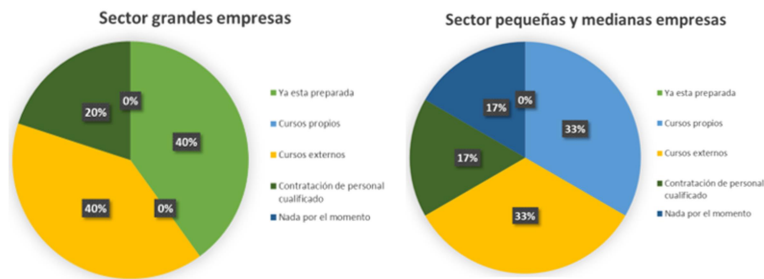


Fig. 8 Como afrontan las empresas la obligatoriedad del BIM en 2019, según la dimensión de la empresa (Elaboración propia, 2018).

Una vez revisado la forma en la que afrontan las empresas la obligatoriedad del BIM en licitaciones públicas en España, se debe conocer cuál es la importancia que se le da a los conocimientos de la metodología BIM frente a conocimientos CAD en el perfil de nuevos contratados. Esto muestra el nivel de desarrollo de la metodología en la empresa o si aún se sigue trabajando mayoritariamente con CAD mientras se realiza la transición al BIM.

En principio todos los encuestados consideran el conocimiento de la metodología BIM es algo necesario a la hora de incorporar nuevo personal. Esto indica la necesidad de incorporar este conocimiento a su personal de trabajo, como se observa en la Figura 9.

Valoración de conocimientos BIM

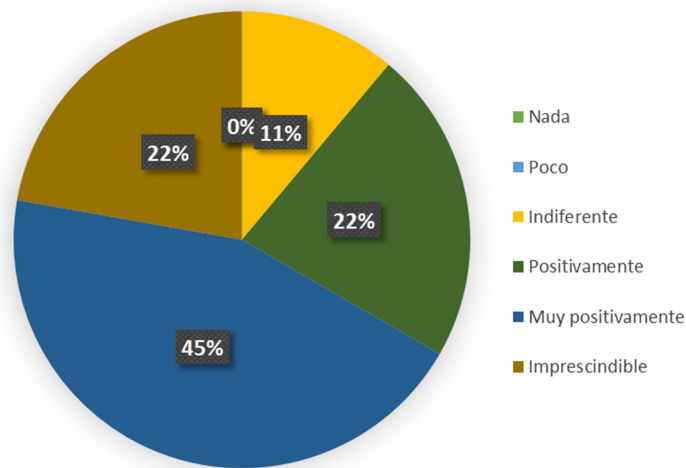


Fig. 9 Como valora los conocimientos BIM la industria (Elaboración propia, 2018).

Sin embargo, cuando se solicitó calificar la importancia de conocimientos entre BIM y CAD. Se observó como el manejo de herramientas CAD, resulta imprescindible o sumamente importante al momento de considerar la incorporación de un nuevo empleado, siendo esta una tendencia que se modifica dependiendo del sector, mientras más grande es la empresa más importancia se le conceden a los conocimientos BIM. Por el contrario, mientras más pequeña es la empresa mayor importancia cobra la utilización de softwares CAD, como se observa en la Figura 10.

Además de estas encuestas de elaboración propia se estudiaron las encuestas realizadas por es.BIM y el Instituto Eduardo Torroja, con título Análisis de la Encuesta de Situación Actual (Instituto Eduardo Torroja, 2017).

Se puede deducir que en España las grandes empresas se encuentran más preparadas que las pequeñas y medianas, dándole a estas una ventaja frente a los anuncios de la obligatoriedad del BIM en 2019. Este fenómeno es lógico ya que las grandes empresas tienen mayor capacidad de inversión para capacitar empleados y contratación de empleados cualificados que impulsen esta transición al BIM. Poco a poco la pequeña y mediana empresa llegará a estar preparada para manejarse en un ambiente BIM, ya sea con la intención de optar a contratos con el estado o para participar en proyectos estatales siendo subcontratados de grandes empresas.

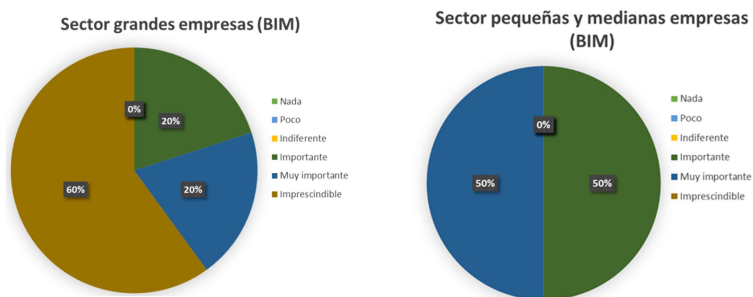


Fig. 10 Valoración del BIM y CAD en la industria (Elaboración propia, 2018).

4. Conclusiones

- Una de las razones por la cual la utilización del BIM en proyectos de infraestructura se está volviendo cada día más común, es la capacidad de captar en el entorno y trabajar sobre este desde el inicio del proyecto. Pudiendo tomar en cuenta todas las variables involucradas desde el inicio del proyecto, permitiendo una gestión y toma de decisiones apropiadas y con menos riesgo involucrado.
- La aplicación de la metodología BIM comienza a ser posible en estructuras complejas, como puentes, túneles, plantas industriales, vías etc. Gracias a la aparición de nuevo software, diseñados específicamente para cada una de estas disciplinas, capaces de interactuar con herramientas de gestión que permiten el desarrollo del proyecto.
- Considerando que el coste del proyecto es aproximadamente un 5-10% del coste de la construcción y que el mantenimiento de la infraestructura representa hasta tres veces el coste de la construcción, según lo presentado en la teoría del BIM BAM BOOM, invertir en un proyecto de calidad que tome en cuenta todas las etapas de la infraestructura, es una manera eficiente de mitigar costes de construcción y operación. Este es un concepto aplicado a todos los proyectos de construcción civil que en infraestructuras cobra mayor relevancia debido a que son estructuras de larga vida útil y de costes asociados.
- El sector grandes empresas se encuentra mejor preparado para afrontar la obligatoriedad del uso de la metodología BIM en licitaciones públicas. Las pequeñas y medianas empresas aun consideran los conocimientos CAD, como imprescindibles incluso más valorados que los conocimientos BIM.

Finalmente concluir que, como muestra este artículo, la metodología BIM tiene posibilidades importantes dentro de la Ingeniería Civil y específicamente en el diseño de infraestructuras, siendo este un proceso económicamente rentable, que proporcionará herramientas para gestionar los recursos que destina el Estado al desarrollo de la infraestructura nacional. La obligatoriedad del uso de esta metodología es un hito de gran relevancia para el desarrollo de los proyectos civiles en España, aunque este debe ir acompañado con el fomento de la educación en Universidades y Centros Profesionales.

5. Referencias

- AERIAL INSIGHTS. (2017). Planificar Capturas de dron. <<http://www.aerial-insights.co/blog/como-planificar-capturas-de-dron/>> [Consulta: 13 de Octubre de 2018].
- Association, Norwegian Home Builders (2011). Norwegian Home Builders' BIM Manual. s.l. : boligBIM.
- BIM FORUM CHILE, Que es BIM Forum. <<http://www.bimforum.cl/que-esbim-forum-chile/>> [Consulta: 19 de Agosto de 2018].
- BUILDINGSMART INTERNATIONAL HOUSE OF OPENBIM. Technical Vision <<https://www.buildingsmart.org/standards/technical-vision/>> [Consulta: 03 de Agosto de 2018].
- BLANCO, R, MARTÍNEZ,J, MOZAS,B, GARCÍA,M. (2019) "Use of BIM methodology for the remodelling of an existing bridge". *IV Congreso Internacional de Innovación Tecnológica en Edificación.- CITE*, Madrid, Spain pp. 72-73.

- CAROLINA SOTO. (2018) Plan BIM Chile. <<http://planbim.cl/wp-content/uploads/2018/02/03.-estrategia-publica-bim-al2020-carollina-soto.pdf>> [Consulta: 19 de Agosto de 2018].
- CICE LA ESCUELA PROFESIONAL DE NUEVAS TECNOLOGÍAS. BIM Obligatorio en España desde 2018 Online. <<https://www.cice.es/noticia/landing-blog/bim-obligatorio-espana-2018/>> [Consulta: 05 de Marzo de 2019].
- DEMCHAK, G., DZAMBAZOVA, T., & KRYGIEL, E. (2009) *Introducing Revit architecture 2009: BIM for beginners*. s.l. : John Wiley and Sons.
- EASTMAN, C. (2011) *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. s.l.: John Wiley & Sons.
- Eynon, J. (2016). *Construction manager's BIM handbook*. John Wiley & Sons.
- GEOSPATIAL WORLD. (2018). What are the benefits of BIM and GIS assimilation. <<https://www.youtube.com/watch?v=SkD4rLxhjZI>> [Consulta: 9 de Septiembre de 2018].
- INNOVA-PROYECTOS. (2016). Implementación BIM para empresas. <<https://www.youtube.com/watch?v=KBEUNkcA8Cw&t=1536s>> [Consulta: 06 de Enero de 2019].
- Instituto Eduardo Torroja, es.BIM. (2017). *Análisis de la Encuesta Situación Actual*.
- MCAULEY, B., HORE, A. and WEST, R. (2017) *BICP Global BIM Study - Lessons for Ireland's BIM Programme* Published by Construction IT Alliance (CitA) Limited, 2017. doi:10.21427/D7M049
- NATIONAL BUILDING SPECIFICATION (2017). *National BIM report*.
- National Institute of Building Sciences buildingSMART (2015). *The National BIM Standard-United States® Version 3 (NBIMS-US™ V3)*.
- BARAZZETTI, L, BANFI, F, (2017). "BIM and GIS: When parametric modeling meets geospatial data". *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Volumen: IV-5/W1, Kyev, Ucrania.
- PASTOR, D, SASTRE, I, RODRÍGUEZ, A, GARCÍA, M, ARCOS, A. (2019) "Case study for the implementation of BIM methodology on civil engineering projects". *IV Congreso Internacional de Innovación Tecnológica en Edificación.- CITE*, Madrid, Spain: pp. 81-82.
- REMOTE SENSING AND PHOTOGRAMMETRY SOCIETY (RSPSoc). What is Photogrammetry. <<http://www.rspsoc.org.uk/index.php/10-learning-zone-material/4-what-is-photogrammetry.html>> [Consulta: 02 de Marzo de 2019].

EXPERIENCIAS REALES CON BIM

Equipo multidisciplinar BIM como líder de producción en obra: construcción del nuevo aeropuerto internacional de México

Collado Pérez, Cristina^a; Liébana Carrasco, Oscar^b

^aProject Manager ACCIONA. ccollado@acciona.com, ^bProject Manager Estructural ACCIONA México, FCCConstrucción. oliebana@gmail.com

Abstract

The development of LOD300 Project Models up to Worksite Production Models of a singular geometry infrastructure such as the New International Airport of Mexico, requires a deep revision of the traditional project management. In this work, the multidisciplinary BIM team has become the leader in the Production Engineering of a consortium of seven large companies and dozens of subcontractors that had been incorporated into the modeling processes during construction. This coordination has been possible from project databases that set the complex geometry, BIM standards of the client and a collaborative process that requires automation for repetitive and expensive tasks. The possibility of planning the control of a multitude of different pieces is only possible after an intense work of management and coordination of models, objects, parameters, formats and the fluent processing of information among all agents involved. The biggest challenge was the detailed and coordination of the envelope, where more than one million different nodes require the involvement of several subcontractors and dozens of shared models for the execution of solutions with minimum tolerances of great complexity on a ground in movement and an earthquake of great magnitude.

Keywords: models, management, coordination, automation, fabrication, erection, envelope, LOD

Resumen

El desarrollo de modelos de proyecto LOD300 hasta modelos de producción de obra de una infraestructura de geometría singular como el Nuevo Aeropuerto Internacional de México, requiere una profunda revisión de la gestión de proyectos tradicional. En esta obra, el equipo multidisciplinar BIM se ha convertido en líder de la ingeniería de producción de un consorcio de siete grandes empresas y decenas de subcontratistas que se han ido incorporando en los procesos de modelado durante la construcción. Esta coordinación ha sido posible a partir de bases de datos del proyecto que fijaban la compleja geometría, estándares BIM de la propiedad y un proceso colaborativo que requiere de automatización para tareas repetitivas y costosas. La posibilidad de planificar el control de multitud de piezas diferentes sólo es posible tras una labor intensa de gestión y coordinación de modelos, objetos, parámetros, formatos, y el procesamiento fluido de la información entre todos los agentes implicados. El mayor de los retos fue el detallado y coordinación de la envolvente, donde más de un millón de nodos diferentes requieren la implicación de varios subcontratistas y decenas de modelos compartidos para la ejecución de soluciones con tolerancias mínimas de gran complejidad en un terreno en movimiento y un sismo de gran magnitud.

Palabras clave: modelos, gestión, coordinación, automatización, fabricación, montaje, envolvente, LOD

Introducción

El porcentaje de obras de edificación actual con requisitos BIM es bajo y existe poca documentación de los ejemplos realizados, el empleo en la etapa de construcción es todavía marginal y tampoco se produce una evolución de modelos de proyecto hasta convertirse en un modelo *Asbuilt* (Del Solar, et al 2016). No es frecuente aún la incorporación temprana del constructor, a pesar de las conocidas ventajas de su colaboración en las etapas de desarrollo del diseño, donde realmente se está apreciando el verdadero trabajo colaborativo entre todas las partes (Mahame, et al 2018). Los requisitos obligatorios, cuando existen, suelen resolverse con equipos BIM dentro de la oficina técnica. La gestión tradicional de funciones ha sido sacudida en los últimos tiempos por la incorporación de roles BIM, que principalmente se incorporan como servicio a la ingeniería de producción, debido a la importancia de la gestión de la información. Sin embargo, a medida que los procesos BIM se incorporan a la gestión de los proyectos, estos roles serán absorbidos por el equipo existente como parte del alcance de sus servicios a la obra (Eynon, 2016). Al mismo tiempo, la necesidad de la especialización tecnológica madurará el mercado y transformará el aporte de innovación continua de estos perfiles en cada proyecto.

La Gestión de la logística de la Construcción (*Construction Logistic Management, CLM*), está desarrollando una evolución paralela al BIM (Whitlock, et al 2018) encontrando los casos de éxito en prácticas que se explican como “los materiales correctos, en la cantidad correcta, en el lugar correcto y en el momento adecuado”, lo que requiere una transformación digital que utiliza BIM como plataforma perfecta para su desarrollo. Actualmente, una pobre gestión logística es un factor crítico para la planificación de una obra de carácter singular como el NAIM. Las condiciones de obra son complejas y todo el potencial de mejora de BIM (coordinación y control) depende de una manera más clara de la interacción entre las partes que se incorporan a la producción. En obra se requieren múltiples tipos de datos de cada subcontratista que se introducen en el modelo para hacerlo útil realmente (Nadeem, et al, 2018). En las operaciones de obra hay demandas adicionales como el desarrollo de modelos de detalle consistentes y colaborativos, la flexibilidad de la planificación, documentación *Asbuilt*, procedimientos de cambio importantes, etc., todo ello con transparencia de los algoritmos aplicados para el responsable de la ejecución (Barstädt, 2015).

1. Introducción al proyecto del NAIM

1.1. Resumen del proyecto de partida

El diseño del Proyecto del Aeropuerto de México es el resultado del trabajo desarrollado por el equipo formado por el estudio de Foster+Partners y FR-EE (Fernando Romero), colaborando con el Grupo Aeroportuario de la Ciudad de México (GACM), Netherlands Airport Consultants, consultores de planeamiento aeroportuario, Arup Ingenieros, Pragma consultores comerciales, GDU arquitectos paisajistas y Parsons en calidad de Project Managers, conformando un equipo multidisciplinario e integrando unas 140 disciplinas con el objetivo de generar un proyecto que pretende dar a México el mejor aeropuerto del mundo.

1.2. Consorcio CTVM y roles BIM

Con fecha de 6 de Enero de 2017, se llevó a cabo el Acto de Fallo de la Licitación Pública Internacional para los trabajos de “Construcción del Edificio Terminal del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México” (figura 1), de la que resultaron adjudicatarias las empresas Operadora CICSA en participación conjunta con Constructora y Edificadora GIA+A, Promotora y Desarrolladora Mexicana, La Peninsular Compañía Constructora, Operadora y Administración Técnica, Acciona Construcción, Acciona Infraestructuras México, FCC Construcción, FCC Industrial e Infraestructuras Energéticas e ICA Constructora de Infraestructuras. Con fecha de 26 de enero de 2017 constituyeron la empresa CONSTRUCTORA TERMINAL VALLE DE MÉXICO (CTVM).



Fig. 1 Vista aérea de la terminal del NAIM (Fuente: memoria del proyecto FP-FREE)

En el comienzo de la movilización del equipo en obra, Acciona se encargó de formar el equipo BIM, el cual se encargaría de los requisitos BIM previstos en obra.

1.3. Principales datos de proyecto

Los trabajos se desarrollan en el contexto de un Contrato de Obra Pública a Precios Unitarios, contemplando el suministro, construcción, entrega, instalación y comisionamiento del Nuevo Edificio Terminal de Pasajeros del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México con 743.000 m² de área de desplante y 95 puertas de contacto, previendo anualmente aproximadamente 50 millones de pasajeros.

Se incluye en el alcance de los trabajos, la superestructura de marcos de acero convencional, cubierta de metal compuesto con sistema espacial de barras y esferas, acabados arquitectónicos y los sistemas de calefacción, aire acondicionado, ventilación, iluminación, instalaciones eléctricas, sanitarias, protección contra incendios, sistemas de traslado de pasajeros, instalaciones especiales (networking, centros de datos, control de accesos, vigilancia, sistemas operacionales, señalamiento de guía, wifi y sistemas de integración), y sistema automatizado de manejo de equipaje.

El Proyecto se ubica en la zona federal del Valle de Texcoco, en el Estado de México, en la región oriente, Municipio de Texcoco, localizado a 14 kilómetros del centro de la Ciudad de México. Al Norte, el terreno colinda con el depósito de evaporación solar “El Caracol”, a sur con la autopista Peñón Texcoco; al Este con terrenos federales y al Oeste con la Autopista Circuito Exterior Mexiquense. El Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México cubrirá un área estimada de 4.430 hectáreas.

Tabla 1. Algunos datos relevantes aproximados. Fuente: CTVM (2017)

Dimensiones	Acero	Cubierta	Transporte
Largo:	1.600 m	Edificio: 165.000 Ton	Foniles: +40.000 barras
Ancho:	600 m	Puentes F.: 10.000 Ton	Cubierta: +600.000 barras
Sup.planta:	310.000 m ²	Cubierta: 20.000 Ton	Envolvente: 400.000 m ²
Sup.Construida:	720.000 m ²	Foniles: 5.000 Ton	Pasillos Móviles:106
			Sist.Equipaje: 32

1.4. El proyecto de arquitectura de la envolvente

El equipo de diseño propuso una estructura en forma de malla reticular para formar la envolvente del edificio de la terminal que alojará a todos los espacios que requiere el programa de operaciones. Siguiendo un concepto de “Único Sistema” inflexiblemente puro que sigue los principios de una catenaria y crea un solo elemento estructural que cubre más de 100 metros de luz soportando todo tipo de cargas y esfuerzos derivados de la formación de la envolvente. Las cargas se transmitirán simplemente por la estructura de la cubierta hasta la estructura inferior utilizando barras convencionales: la envolvente por si misma traslada los

esfuerzos a través de foniles que se van estrechando por la parte inferior hasta el suelo. Este planteamiento no sólo permite lograr unas luces muy amplias, sino que también permite proyectar el espacio de la terminal con más libertad y flexibilidad.

Dentro de la envolvente, existe un sistema estructural independiente que forma todas las losas de suelo y permite desarrollar el programa de necesidades interior. Ambos sistemas se mantienen estructural y visualmente independientes. La estructura de la envolvente “flota” por encima de la superestructura creando y unificando un espacio continuo para el visitante. El exterior del edificio pretende expresar la forma estructural ideal de una malla reticular. Su doble curvatura hace que la envolvente sea más eficiente y contribuye a la expresión arquitectónica del edificio. La piel se situará en el lado exterior de la malla reticular formando una capa continua con propiedades térmicas y una piel impermeable (de la memoria de proyecto).

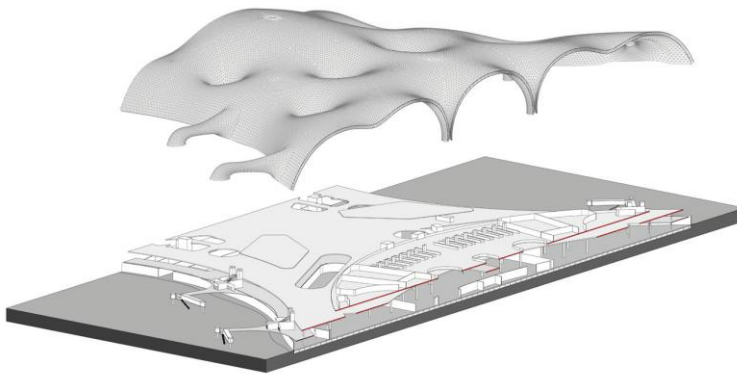


Fig. 2 Vista de la envolvente de la terminal del NAIM (Fuente: memoria del proyecto FP-FREE, 2016)

La doble curvatura es el resultado de un extenso proceso de optimización geométrica. Ello manifiesta la más alta eficiencia estructural y ayuda a acentuar espacialmente y visualmente los espacios internos. No hay ninguna área de la cubierta plana. La doble curvada geometría suavemente pasa desde las ‘áreas de cubierta’ hacia las áreas de la fachada más verticales a lo largo del perímetro y en los foniles. La forma facilita una eficiente descarga del agua de lluvia y granizo, y crea una suave y elegante apariencia global. La envolvente será capaz de afrontar todos los relevantes movimientos de la malla espacial debido a expansiones térmicas, cargas vivas y eventos sísmicos sin comprometer su integridad térmica y su estanqueidad al agua. Ello no implica la aparición visual de juntas de movimiento o expansión, será construido como una piel continua. Todos los movimientos serán acomodados por medio de la flexibilidad de las típicas juntas e interfaces entre sistemas, evitando cualquier riesgo de filtraciones de agua. El diseño de la envolvente está enlazado a la malla espacial estructural. La malla de la capa estructural y la de la envolvente son trianguladas y están coordinadas con respecto a escala y configuración. El edificio terminal no será simplemente revestido usando un sistema independiente de fachada, sino que la geometría de la malla espacial ha sido establecida para ser compatible con las más adecuadas dimensiones de unidades de vidrio aisladas térmicamente y sus asociados recubrimientos. Esto ha sido basado en la búsqueda de mercado para asegurar que la propuesta técnica sea económica y técnicamente viable. Todos los paneles de vidrio aislados térmicamente han sido limitados para encajar dentro de un rectángulo de 2.5m x 3.6m, los cuales pueden ser adquiridos local e internacionalmente (figura 3).

Para simplificar subcontratistas en una obra de dichas dimensiones, se optó por contratar toda la envolvente arquitectónica a una única empresa. Para la evaluación de posibles candidatos a subcontratistas de la envolvente, se realizó un exhaustivo análisis de las propuestas de los licitantes, evaluando capacidad técnica, solvencia, y capacidad BIM como requisito fundamental. Un proyecto con más de 600.000 tipos distintos de paneles, espacialmente en múltiples posiciones, requería de un desarrollo y análisis tridimensional para poder entender y resolver la infinidad de detalles diferentes que se producían en la totalidad del proyecto. Se presentaron tan sólo dos candidatos capaces de afrontar el reto y finamente fue la empresa china YUANDA, la que fue seleccionada para desarrollar los trabajos. Para la estructura espacial

se seleccionó a una de las pocas empresas que podrían resolver la estructura espacial más grande de la historia, la empresa española LANIK, con la que colaborará en el montaje la empresa mexicana GMI.

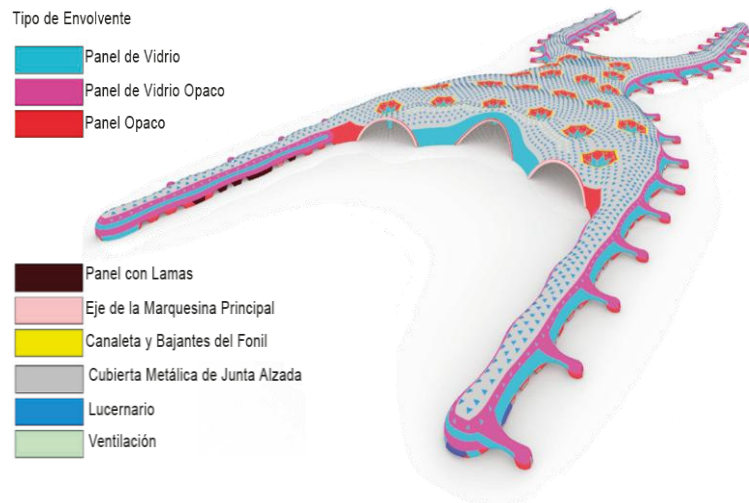


Fig. 3 Tipos de envoltente de la terminal del NAIM (Fuente: memoria del proyecto FP-FREE, 2016)

2. Gestión de la información en obra

2.1. Modelos de diseño frente a modelos de producción

Los niveles LOD que Autodesk (redactor de los requisitos BIM del proyecto) exige en el plan director del proyecto, pasan de un LOD 350 del modelo de diseño (a veces LOD300), a un LOD 400 en la construcción y LOD 500 para la operación y mantenimiento. Es decir, el Cliente ha contratado y por tanto espera, que los modelos se desarrollen totalmente durante la etapa de desarrollo de proyecto y obra, convencido de poder aplicar al mantenimiento del edificio la información real que se ha ejecutado en obra. El equipo BIM del consorcio CTVM ha sido el encargado en desarrollar, para cada una de las disciplinas, los modelos con un nivel de desarrollo de hasta un LOD500 para fabricación, *Asbuilt* y mantenimiento de la futura Terminal del Aeropuerto.

2.2. Base de datos como guía geométrica

La geometría compleja de toda la estructura de cubierta durante el proyecto estaba centralizada en una base de datos SQL. Toda la documentación oficial de la estructura de cubierta del aeropuerto, con la información relevante para la construcción se reducía a una base de datos exportada en un conjunto de ficheros CSV de sólo 60MB, toda la comunicación con otras disciplinas del edificio se realizó a través de *scripts* de *Dynamo* y *Grasshopper* que volcaron la información en modelos 3D (Goldup *et al.*, 2017). Para la construcción, de la misma manera, la única fuente oficial de información para el desarrollo de modelos de la envoltente de Rhinoceros, TEKLA, REVIT y ROBOT siempre fueron las bases de datos, dado que la lista de planos en 2D de proyecto tan sólo eran las reglas de cómo utilizarlas.

2.3. Gestión documental y codificación de un megaproyecto

Toda la comunicación, petición de Solicitudes de Información (SDI) y envío de entregables se realiza en la Plataforma ACONEX de Oracle. Este Entorno Común de Datos (*Common Data Environment, CDE*) es obligatorio en su uso y en la codificación común de la información, la cual controlaban los gestores documentales de cada una de las partes del proyecto. Desde las funciones de CTVM, para la gestión de la información existen dos entornos cerrados dentro de la misma plataforma, un CDE-1 (Cliente-Diseñador-Ingeniería-Supervisión-Constructora) y un CDE-2 (Constructora-Subcontratistas).

2.4. Coordinación de disciplinas

CTVM realiza la coordinación semanal entre los modelos recibidos de los distintos subcontratistas con el Cliente, Supervisión y Arquitecto Maestro, indicando cómo afectan las interferencias y cómo deben realizarse las modificaciones. Estas reuniones de coordinación con todos los implicados, se realizan en el Centro de Integración, Capacitación y Operación BIM del GACM (figura 4), con salas especiales acondicionadas con tecnología y equipos de realidad virtual para previsualizar los modelos federados de todas las disciplinas y de los distintos subcontratistas.



. Fig. 4 Centro de Integración, Capacitación y Operación BIM (GACM, 2018)

2.5. Procedimiento de gestión de la información en obra

- Auditar los modelos recibidos del Arquitecto Maestro con el fin de detectar indefiniciones, incongruencias, errores y omisiones.
- Solicitudes de información (SDI) de todas las carencias o errores de diseño. La constructora por contrato no puede legalmente completar el diseño en este proyecto. Esta fase es muy extensa y compleja, dado que se obliga a revisar planos en CAD provenientes de diferentes modelos sin una clara trazabilidad.
- Resolución a través del Cliente y Supervisión sobre diferencias de criterio respecto del nivel de Desarrollo y Detalle de la información recibida por el Diseñador.
- Fragmentación de los modelos según criterios de tamaño, subcontratista, fase construcción y zona constructiva, con la finalidad de aislar modelos para proporcionárselos a los subcontratistas en función del avance de la obra.
- Emitir y comprobar las estimaciones o mediciones de todos los elementos de obra a partir del Catálogo de Conceptos del contrato, con el fin de disgregar paquetes de licitación a los diferentes proveedores e instaladores que optan a participar a obra, entre los principales de la cubierta, serían la Envolvente modular, Junta Alzada, Estructura Soldada y Estructura Espacial.

2.6. Requisitos BIM

Para cada paquete de licitación se preparan pliegos donde se establecen los requisitos BIM ya previstos en los estándares del cliente, un plan de ejecución BIM desarrollado por AUTODESK para el GACM, y además se incluía un Manual BIM generado por CTVM para cada subcontratista. CTVM exige experiencia previa demostrada, con perfiles BIM que cubran todos los roles (gestión, coordinación, programación, creador de familias complejas y modeladores).

En el Manual BIM propio de CTVM se incorporan los criterios de nomenclatura común, desde la denominación de cada plano hasta cada elemento de modelo, con la utilización de parámetros compartidos

para todo el catálogo de software de modelado, análisis y planificación utilizado, todo ello bajo el control del departamento de Gestión Documental.

La designación de parámetros compartidos se entiende como una base de datos viva coordinada entre todas las disciplinas, sin esta gestión prioritaria y supervisada desde la gerencia BIM es imposible la trazabilidad y coordinación de los cientos de modelos que se utilizan en el desarrollo de la terminal. De la misma forma, esta gestión de parámetros es imprescindible para la obligada automatización de tareas de logística, planificación, estimación, supervisión, etc. de más de 25.000 actividades planificadas.

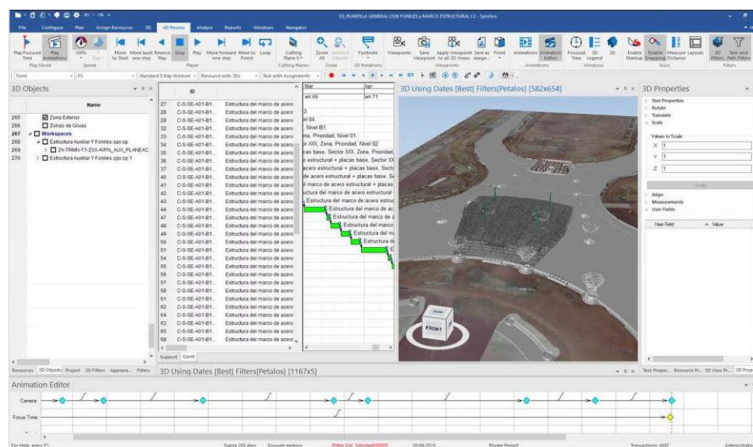
2.7. Desglose de modelos

Sin duda, uno de los apartados más importante de la obra al que nos enfrentamos es la división de modelos, no sólo por el criterio de tamaño, sino por aspectos constructivos y planificación de obra. De este modo cada subcontratista manejaría y avanzaría en su desarrollo lo correspondiente a su contrato y acorde al avance de la obra con modelos más ligeros y sin modificar o intervenir en el trabajo de otros subcontratistas. Este aspecto de la coordinación BIM es la que más depende de la experiencia de los técnicos en las labores de construcción y conocimiento de ejecución de cada disciplina.

3. Fabricación y montaje

3.1. Planificación

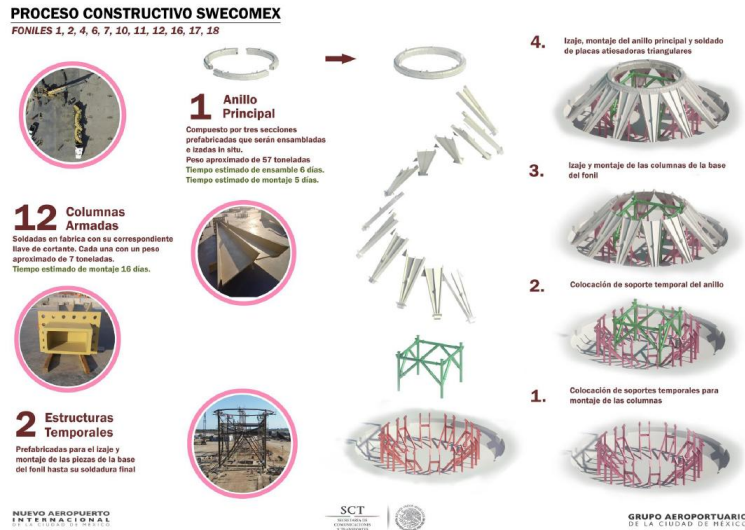
La planificación 5D se realiza mediante el software Synchro (figura 5) a partir de modelos IFC provenientes de Revit, Rhinoceros y TEKLA, permitiendo la coordinación espacial de las más de 25.000 actividades previstas en el programa de planificación del Proyecto realizado con Primavera P6 de Oracle.



. Fig. 5 Vista de la coordinación 5D con Synchro (CTVM, 2018)

3.2. Planificación de montaje y formación a partir de modelos

Uno de los principales usos de los modelos de obra ha sido la formación de los operarios en el montaje de ensambles y la preconstrucción virtual de cada una de las etapas previstas (figura 6) para poder conocer los puntos críticos que se encontrarían los diferentes subcontratistas del proyecto. Esta información está disponible en los dispositivos móviles, los cuales se han convertido en instrumentos muy importantes para la información actualizada de operarios en la obra, donde siempre se podían encontrar las últimas versiones de planos y modelos.



. Fig. 6 Panel de ejecución de foniles para formación de operarios y explicación a cliente (CTVM, 2018)

3.3. Modelos de maquetas

En el alcance de los trabajos de CTVM se encontraba reconstruir a escala real hasta diez maquetas de tramos específicos de las fachadas (figura 7). Desde un sector de fonil, la mitad de un puente fijo de embarque, un tramo de fachada perimetral, un tramo de fachada sur de acceso principal y su marquesina, hasta los lucernarios en tramos de cubierta de junta alzada. Dadas las dimensiones de estas maquetas, algunas de hasta 40 m de altura por 12 m de ancho, se convirtieron en pequeños proyectos en sí mismas, puesto que incluían, no solo los revestimientos arquitectónicos, sino también todas las instalaciones y la estructura, por lo que se hizo esencial la preconstrucción para conocer su viabilidad en modelos. Sobre cada una de las maquetas, se analizó cualquier problemática constructiva no contemplada en el diseño de la envolvente en coordinación con el resto de las disciplinas, reduciendo la repercusión económica de modificaciones sobre la maqueta real.

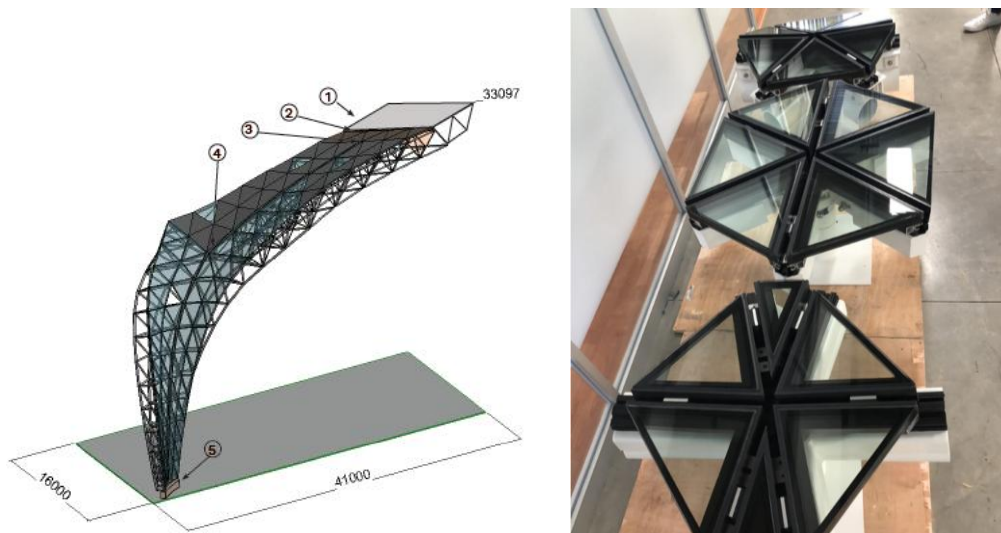


Fig. 7 Maquetas de envolvente en obra (CTVM-Yuanda, 2018)

3.4. Estimaciones y generadores

Para la generación automatizada de estimaciones según los estándares del cliente, que se basaban en el seguimiento de los ensambles, desde su fabricación hasta el montaje, se creó una aplicación propia (figura 8) basada en los elementos de los modelos de fabricación, que emitía automáticamente los planos de estado, así como los informes semanales de planificación.

Nombre	Nº Construcción	Nº Calidad	Zona	Fabricante	Fecha	Peso	Peso Construcción	Peso Calidad	Remanente	Peso Remanente	Estimación
SEC21TR 7540	1	1	ZA1	FOLIZO/8		0.5556	0.5556	0.5556	0	0	0
SEC21TR 5227	1	1	ZC2	CHISA		344.632	344.502	0.290	0	344.290	0
SEC21TR 3445	1	0	ZB1	CAND		1.693	1.693	0	1	1.693	0
SEC21TR 7152	1	1	ZC3	CAND		1.1456	1.1456	1.1456	0	0	0
SEC21TR 7115	1	0	ZA1	FOLIZO/8		0.4544	0.4544	0	1	0.4544	0
SEC21TR 1962	1	1	ZC2	CHISA		279.5445	279.5445	0.5779	0	279.5779	0
SEC21TR 1727	1	0	ZD1	AUX		25.1023	3.1322	25.1023	-7	-21.9671	0
SEC21TR 8271	2	2	ZC2	CHISA		341.4008	341.4008	0.2841	0	341.4285	0
SEC21TR 5063	1	1	ZC3	CAND		0.7207	0.7207	0.7207	0	0	0
SEC21TR 6461	1	1	ZF1	ATECHO		1646.7968	1646.7968	1.6467	0	1646.0901	0
SEC21TR 5481	1	0	ZF1	CAND		0.3534	0.3534	0	1	0.3534	0
SEC21TR 1199	1	1	ZC2	CHISA		105.5003	105.5003	0.0106	0	105.4277	0
SEC21TR 387	1	1	ZC2	CHISA		84.1888	84.1888	0.0084	0	84.1804	0
SEC21TR 3388	1	0	ZB1	CAND		2.2023	2.2023	0	1	2.2023	0
SEC21TR 423	1	1	ZC3	CAND		0.9114	0.9114	0.9114	0	0	0
SEC21TR 120	0	1	ZD1	AUX		2.0306	0	2.0306	1	-2.0306	0
SEC21TR 8209	11	26	ZC2	CHISA		229.3518	229.3518	0.0266	-15	229.275	0

Fig. 8 Aplicación para control y generación de estimaciones (CTVM, 2018)

3.5. Escaneado 3D y nubes de puntos

Debido a las estrictas tolerancias de construcción y complejidad geométrica, la utilización de nube de puntos mediante el escáner 3D ha sido necesaria para el control continuo de ejecución, especialmente en la estructura metálica y de la envolvente, detectar en tiempo real las desviaciones de ejecución y controlar todos los movimientos globales durante la ejecución. Se ha utilizado el modelo de escáner TX8 de Trimble, que permite creación de nubes de puntos georreferenciadas para ser tratadas en software REALWORKS 10.4. (figura 9). En el NAIM, el equipo de topografía es el encargado de hacer la georreferenciación y preparación de las nubes de puntos de cada etapa de montaje, un trabajo nada sencillo debido a la gran cantidad de elementos intermedios que se disponen para la realización de soldaduras en obra. El software de procesado de la nube de puntos permite la exportación a diversos formatos que se puede importar en TEKLA, REVIT y RHINOCEROS.

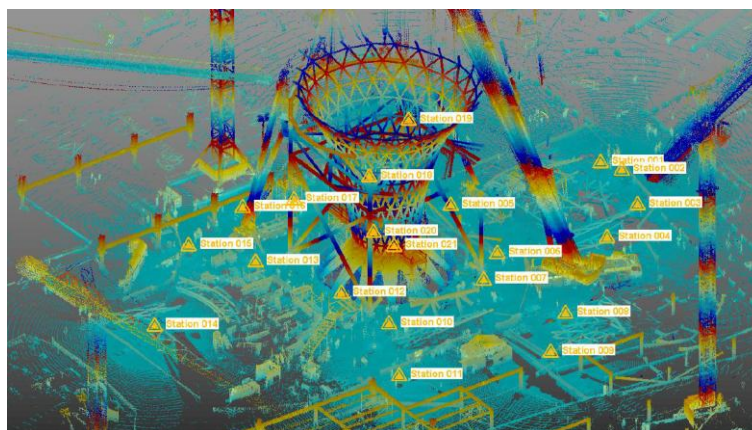


Fig. 9 Situación de estaciones de escaneo en ejecución

4. Conclusiones

Las escasas oficinas técnicas con ingeniería en obra que incorporan BIM en la actualidad suelen ser en proyectos singulares a nivel internacional, con requisitos y estándares BIM que incorpora el cliente en la

licitación desde la etapa de diseño. Este requisito se resuelve con un equipo BIM al servicio de la ingeniería de la oficina técnica de obra, el cual colabora en el desarrollo de entregables y apoya técnicamente en el control de modelos, así como en la elaboración de los modelos *Asbuilt*. En la obra del NAIM se añade una gran complejidad de base por la geometría, ya que todo el proyecto se recibió en una base de datos que generaba cualquier replanteo. Además, existía una gran cantidad de modelos que generaban planos en base a reglas, una planificación 5D que requería la coordinación especial para todas las actividades, la generación de estimaciones para el cliente basadas en una burocracia en 2D y, sobre todo, la fabricación a partir de modelos de precisión. Toda esta complejidad ha convertido al grupo BIM del consorcio en los máximos responsables de la Gestión de la Información y de todo el Proyecto para su ejecución.

Los procedimientos de Gestión de la Información en una obra singular de gran envergadura, y muy especialmente la “paquetización” de la información para distribuir y coordinar entre los múltiples subcontratistas, requiere de un equipo BIM de ingeniería que entienda a la perfección los sistemas constructivos, la lógica de la planificación y la coordinación de disciplinas, esta es la clave para que el equipo sea el líder del éxito en la ejecución de obra.

En la primera fase, se realizó un profundo estudio de la información de modelos, planificando la división, codificación, coordinación que permitiese el trabajo colaborativo y de supervisión de toda la ingeniería con los subcontratistas, incluyendo en el proceso la implementación BIM en los procesos internos y formación a la Ingeniería sin conocimientos BIM previos.

En la segunda fase, los procesos de automatización para la ejecución, estimaciones y desarrollo de entregables a partir de una óptima gestión de la información son imprescindibles para poder ejecutar todas las actividades en el plazo estimado.

La coordinación de la envolvente, de geometría compleja compuesta de vidrio y junta alzada, sobre la mayor estructura espacial realizada en la historia, y que apoya directamente en el perímetro y en grandes foniles interiores, ha sido uno de los mayores retos de fabricación, desde las maquetas reales hasta la fabricación automatizada y montaje en obra. Para cualquier tarea se han utilizado modelos virtuales colaborativos en continuo desarrollo, nubes de puntos para el control de montaje y seguimiento por drones de la secuencia planificada.

5. Referencias

ACONEX, ORACLE. < <https://help.aconex.com/es>> [Consulta: 20 de abril de 2019]

ARUP. Ingeniería estructural de proyecto de NAIM. < <https://www.arup.com/expertise/services/buildings/structural-engineering>> [Consulta: 28 de febrero de 2019]

BARGSTÄDT, H.J. (2015). “Challenges of BIM for Construction Site Operations”, en International Scientific Urban Civil Engineering and Municipal Facilities, SPbUCEMF-2015, Procedia Engineering 117 (2015) 52-59.

DEL SOLAR, P., ANDRÉS, S., VIVAS, M.D., DE LA PEÑA, A., LIÉBANA, O., (2016). “Uso BIM en proyectos de Construcción en España”, en Spanish Journal of BIM, Building Smart S. Ch. 16/01

EYNON, J. (2016). “BIM-ing the Team”, en Construction Manager’s BIM Handbook.

FOSTER+PARTNERS. Arquitectos desarrolladores de proyecto del NAIM. <<https://www.fosterandpartners.com/es/projects/new-international-airport-mexico-city/>> [Consulta: 28 de febrero de 2019]

FR-EE. Fernando Romero Enterprise. Arquitectos desarrolladores de proyecto del NAIM. < <http://www.fr-ee.org/project/5/Mexico+New+International+Airport> > [Consulta: 28 de febrero de 2019]

GOLDUP, K., KOSTURA, Z., TAVOLARO, T., y WOLFE, S. (2017). “Advanced Engineering with Building Information Modelling: Establishing Flexible Frameworks for the Design and Documentation of Complex Buildings” en *Architectural D.*

LANIK. Estructura de Cubierta espacial del proyecto del NAIM. <<http://www.lanik.com/es/soluciones/estructuras-espaciales>> [Consulta: 20 de abril de 2019]

MAHAME, C., BIGIRIMANA, T., KUNDWA, M.J. (2018). "The role of effective collaboration for successful delivery of construction projects", en Streamlining Information Transfer between Construction and Structural Engineering.

NADEEM, A., WONG, A.K.D., AZHAR, S. (2018). "Application of Building Information Modeling (BIM) in Site Management - Material and Progress Control", en Proceedings of the 21st International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate.

REVIT, AUTODESK <<https://www.autodesk.es/products/revit/overview>> [Consulta: 22 de febrero de 2019]

RHINOCEROS, Robert McNeel & Associates. <<https://www.rhino3d.com/es/>> [Consulta: 21 de abril de 2019]

ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS, AUTODESK. Advanced structural analysis software. <<https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>> [Consulta: 22 de febrero de 2019]

SYNCHRO SOFTWARE, BENTLEY. The digital construction platform. <<https://www.synchrold.com/>> [Consulta: 20 de abril de 2019]

TEKLA STRUCTURES, TRIMBLE. BIM Software for structural workflow. <<https://www.tekla.com/products/tekla-structures>> [Consulta: 22 de febrero de 2019]

WHITLOCK, K., ABANDA, F.H., MANJIA M.B., PETTANG, C. Y NKENG, G. (2018). "BIM for Construction Site Logistics Management", en Journal of Engineering, Project, and Production Management 8(1), 47-55.

YUANDA. Envolvente de cubierta del NAIM. <<https://www.yuanda-europe.com/>> [Consulta: 20 de abril de 2019]

Integración BIM en la gestión de construcciones y activos por usuarios NO SÓLO BIM

Martínez-Gómez, David Carlos^a; Alarcón-López, Ivón José^b; Mayoral-Rovira, Javier^c

^a Ibim Twice Building, S.L., Arquitecto, Consultor BIM y CEO ibim. david@ibim.es ^b Ibim Twice Building, S.L., Arquitecto Técnico, Consultor BIM y CEO ibim ivan@ibim.es ^c Ibim Twice Building, S.L., Graduado en Arquitectura Técnica, BIM Developer jmayoral@ibim.es

Abstract

In the synergies that occur with the use of the BIM methodology, agents that do not use BIM modelling tools are helpless to participate in the necessary decisions for the efficiency of the result of any management. The market is mainly developing BIM modeling tools, neglecting, in part, the less technical final recipients, or those who do not have specific training in BIM. Even BIM tools that are not modeling (such as NavisWorks®, IFC viewers...), require learning to navigate and obtain information.

The development of tools that do not require BIM knowledge, and that allow obtaining both graphical and documentary information of the models with easy navigation (without fear of 'breaking' the model) and structured according to concepts that the user has defined allows these users endings do not stay out of the BIM flows. Owners can, from very early stages, obtain information autonomously without having to ask the designer or responsible to send them. You just have to have a tool that allows, in addition to visualizing the models, to obtain the information easily.

This article develops the definition of flows and visualization and management tools for users 'not only BIM'.

Keywords: Construction Management, Facility Management, IFC, BIM Classification Code, Autodesk Forge.

Resumen

En las sinergias que se producen con el uso de la metodología BIM los agentes que no utilizan herramientas de modelado BIM se ven indefensos para participar en las necesarias decisiones para la eficiencia del resultado de cualquier gestión. El mercado está desarrollando principalmente herramientas de modelado BIM, descuidando, en parte, a los destinatarios finales menos técnicos o que no tienen formación específica en BIM. Incluso las herramientas BIM que no son de modelado (como NavisWorks®, visores IFC...), requieren un aprendizaje para navegar y obtener información.

El desarrollo de herramientas que no requieran conocimientos BIM y que permitan obtener la información tanto gráfica como documental de los modelos con una navegación fácil (sin miedo a 'romper' el modelo) y estructurada según conceptos que haya definido el usuario permite a estos usuarios finales no quedarse fuera de los flujos BIM. Los propietarios pueden, desde fases muy tempranas, obtener información de forma autónoma sin tener que pedirle al proyectista o responsable que las envíe. Sólo se debe tener una herramienta que permita, además de visualizar los modelos, obtener la información fácilmente.

En este artículo se desarrolla la definición de flujos y de herramientas de visualización y gestión para usuarios 'no sólo BIM'.

Palabras clave: Gestión de la construcción, Gestión de Activos, IFC, Códigos de clasificación BIM, Autodesk Forge.

Introducción

Según el informe 'Global Construction & Engineering Survey' (1), elaborado por EY tras encuestar a diversos ejecutivos que pertenecen a empresas que, en total, suman unos ingresos de más de 500.000 millones de dólares, el 98% de las empresas de construcción e ingeniería cree necesaria la transformación digital (el 40% considera que son críticas y el 58% afirma que es algo absolutamente necesario), pero muy pocas la están llevando a cabo. Sólo el 28% de los encuestados asegura que su empresa tiene una estrategia y una agenda digitales, mientras que el 56% dice estar diseñando dicha estrategia y el 16% restante ni siquiera cree que esta sea necesaria. En cuanto al abastecimiento financiero para dicha transformación, el 67% confiesa que su empresa destina menos del 1% de su facturación a la digitalización.

¿A qué se debe la disonancia entre la creencia de que la digitalización es necesaria y la ausencia de medidas concretas para caminar en esa dirección? El informe señala varias claves, entre las que cabe destacar principalmente dos: por un lado, la creencia de que la tecnología no es efectiva en el entorno de la construcción; por otro (y quizá como consecuencia de lo anterior), existe una falta de personal capacitado para revisar, implementar y operar las tecnologías digitales.

De cualquier definición de BIM se desprende que es una metodología que pretende estar presente en toda la vida del edificio o infraestructura: diseño, construcción y mantenimiento (2). Tal y como se indica en Building Smart® Spain: "El uso de BIM va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y extendiéndose a lo largo del ciclo de vida del edificio, permitiendo la gestión del mismo y reduciendo los costes de operación." (3)

El acceso tradicional a la información de un modelo BIM es compleja (mediante programas editores de modelos o visualizadores farragosos y poco amigables) y normalmente requiere de alta cualificación a sus operadores (actualmente formación de cursos muy especializados, de posgrado o másteres en la materia); por tanto, obtener la información precisa y adecuada al usuario concreto según la gestión que se pretenda realizar sobre el modelo BIM es un reto muy deseable para cualquier usuario potencial de los modelos, aunque fuera de forma tangencial.

En todo el ciclo de vida de un proyecto BIM siempre encontramos algunas fases, como puede ser la de mantenimiento, en las que algunos de los agentes que participan en el proceso, si bien precisan del uso de la información que proporciona los modelos BIM, no están formados en el manejo de los programas indicados, además de que éstos ofrecen unas herramientas que sobrepasan sus necesidades.

El desarrollo de herramientas que no requieran conocimientos BIM y permitan trabajar con los modelos es fundamental para los usuarios finales. Éstos necesitan herramientas que les proporcionen, no sólo la información asociada a los modelos, sino también la suministrada por bases de datos externas relacionadas con los mismos y documentación aneja asociada, de una manera fácil y personalizada, con la finalidad de obtener únicamente la información necesaria, en el momento preciso, para tomar la decisión más acertada, optimizando así tiempos y costes.

1. Requisitos previos

Debemos partir de la base de que para el buen funcionamiento de cualquier proceso que maneja información, como es el caso de la metodología BIM, es preciso disponer de fuentes de datos que impidan la duplicidad de los mismos y que asegure la integridad de datos. Esto no implica que sólo haya un único origen de datos, sino que una misma información no esté almacenada en más de un lugar, ya que en algún momento alguna de las fuentes no estará actualizada y conllevará errores en la información, así como la inexactitud del contenido de una de ellas.

En metodología BIM se puede distinguir tres fuentes de datos principales: modelo (que aporta información gráfica, geométrica e información no gráfica), base de datos externa (que aporta información no gráfica) y documentación externa (que aporta información de tipos muy variados como datos, gráficos, audiovisual...)

Para facilitar la obtención de datos de los modelos y bases de datos externas, se hacen necesarios una serie de requisitos que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar y modelar. Por un lado, es necesario

trabajar con un sistema de clasificación de objetos que permita posteriormente hacer consultas filtradas de elementos y así poder realizar operaciones con ellos. Por otro lado, puesto que los modelos pueden proceder de distintos programas de creación, es necesario disponer de un formato de archivo que todas las herramientas sean capaces de generar y así poder realizar consultas de manera estandarizada.

1.1. Sistemas de clasificación

La necesidad de estructurar los proyectos y procesos constructivos ha hecho que, desde hace años, se hayan ido desarrollando distintos sistemas de clasificación estándar.

En estos sistemas se ha ido englobando, con el tiempo, diversos aspectos del proceso constructivo como clasificación de productos, funciones, espacios, sistemas para facilitar la gestión de activos y operación-mantenimiento...

1.1.1. Sistemas de clasificación estándar

Existen diferentes métodos de clasificación como Uniformat™ II 2015 (4), OmniClass™ OCCS (5), UniClass 2015 (6), GuBIMClass (7)... que permiten organizar y recuperar la información introducida en los modelos.

Cada sistema de clasificación elige sus propios criterios para codificar los objetos y, en muchas ocasiones, se agrupan por entidades, actividades, funciones, espacios/localizaciones, elementos, sistemas, productos...

Normalmente los sistemas de clasificación suelen usar una codificación jerárquica de distintos niveles (lo más común son 3 ó 4 niveles), de manera que permite elegir el grado de precisión que se desea. Se basan en la norma ISO 12006-2 (8).

Estos sistemas están cerrados a dicha estructura de clasificación que cada organismo responsable de su creación ha considerado oportunos para su sistema.

Figure 1 - ASTM UNIFORMAT II Classification of Building Elements (E1557-97)		
Level 1 Major Group Elements	Level 2 Group Elements	Level 3 Individual Elements
A. SUBSTRUCTURE	A10 Foundations	A1010 Standard Foundations A1020 Special Foundations A1030 Slab on Grade
	A20 Basement Construction	A2010 Basement Excavation A2020 Basement Walls
B. SHELL	B10 Superstructure	B1010 Floor Construction B1020 Roof Construction
	B20 Exterior Closure	B2010 Exterior Walls B2020 Exterior Windows Exterior Doors
	B30 Roofing	B3010 Roof Coverings B3020 Roof Openings
C. INTERIORS	C10 Interior Construction	C1010 Partitions C1020 Interior Doors C1030 Specialties
	C20 Staircases	C2010 Stair Construction C2020 Stair Finishes
	C30 Interior Finishes	C3010 Wall Finishes C3020 Floor Finishes C3030 Ceiling Finishes

Fig. 1 Muestra parcial de tabla de clasificación UNIFORMAT II.
Fuente: <http://www.uniformat.com/index.php/classification-of-building-elements>

1.1.2. Clasificación mediante parámetros personalizados

El uso de parámetros personalizados en el modelo facilitará hacer una clasificación abierta, creada expresamente para cubrir las necesidades del usuario, sin la necesidad de cumplir con los requisitos de sistemas de clasificación cerrados como los comentados anteriormente; pudiéndose categorizar por conceptos que, fuera de sistemas prefijados, son importantes para el usuario.

El sistema de clasificación personalizado, basado en parámetros, consigue una generalización y permite una flexibilidad de organización que además es dinámica, abierta a la adaptación al usuario que, en función de sus exigencias en cada momento, independientemente de su responsabilidad (diseñador, promotor, constructor, mantenedor, departamento de ventas...) e independientemente del tipo de infraestructura (edificio residencial, edificio público, infraestructura ferroviaria, infraestructura aeroportuaria...), podrá conseguir la composición que precise en cada momento.

Un sistema de clasificación personalizado puede requerir la incorporación de parámetros que, en el ejemplo de una promoción inmobiliaria, indiquen:

- identificación de una vivienda: bloque, escalera, planta, tipo...
- características de las viviendas: orientación, superficie, número de dormitorios, baños, terrazas cubiertas y descubiertas...
- personalización de acabados: tipo de revestimiento de suelos/paredes de cocina y baños, tipo de mobiliario de cocina, tipo de carpintería, tipo de pintura...
- datos de venta: en venta/reservado/vendido, datos de comprador, fecha y precio de venta...
- características de instalación: sistema al que pertenece, caudal, potencia...
- ...

El orden de estos parámetros, a la hora de filtrar, puede generar un orden jerárquico, pero siempre con la ventaja de que sea el usuario final el que determine cuál es esa jerarquía.

Siguiendo con los parámetros del ejemplo anterior, se podría jerarquizar de cualquier manera combinando los datos disponibles:

- Por tipo de revestimiento de suelos, bloque, escalera, planta, tipo
- Por bloque, escalera, tipo de revestimiento de suelos, planta, tipo
- Por datos de venta: en venta/reservado/vendido, bloque, escalera, planta, tipo
- Por número de dormitorios, orientación, planta

Propiedades	Localización	Clasificación	Nombre	Valor	Unidad
Element Specific					
Cotas					
Datos					
			Apto_Escalera	Esc. 01	
			Apto_Planta	Planta 17	
			Apto_Puerta	Pta. 01	
			Apto_Torre	Torre 1	
			Apto_Vivienda	Viv. A17	
			MG_AreaConstruidaTotal	124,178098	m2
			MG_ClasificadorVivienda	Viv. A17Torre 1	
			MG_NumBañosText	2	
			MG_NumDormitorioText	3	
			MG_PuertaGlobal	33	
			MG_SupTipo01	ZONAS PRIVATIVAS	
Datos de identidad					
Datos de identidad					
Otros					
Otros					
Proceso por fases					
Pset_BuildingElementProxyCommon					
Restricciones					

Fig. 2 Ejemplo de parámetros personalizados en modelo IFC. Fuente: Elaboración propia.

1.2. Estándares abiertos

El uso de estándares abiertos, como el IFC (estándar de intercambio de modelos BIM, norma ISO 16739 (9), que recoge tanto la geometría de los elementos como su información asociada y relacionada) abre la puerta al desarrollo de herramientas que se comuniquen 'hablando un mismo idioma'. Desde cualquier programa de modelado BIM se puede exportar a este formato y garantizar que se pueda generar un formato homogéneo donde cada elemento esté correctamente categorizado o clasificado (muros, puertas, ventanas, instalaciones...) y tenga una estructura de datos ordenadas según las necesidades del cliente.

En el formato IFC, se puede juntar los parámetros en grupos, llamados 'Property Sets', que permiten identificar más fácilmente los parámetros introducidos en el modelo según el dato que se desee obtener en cada momento.

2. Flujo de trabajo

Desde nuestra experiencia proponemos un flujo de trabajo que parte del 'Plan de Ejecución BIM' o 'BIM Execution Plan' (BEP) de proyecto en fase de diseño, definido a partir de los requerimientos del cliente.

En este documento se define la tipificación de los distintos elementos que componen el modelo en función de los usos que se pretenda dar a los modelos y la información asociada.

Dado que el modelo BIM está presente durante la existencia de la infraestructura, en cualquiera de las fases de la vida del modelo, es posible crear los parámetros necesarios para cumplir los requisitos del propietario o cualquiera de los agentes que lo precisen, pero hay que considerar la importancia de distinguir los datos que se van a almacenar en el modelo, que deberían ser los que atañen principalmente a la geometría y que se tiene una certeza, en mayor o menor medida, de que no van a cambiar en el tiempo; de los datos que van a variar o que se pueden ampliar en fases posteriores a la de diseño. Con esta reflexión podremos organizar la información de manera más eficaz. Debemos minimizar, sobretodo en la fase de mantenimiento, la necesidad de editar los modelos y limitar esta acción sólo a lo que precise modificar su geometría; y hacer uso, para los datos cambiantes, de bases externas.

Al exportar a IFC desde un programa de modelado, además de las propiedades definidas en el estándar IFC, se envían las propiedades personalizadas, que serán agrupados en 'Property Sets' correspondientes a las clasificaciones prescritas en el BEP para una mayor facilidad de búsqueda y uso.

3. Aplicación visor web

El desarrollo de herramientas que utilicen estándares abiertos como IFC y que, además, se ejecuten en la nube, a través de navegadores web, darán más posibilidades de empleo del BIM a aquellos usuarios menos técnicos y familiarizados con esta tecnología.

Estas herramientas permitirán hacer consulta de modelos y datos asociados de manera personalizada, lo que redundará en el desarrollo de su trabajo más eficaz y fácilmente. Su uso no permitirá la edición del modelo, evitando la posibilidad de corromperlo y brindando siempre la información asociada al mismo.

En la actualidad existen visores en línea como Autodesk® Forge que ofrecen una API que permite su uso y personalización. Además, al tratarse de tecnología web, hay un amplio abanico de herramientas disponibles para la creación y adaptación de la aplicación, de manera que se pueda presentar la información de distintas formas, ajustándose a los requerimientos de cada usuario.

En IBIM BUILDING TWICE, S.L. (en adelante IBIM) hemos desarrollado una aplicación web que, haciendo uso del visor Autodesk® Forge, se puede personalizar a las necesidades del cliente. El objetivo es poder crear un proceso de trabajo lo más estándar posible, para permitir al usuario final la configuración que más de adecue a sus requisitos. Para ello, la aplicación maneja tanto los datos existentes en el propio modelo como los de bases de datos externas y documentación asociada.

El desarrollo se ha realizado utilizando los lenguajes de programación PHP (del lado servidor) y Javascript (del lado cliente).

A partir de la clasificación por parámetros que se incluye en los datos del modelo o fuentes externas, se crea una interfaz que permite filtrar los elementos y presentar de manera jerárquica, mediante vistas en árbol o bien mediante listas, el sistema de filtrado y selección y posteriormente mostrar al usuario los datos resultantes y realizar distintas operaciones con los elementos y la información ligada en modelo, base de datos externas y documentación asociada (selección de elementos y consulta de datos internos/externos,

asignación de valores para guardar en base de datos externa, asignación de documentación a los elementos del modelo...)

En lo que se refiere al listado de documentación asociada, éste se genera desde el modelo, con una aplicación también desarrollada por IBIM, que la exporta a formato de archivo HTML (legible en navegador web) con hipervínculos de acceso a los documentos; lo que permite visualizar en la misma aplicación web los documentos PDF, hojas de cálculo, fotografías, videos, imágenes 360°...

En síntesis, la aplicación tiene las siguientes características:

- Amigabilidad: fácilmente usable por personal con o sin amplia formación informática (encargados, operarios, ingenieros de obra, arquitectos de oficina técnico, oficiales, capataces...)
- Versatilidad y compatibilidad con otros programas informáticos
- Fácilmente portable a código abierto (openBim™)
- Bidireccionalidad
- Accesibilidad a la aplicación mediante navegador web, tanto en PC como en dispositivos móviles con acceso a internet
- Funcionamiento correcto en dispositivos de capacidades medias (requisitos de equipo informático poco exigentes)

4. Casos de uso

Los visores web tienen utilidad en múltiples marcos, de los que cabe mencionar: gestión de la construcción, gestión de activos, gestión de sistemas...

Con el avance de la tecnología se hace cada vez más necesaria la comunicación de los modelos BIM con los sistemas de gestión de mantenimiento asistido por ordenador (GMAO) que manejan la información de las empresas y sus operaciones de mantenimiento, principalmente gestión de activos, control de inventarios, mantenimiento preventivo, órdenes de trabajo... o con programas de Supervisión, Control y Adquisición de Datos (SCADA, acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition).

Con una herramienta como la creada por IBIM se facilita el flujo bidireccional entre las bases de datos de mantenimiento y gestión, y los modelos BIM.

A modo de ejemplo, en esta comunicación introduciremos dos casos de uso en los que ha trabajado recientemente IBIM, que engloba distintas fases del ciclo de vida del inmueble o infraestructura:

- Caso 1: Edificio residencial en bloque exento
- Caso 2: Infraestructura ferroviaria

En el primer caso nos centramos en la fase de comercialización de las viviendas de la promoción y en el segundo en la gestión de construcción y mantenimiento de las infraestructuras.

Tras estudiar las necesidades del cliente se trabajó en la estructura de los datos en los modelos. Por un lado, se tuvo en cuenta la creación de los parámetros, en función del software de modelado utilizado; y por otro, la estructura de los datos en el formato estándar IFC, con sus conjuntos de propiedades.

En el caso del modelado en Autodesk Revit© es necesario decidir adecuadamente los parámetros que corresponden a tipo o ejemplar, así como a qué categorías les aplica cada uno de ellos. Esta decisión es importante a la hora de exportar los datos a IFC.

4.1. Caso 1: Comercialización de edificio residencial en bloque exento

Uno de los escollos que se encuentra una promotora-inmobiliaria, al comercializar sus productos es la introducción manual de datos de cada una de las distintas promociones; tarea que resulta tediosa y complicada. Sin una herramienta integrada, los datos introducidos para cada promoción no se pueden relacionar entre ellos y, por supuesto, tampoco entre distintas promociones.

El uso de BIM con una herramienta como la propuesta facilita el consumo de datos desde el modelo e incluso el volcado automático de información a una base de datos externa, una gestión integrada de cada promoción y una relación de datos entre todas las promociones.

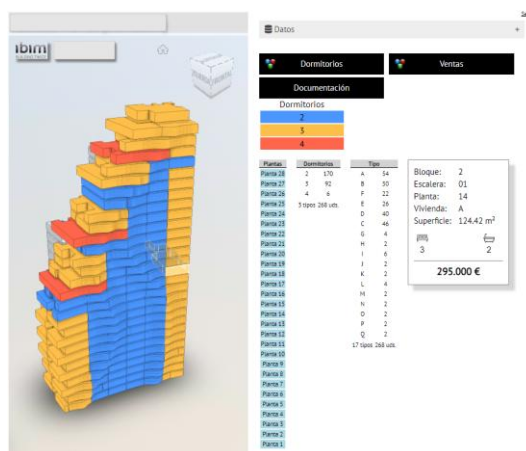
Con la aplicación web de IBIM, a partir del modelo y con las herramientas de selección potenciadas en la misma, es posible consultar los datos asociados a los elementos del modelo (habitaciones, baños, tipo de vivienda...) o realizar acciones sobre espacios (consultar viviendas en venta/reservadas/vendidas, asignación de documentación externa...).

Asimismo, existe una conexión del modelo con la base de datos externa y la documentación asociada quedando, en todo momento, la posibilidad de consultar cualquier dato relacionado con los elementos seleccionados en el modelo o guardar datos a partir de la selección realizada.

Otra ventaja que aporta la herramienta es la capacidad de aprovechar los datos que contiene el modelo para dar de alta en la base de datos, de forma masiva, objetos del modelo, con las propiedades de localización (edificio, escalera, nivel, habitación...), propiedades de superficies y orientaciones...

La base de datos se actualiza automáticamente con el modelo BIM, y se relaciona con el visor del modelo, pudiéndose mostrar, en la misma aplicación web, tanto datos obtenidos directamente del modelo, como datos relacionados obtenidos de la base de datos externa y la documentación asociada (contrato con clientes, recibos a cuenta, videos, imágenes 360°, planos de venta, memoria de calidades, catálogo de personalización de acabados...)

En cualquier momento el usuario puede consultar, mediante filtrado, las características de los elementos que desee, así como alimentar la base de datos que serviría, por ejemplo, para generar la página web de ventas de inmuebles. Siempre contando con la fiabilidad de que los datos expuestos se corresponden con lo diseñado en el modelo y con la eficacia de introducir únicamente una vez los datos.



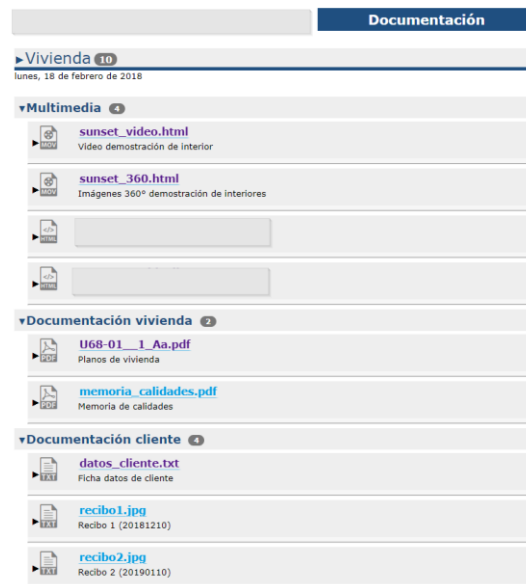


Fig. 4 Muestra de listado de documentos departamento de ventas. Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de IBIM proporciona un proceso de trabajo unificado para los arquitectos proyectistas y los agentes inmobiliarios o promotores que resulta más simple y con base de modelos BIM, permitiendo:

- La sincronización en tiempo real de la información de las bases de datos con los modelos BIM.
- La unión de BIM en la gestión inmobiliaria: Obtener fácilmente la información correcta, en el momento preciso, a la persona adecuada, para tomar la mejor decisión.

4.2. Caso 2: Gestión de construcción y mantenimiento de infraestructura ferroviaria

Para cualquier entidad, pública o privada, es vital gestionar correctamente tanto la construcción como el mantenimiento de sus infraestructuras.

En este segundo caso de uso nos encontramos con la necesidad de supervisar la construcción de una infraestructura ferroviaria y gestionar su mantenimiento posterior. Dicha infraestructura comprende los edificios propios de las estaciones en superficie y subterráneas, y las obras lineales.

La introducción de los parámetros en los modelos requirió una exhaustiva planificación previa para optimizar aquellos que serían necesarios en cada fase (construcción y mantenimiento).

Partiendo del modelo aportado con el proyecto de ejecución, se introdujeron los parámetros que se consideraron necesarios para la fase de construcción (datos de control de calidad, fases de ejecución previstas/ejecutadas/certificadas...) y para la fase de mantenimiento (características técnicas de instalaciones, emplazamiento, garantías...)

Para la fase de construcción se desarrolló un complemento para la aplicación web que permitía hacer uso de parámetros que identificaban las fechas previstas de ejecución, de cuándo se ejecutaron realmente y de cuando se certificaron y mostrar gráficamente los elementos en el modelo que cumplieran con las condiciones, permitiendo hacer una simulación del avance de obra en el tiempo, todo ello en el propio visor que se integra en la aplicación.

Por supuesto, las operaciones básicas de búsqueda y filtrado de elementos son posibles partiendo de los parámetros del modelo, datos externos y la combinación de los mismos. Así, se puede filtrar y buscar elementos que cumplan distintas condiciones en función del valor de los parámetros que seleccione el usuario.

Otro requerimiento del cliente era poder consultar desde el modelo los datos que se generaban en su sistema de planificación de recursos empresariales (ERP, por sus siglas en inglés, Enterprise Resource

Planning). Desde la aplicación web de IBIM, es posible conectar con la base de datos de su ERP y leer los datos relacionados con los elementos seleccionados en el modelo. Para ello, dadas las medidas de seguridad informática que el cliente debía cumplir, éste nos proporcionó un punto de entrada para consulta de su base de datos que permite acceder a la información y mostrarla en la interfaz de la aplicación web.



Fig. 5 Muestra de visor web en fase de construcción. Fuente: Elaboración propia.

Para la fase de mantenimiento, además de poder localizar elementos para consulta de información en el visor, se añadió la funcionalidad de resaltar los elementos del modelo que tenían alguna incidencia abierta en el ERP con lo que resulta fácilmente identificable y ubicable el objeto en cuestión.

En todas las fases del proceso se tiene acceso, en función de la etapa y perfil de usuario registrado, a la documentación asociada de los elementos.



Fig. 6 Muestra de documentación asociada a un elemento. Fuente: Elaboración propia.

La aplicación de IBIM proporciona un proceso de trabajo unificado para los técnicos proyectistas, los agentes de la propiedad de la infraestructura y mantenimiento que resulta más simple y con base de modelos BIM, permitiendo:

- La sincronización en tiempo real de la información de las bases de datos con los modelos BIM.
- Relación de datos entre el modelo y el ERP.
- La presentación de datos e información gráfica de manera dinámica, con posibilidad de identificar elementos con incidencias.

- La unión de BIM en la gestión de la construcción y mantenimiento: Obtener fácilmente la información correcta, en el momento preciso, a la persona adecuada, para tomar la mejor decisión.

5. Conclusiones

Las experiencias vividas en los casos mencionados en esta comunicación afianzan nuestra convicción de la necesidad de que haya herramientas personalizadas, que trabajen con formatos de archivos estándar abiertos, en plataformas 'en línea' accesibles desde un dispositivo con navegador web conectado a internet.

Trabajando con archivos de estándar abiertos, como IFC, se consigue unificar los modelos finales, independientemente del software utilizado para generar los modelos de origen.

El uso de plataformas 'en línea' facilita el acceso a cualquier usuario autorizado a la información que precise en cada instante, sin necesidad de software complejo, adaptado al cliente con las funcionalidades personalizadas adaptadas al uso que requiera. Toda la información es accesible desde un navegador web, con una interfaz amigable.

La reacción de los usuarios que han manejado la aplicación ha sido satisfactoria, tanto de profesionales con experiencia de uso de herramientas BIM, como con aquéllos que no habían trabajado con esta metodología, gracias a que se ha procurado siempre hacer la aplicación para que cumpla con los requerimientos justos para cada perfil de usuario, sin saturar con opciones que, en muchos casos, apenas se utilizan. La opinión general de quienes lo han utilizado es que les facilita la consulta y manejo de datos cuando los necesitan, de manera efectiva, sin temor a tener datos duplicados o desfasados y, en consecuencia, les ayuda a tomar decisiones de manera eficaz y rápida.

La conexión de datos que no están en el modelo pero que sí tienen relación con éste, es otra de las características que potencian el uso por agentes no expertos en BIM.

6. Ámbito de mejora

Evidentemente, el trabajo realizado hasta el momento es satisfactorio y somos conscientes de las posibilidades que tienen este tipo de herramientas. De hecho, en los casos mencionados en este documento, ya se tienen previstas algunas mejoras:

- Caso 1
 - Generar información de ventas a partir de los datos del modelo y base de datos, con datos actualizados en el instante
 - Posibilitar a los clientes personalizar los acabados de las viviendas y mostrar gráficamente en el modelo del visor el aspecto de dichos acabados
 - Paseo virtual por el interior de las viviendas, mediante gafas de realidad virtual
 - Integración con la página WEB de ventas
- Caso 2
 - Modificar datos del ERP desde la aplicación web mediante el uso de 'webservice' que permita conectar de manera bidireccional el modelo con la base de datos

Otra mejora, en la que se está trabajando, es la incorporación de incidencias o comentarios con BCF, permitiendo la comunicación entre los agentes señalando de manera inequívoca a que elemento, o elementos se hacen referencia (10). BCF es un formato Open BIM adoptado como un estándar por Building Smart International (11).

Respecto a las bases de datos externas, si bien se ha utilizado hasta el momento del tipo relacional, viendo la constante variación de datos que se precisa almacenar y que los mismos no tienen una estructura cerrada (algo que se ha buscado desde el primer momento, para facilitar la estandarización) se está barajando la posibilidad de utilizar bases de datos no relacionales, como MongoDB, que proporcionan esa versatilidad y sobretodo, mayor facilidad para realizar este tipo de almacenamiento de datos heterogéneo.

7. Referencias

1. EY. Global Construction & Engineering Survey. [En línea] 2018. [Citado el: 5 de Marzo de 2019.] [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Digital-survey/\\$File/EY-Digital-survey.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-Digital-survey/$File/EY-Digital-survey.pdf).
2. ALARCON-LOPEZ I., MARTINEZ-CAVA, J.L y MARTINEZ-GOMEZ D. BIM COMO BASE DE DATOS AL SERVICIO DEL CICLO DE VIDA DEL EDIFICIO. *EUBIM. ENCUENTRO DE USUARIOS BIM 2014. 2º CONGRESO NACIONAL BIM (ISBN: 978-84-9048-234-6)*. s.l. : UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, 2014, págs. 77-88.
3. Smart, Building. Building Smart Spain. [En línea] [Citado el: 5 de Marzo de 2019.] <https://www.buildingsmart.es/bim/>.
4. INTERNATIONAL, ASTM. UNIFORMAT II. [En línea] [Citado el: 5 de Marzo de 2019.] <http://www.uniformat.com>.
5. CSI. OmniClass. [En línea] 28 de Marzo de 2006. <http://www.omniclass.org/>.
6. CPIC. CPI Uniclass2 (Development Release). [En línea] 3 de Diciembre de 2013. [Citado el: 5 de Marzo de 2019.] <https://www.cpic.org.uk/uniclass2/>.
7. Cataluña, Grupo de Usuarios BIM de. GuBIMClass – Sistema de clasificación de elementos BIM creado por el GuBIMCat. [En línea] Julio de 2017. [Citado el: 5 de Marzo de 2019.] <https://gubimclass.org/es/>.
8. Standardization, International Organization for. ISO 12006-2:2015. *Building construction -- Organization of information about construction works -- Part 2: Framework for classification*. [En línea] Mayo de 2015. [Citado el: 5 de Marzo de 2019.] <https://www.iso.org/standard/61753.html>.
9. ISO 16739-1:2018. *Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries -- Part 1: Data schema*. [En línea] Noviembre de 2018. [Citado el: 5 de Marzo de 2019.] <https://www.iso.org/standard/70303.html>.
10. Cruz, Ignacio de la. buildingSMART Spanish Chapter,. [En línea] 07 de 05 de 2018. <https://www.buildingsmart.es/2018/05/07/bcf-mejorando-la-comunicaci%C3%B3n/> [Consulta: 08/03/2019].
11. MARGALEF, AGUSTÍ JARDÍ. APOGEA VIRTUAL BUILDING. [En línea] 19 de 08 de 2015. <http://www.apogeavirtualbuilding.com/el-bcf-como-formato-openbim-para-la-colaboracion/> [Consulta 08/03/2019].

Construcción sin planos: BIM en estructuras complejas

Liébana Carrasco, Oscar^a; Miguel Patiño, Fabio^b, Lerma Córdova, Alan^c; Kostura, Zak^d

^aProject Manager estructural ACCIONA México, FCC Construcción – oliebana@gmail.com , ^bCoordinador BIM estructuras CTVM – fabio.miguel@ctvm.com.mx, ^cApplication Consultant TRIMBLE - alan.lerma@trimble.com y

^dAssociate, ARUP – zak.kostura@arup.com

Abstract

The Structural Drawing, as a two-dimensional, scaled representation of a structure will make no sense in the mid-term within the digitalization of the construction environment, if not for habit or difficulty affronting change. The Funnels that support the space frame of the New Mexico City Airport are the most representative structural elements of the Project. Due to their geometric complexity, demand the use of BIM models from their conception, fabrication, erection and execution control. Pipe cutting is taken directly from the model, where the information is sent to the plasma cutting machines. This process makes fabrication drawings unnecessary. Additionally, the virtualization and automatic coding allow complex estimating results, continuous structural analysis of each erection phase, and the use of cloud points for topographic control and as-built model generation. This process makes the use of drawings obsolete, which will continue for a while with printing partial views even on paper. A more mature BIM is incompatible with drawings as we know them today.

Keywords: structures, Tekla, steel, point cloud, fabrication, erection, NAIM, funnel, 3D scanner, HGG

Resumen

El plano como representación en dos dimensiones a escala de una estructura no tendrá sentido a medio plazo dentro del proceso de digitalización de la construcción, a no ser por la costumbre o la dificultad de afrontar el proceso de cambio actual. Los Foniles que soportan la cubierta espacial del futuro Aeropuerto de México, son los elementos estructurales más representativos del proyecto que, por la complejidad geométrica, exigen la utilización de modelos BIM desde su concepción, fabricación, montaje y control de ejecución. Los cortes de los tubos se realizan directamente desde el modelo tridimensional, que envía la información a las máquinas de corte por plasma, siendo innecesarios los planos de taller para la fabricación. Además, esta virtualización y codificación automatizada permite obtener resultados de estimación complejos, el análisis estructural continuo de las fases de montaje, así como la utilización de nubes de puntos para el control topográfico y la creación de modelos as built. Todo este proceso evita la utilización de planos, que continuará durante un tiempo, con la impresión de vistas parciales incluso sobre papel, pero un nivel de madurez avanzado en BIM es incompatible con la existencia de planos tal y como los hemos conocido hasta ahora.

Palabras clave: estructuras, Tekla, acero, nube de puntos, fabricación, montaje, NAIM, fonil, escáner 3D, HGG

Introducción

Gran cantidad de estudios del sobrecoste en la construcción mencionan los errores u omisiones de diseño que provocan retrasos y trabajos duplicados en obra, con porcentajes por encima del 50% del aumento total del presupuesto (Love P. *et al*, 2012), y el hecho de no descubrirlo al comienzo del proceso de desarrollo puede aumentar aún más el impacto en el desempeño del proyecto (Li T. *et al*, 2014). Muchos de los errores de proyecto y su desarrollo provienen de información incorrecta, desactualizada o desconocimiento de datos, y en proyectos de gran singularidad esta situación se acentúa. La manera convencional de documentar los grandes proyectos siempre ha sido en colecciones de planos en 2D y especificaciones que necesitan un fuerte seguimiento y coordinación, con inevitables malentendidos en la información que provoca pérdida de tiempo y dinero (Goldup K. *et al.*, 2017).

Desde los primeros estudios de expertos en desarrollo de la industria de la construcción, ya se destacó que la necesidad de implantación BIM no era en una simple promoción tecnológica, sino la necesidad de un cambio del proceso de negocio, y por tanto, la información debía gestionarse de modo holístico (Howard R. *et al.*, 2008). BIM principalmente permite una gestión consistente de la información, una herramienta imprescindible para gestión del ciclo de vida de la construcción actual, aunque todavía esta gestión rara vez es aplicada en la planificación de obra (Song S., 2012). Entre las razones de la mínima implantación BIM en obra y desde esta filosofía de gestión, siempre se repite la inevitable cultura de la resistencia al cambio y la reluctancia a compartir información. En todos los estudios científicos que se han medido los *KPI* o indicadores clave del desempeño en proyectos BIM, los mayores costes sobrevenidos en la construcción siguen siendo el gasto debido al control de cambios y la capacidad de actualización de la información (Edie R., *et al*, 2013).

En el desarrollo del Proyecto del Nuevo Aeropuerto Internacional de México (NAIM) los técnicos estructurales buscaron constantemente nuevas maneras de almacenar y gestionar grandes volúmenes de datos. En este caso extremo, ha sido más eficiente manipular bases de datos que conecten con el entorno BIM directamente, utilizando programación y herramientas que generen las geometrías complejas en software de modelado y herramientas de análisis. Este traslado directo como única fuente de información reduce los errores y permite análisis no determinados con procesos iterativos en los cálculos de mallas complejas (Goldup K. *et al.*, 2017).

En cuanto a la eliminación de los planos como documentación del proyecto fin de obra o *Asbuilt*, la transformación de datos de nubes de puntos a modelos tridimensionales comienza a ser un método viable para el uso de BIM en estructuras existentes. Sin embargo, las soluciones hasta la fecha todavía son costosas, consumen mucho tiempo y tienen una labor humana intensa. Los métodos a medio plazo pasan por automatizar los procesos para reconstruir automáticamente las mallas estructurales existentes (Laefer D. *et al*, 2017). Dado el impacto económico que supondría, es un tema clave para todos los agentes de la construcción, el futuro próximo de la generación automática de modelos *Asbuilt* pasa por el desarrollo del reconocimiento inteligente de objetos en proyectos multidisciplinares (Pétrucean V. *et al*, 2015).

1. Introducción al proyecto del NAIM

El proyecto original de Foster+Partners, FR-EE y NACO del Nuevo Aeropuerto Internacional de México tendrá 743.000 m² y será uno de los más grandes del mundo con un diseño revolucionario. El edificio de la terminal se cubre completamente con una estructura continua ligera espacial, unificando muros y techo en una forma fluida que evoca el vuelo de los aviones. Las luces de más de 100 metros, tres veces las de un aeropuerto convencional, tiene una escala monumental inspirada en la arquitectura y simbolismo mexicano. La máxima luz interior es de 170 metros. Las instalaciones dan servicio desde abajo, lo cual libera el techo de conductos y permite una estructura que aprovecha el poder del sol, recoge el agua de lluvia por los grandes foniles de apoyo, proporciona sombreado, dirige la luz del día y permite vistas, todo mientras logra una envolvente de alto rendimiento que cumple con altos estándares térmicos y acústicos.

Los Foniles (figura 1) son 21 gigantes columnas de celosía de tubos de acero circular cuya geometría se deriva de la superficie funicular del techo y proporcionan soporte a la cubierta. Es una estructura completamente soldada formando una rejilla en diagonal unida por unos bucles circulares de secciones tubulares huecas. Los foniles dan soporte a la carga gravitatoria y lateral, con gran rigidez y restricción al giro en la base. En esta base de fonil existe una estructura de soporte compuesta de perfiles laminados que reparten la carga e impiden la reacción de vuelco, eliminando la necesidad de proporcionar una cimentación con mayor espesor debajo de los soportes del techo. Además, esta configuración de soporte permite el flujo de aire necesario para el uso de los foniles en la estrategia de ventilación del edificio. En contraste con la cubierta espacial, el fonil es una estructura de una sola capa junto a la de la envolvente y la transición entre ambos se resuelve en el nivel superior de las diagonales de foniles, que se bifurca para conectar ambas capas del techo del marco espacial al bucle más elevado en el ensamble de foniles (extracto de la memoria del proyecto de FP-FREE-Arup).



Fig. 1 Vista inferior del fonil (CTVM, 2018)

2. BIM para fabricación

2.1. Modelado de la geometría compleja

El equipo BIM del consorcio CTVM ha sido el encargado en desarrollar, para cada una de las disciplinas, los modelos con un nivel de desarrollo de LOD300 del proyecto hasta un LOD500 para fabricación, *as built* y mantenimiento de la futura Terminal del Aeropuerto. La geometría compleja de toda la estructura de cubierta durante el proyecto estaba centralizada en una base de datos SQL (figura 2).

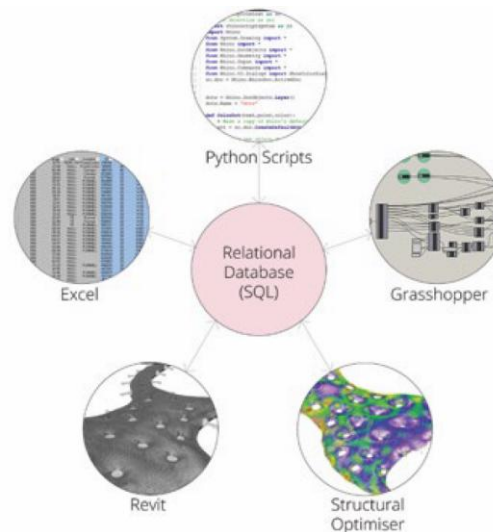
Toda la documentación oficial de la estructura de cubierta del aeropuerto, con la información relevante para la construcción se reducía a una base de datos exportada en un conjunto de ficheros CSV de sólo 60MB, toda la comunicación con otras disciplinas del edificio se realizó a través de *scripts* de *Dynamo* y *Grasshopper* que volcaron la información en modelos 3D (Goldup K. *et al.*, 2017). Para la construcción, de la misma manera, la única fuente oficial de información para el desarrollo de modelos de TEKLA y ROBOT siempre fueron las bases de datos, dado que la lista de planos en 2D de proyecto tan sólo eran las reglas de cómo utilizarlas.

2.2. Desafíos

El gran desafío de la construcción ha sido la complejidad geométrica del fonil como elemento y la fabricación de cada una de sus 42.589 piezas, todas diferentes, de un peso total de 5.367 toneladas de acero en tubos huecos de sección circular, desde el modelado, el corte, la fabricación, el montaje y la

comprobación de tolerancias geométricas en la obra. Para poder fabricar tantas piezas y ensambles diferentes, ha sido necesario un perfecto control de codificación en todas las etapas de la construcción, incluido el estudio de cuantificación y costes, parte principal de una empresa constructora.

Fig. 2 Workflow estructural de ARUP para NAIM (Goldup K. et al., 2017)



2.3. Importancia del Software BIM

El software BIM de TEKLA STRUCTURES no sólo ha sido beneficioso en este complejo proceso, sino totalmente imprescindible. Todos los cortes en forma de “*boca de pez*” de las uniones de los tubos se realizan directamente desde el modelo tridimensional a través de un plugin de la empresa HGG, que envía la información a las máquinas de corte por plasma, siendo innecesarios los planos de taller para la fabricación. Además, los componentes específicos de modelado de elementos y de programación API para autoconexiones, permite una gran productividad de los modeladores. La codificación y cuantificación automatizada en TEKLA ha sido clave para obtener los resultados de estimación tan complejos. La utilización de la última versión del software del 2018 permitió un gran avance al permitir superponer nube de puntos obtenida del escáner 3D TX8 de TRIMBLE y procesada en el software REALWORKS con el modelo BIM. Estos modelos de fabricación ganaron el premio “*Tekla BIM Awards North America*” del año 2018.

2.4. Los Modelos

Existen 21 modelos diferentes de foniles (figura 3), cada uno está formado de entre 1800 a 2100 tubos únicos, con un promedio de 230 toneladas cada fonil, y una altura de 34 metros desde su cimentación. Se utilizaron secciones desde 141.3 mm hasta 273 mm de diámetro y entre 5.73 mm hasta 31.5 mm de espesor. Todas las soldaduras fueron de penetración completa, con algunas uniones en las zonas de pétalos resueltas con tubos sólidos por las grandes solicitaciones del encuentro. Las barras se sitúan en dos capas diferentes, la capa primaria estructural, una capa secundaria que recoge la envolvente y unas barras de enlace entre ambas. Los modelos se complementan con los de la estructura auxiliar de montaje, también tubular con ensambles atornillados, y con los modelos de bases de fonil, que son de dos tipos diferentes y compuestas de perfiles laminados de acero, que apoyan en la losa de cimentación.

Fue posible automatizar varios de los procesos de modelado más costosos según las indicaciones del proyecto. Las reglas de soldadura se basan en jerarquías de barras, los elementos principales se sueldan a tope y el resto de las barras se cortan en forma de boca de pez soldándose a otra dependiendo del orden programado. La primera aplicación que se programó identifica el orden de jerarquía de cada barra siguiendo las reglas descritas en los documentos de proyecto. La jerarquía asignada se almacena tanto en base de datos como en la barra misma del modelo. Otra aplicación desarrollada toma estos valores, itera por cada

nodo y asigna la conexión correspondiente entre cada par de barras. Estas conexiones de TEKLA identifican las interferencias entre barras y genera los cortes necesarios y preparaciones de borde para soldaduras, generando las marcas en la barra que recibe para auxiliar en la alineación en el momento de soldar.

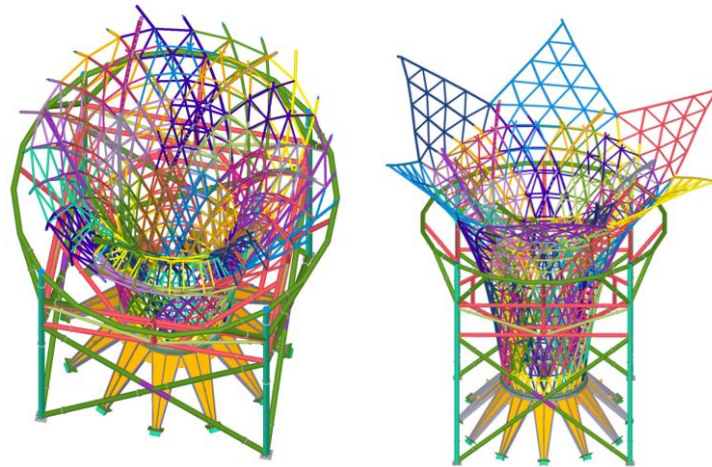


Fig. 3 Modelos TEKLA de base de fonil, superestructura de fonil y auxiliar de montaje (elaboración propia CTVM, 2018)

Las coordenadas de la base de datos de proyecto están expresadas para los nodos de los ejes de los tubos. Para el equipo de topografía es bastante complejo trasladarlas en obra, por lo que fue necesario tener un punto común en la superficie de los elementos entre topografía y los modelos. Se generó un componente adaptativo en TEKLA para ayudar a controlar el posicionamiento tanto en fabricación como en montaje. Este componente da instrucciones a la máquina HGG para que marque los tubos con las coordenadas precisas.

2.5. Parámetros de los modelos

Además de parámetros geométricos, de codificación, de ensambles y de materiales, se incluyen parámetros propios de CTVM y del cliente (GACM), de código Uniformat, Trazabilidad de Control de Calidad, Protección contra Incendios, Estimaciones y Planificación (figura 4). Una macro desarrollada dentro de CTVM permite la lectura de los modelos y el almacenamiento de los datos en SQL. El registro histórico de los modelos permite realizar comparaciones entre versiones, y además, permite tomar los valores escritos en una versión y volcarlos a otra. Los generadores de medición para el cobro de los trabajos, así como los reportes de avance se realizan principalmente tomando los datos de SQL. Esta automatización de un origen único permite transmitir todos los parámetros exigidos en los requisitos BIM del cliente sobre modelos IFC exportados automáticamente de los modelos nativos de TEKLA.

3. Fabricación

A través de componentes específicos de conexión entre tubos de sección circular y de un plugin de exportación, se genera una base de datos directa para la máquina de control numérico de corte de tubos por plasma de la empresa holandesa HGG (figura 5). Esta máquina permite los cortes en forma de *boca de pez* de tubos con secciones de diámetros entre 48 y 610mm, lo que cubre todas las secciones de los foniles. Se puede utilizar con piezas de hasta 3 toneladas y longitudes de hasta 12 metros, en las que además se marcan dónde se deben soldar piezas secundarias, la referencia de topografía y la codificación de montaje.

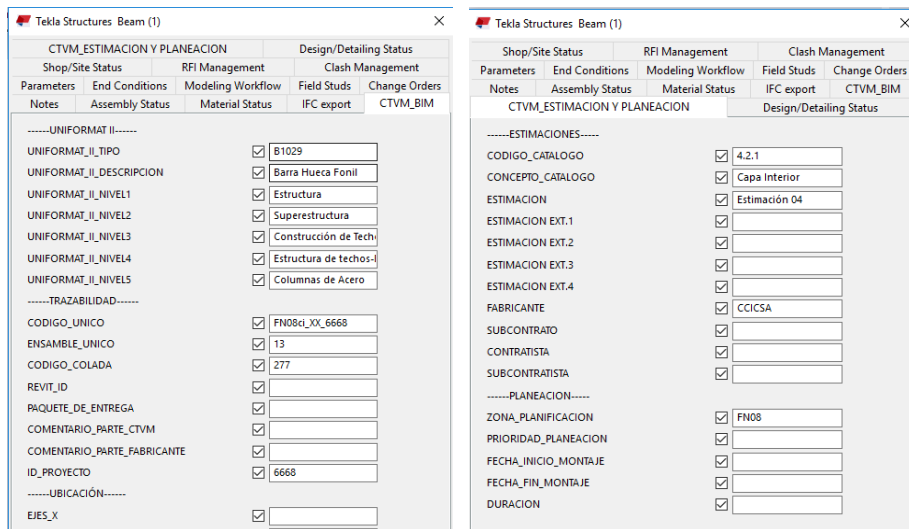


Fig. 4 Tablas de parámetros propios de modelos en TEKLA (elaboración propia CTVM, 2018)



Fig. 5 Máquina de corte por plasma HGG (Fuente: www.hgg-group.com)

4. Montaje

Desde el comienzo del desarrollo BIM, en la etapa de construcción se ha intentado integrar la gestión de conflictos y seguridad estructural sobre la base de modelos estructurales 4D que incluyen la planificación de obra (Zhang, J.P. et al, 2011), y en este proyecto, se ha tratado este problema de integración desde el

ensambles que se preparan sobre estructuras de preciso control geométrico en taller (figura 6). Tras las soldaduras de todas las piezas de los ensambles se preparan para el transporte por carretera, con dimensiones estándar que permita una logística fluida sin transporte especial y puedan ser ensambladas en obra con la ayuda de las estructuras auxiliares (figura 7 y figura 8).



Fig. 6 Fabricación de ensambles a partir de las piezas cortadas en taller (CTVM, 2018)

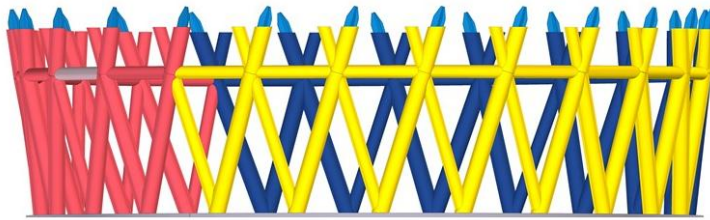


Fig. 7 Unión de los tres ensambles del tramo 1 según modelo y disposición de placas guía (Elaboración propia CTVM, 2018)

5. Nube de puntos y control geométrico

Las estrictas tolerancias de ejecución permiten un máximo de error acumulado de 47 mm en la altura total del fonil. La utilización de nube de puntos mediante el escáner 3D ha sido necesaria para el control continuo en cada tramo y detectar en tiempo real las desviaciones de ejecución. Se ha utilizado el modelo de escáner TX8 de Trimble, que permite creación de nubes de puntos georreferenciadas para ser tratadas en software REALWORKS 10.4. (Figura 9).

En el NAIM, el equipo de topografía es el encargado de hacer la georreferenciación y preparación de las nubes de puntos de cada etapa de montaje, un trabajo nada sencillo debido a la gran cantidad de elementos intermedios que se disponen para la realización de soldaduras en obra. El software de procesado de la nube de puntos permite la exportación a diversos formatos que puede importar TEKLA 2018 (.e57, .las o .tzt), los cuales se incorporan a los modelos de fabricación.



Fig. 8 Ensamblados en obra para ser montados (CTVM, 2018)



Fig. 9 Nube de puntos sin tratamiento realizada por equipo de topografía (Elaboración propia CTVM, 2018)

El procedimiento para cuantificar desviaciones entre lo escaneado y lo teórico se desarrolló a un nivel de semiautomatización (figura 10). El manejo y procesamiento de la nube de puntos se realizó de manera manual, con ayuda de Trimble REALWORKS, que cuenta con una herramienta de generación de sólidos a partir de puntos, incluyendo los cilindros, elemento único de nuestros modelos. Para cada nube de puntos se seleccionan los puntos que forman una barra, evitando los nodos extremos de conexión que han sufrido ligeras deformaciones por procesos térmicos. Estos cilindros son exportados en formato DWG, y a partir de este punto el proceso se vuelve automático, tomando cada objeto del archivo, extrayendo su eje y comparando contra los ejes teóricos del modelo de referencia, produciendo un informe de desvíos que permite conocer el cumplimiento de tolerancias y la corrección necesaria en su caso.

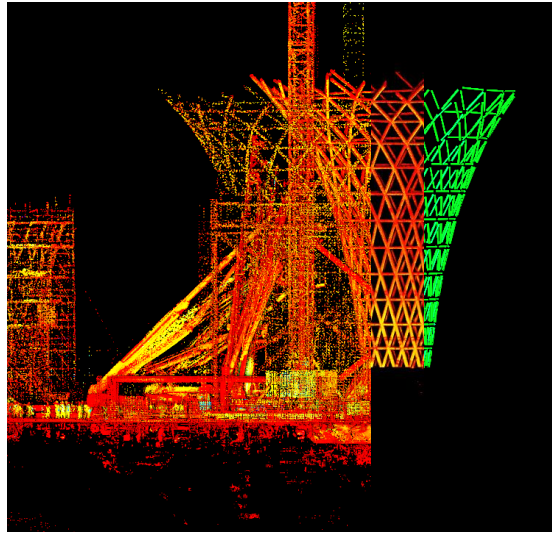


Fig. 10 Tres etapas en el procesamiento de nube de puntos: completa (izq.), nube limpia (centro), y cilindros (dcha.). (CTVM, 2018)

6. Software de Análisis Estructural en la etapa de montaje

La posibilidad de interoperabilidad BIM se está aplicando de manera creciente en la ingeniería estructural para la mejora de la productividad, principalmente con Open BIM o con la utilización de APIs específicas de software de análisis, en el que se recomienda un LOD300 (Shin T., 2017). Pero hasta ahora no se realiza de manera masiva en obra, con modelos LOD400 de fabricación y con plazos muy cortos de tiempo se análisis. En este proyecto, sin embargo, se ha desarrollado un flujo de trabajo muy útil en la comprobación estructural durante el montaje con estrictos plazos de supervisión.

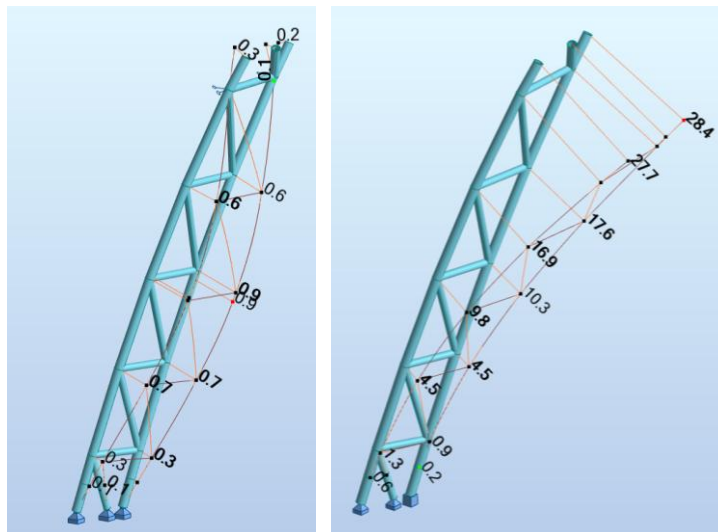


Fig. 11 Modelos de deformación de ensamblajes en etapa de montaje (Robot Structural Analysis, elaboración propia CTVM, 2018)

Al tener modelizados todos los ensamblajes con sus características de materiales, mecánicas y la secuencia de montaje, ha sido bastante eficaz comprobar estructuralmente deformaciones o esfuerzos de ensamblajes y barras en cada etapa. De cada tramo se han exportado desde TEKLA directamente modelos a ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS de Autodesk (figura 11) a través de su plugin o a modelos parciales en RSTAB de Dlubal a través de fichero STP de intercambio de modelo analítico.

7. Planos de Taller de ensambles

En ningún momento de la fabricación ha sido necesario la utilización de planos de taller en los foniles, por tanto, se podría decir que se consigue una “obra sin papel” respecto a la utilización del plano de taller en 2D tal y como lo hemos conocido siempre. Evidentemente, sí se han utilizado en obra multitud de impresiones y vistas de elementos, ensambles o etapas intermedias para comprender las tareas, en papel o en imágenes para dispositivos móviles. Estas “vistas” procedentes de los modelos únicos siempre aseguran que están actualizadas y evitan el error de la información, sin embargo, los requisitos burocráticos para los permisos y la obligatoriedad para el cobro a la administración ha producido alrededor de 3000 planos para cada uno de los foniles (figura 12).

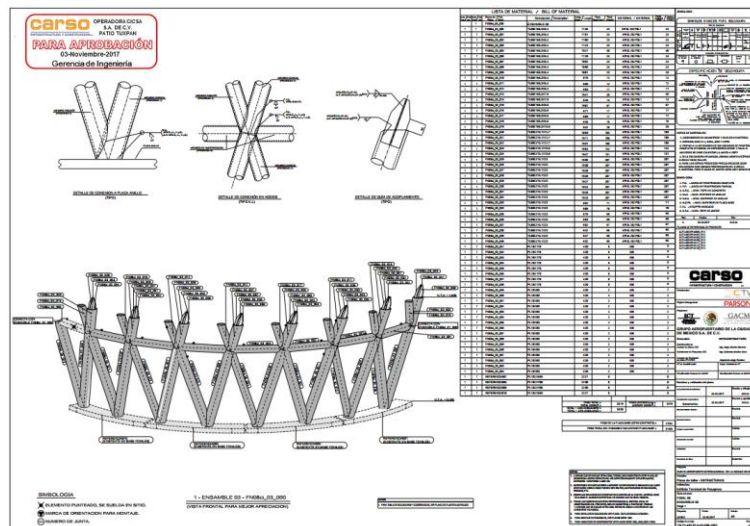


Fig. 12 Plano de Taller creado a partir del modelo (Fuente: OCICSA, 2018)

8. Conclusiones

Resulta bastante difícil representar estructuras geoméricamente complejas en 2D, se requiere de un gran número de planos, desde diferentes puntos de vista y múltiples detalles de las uniones para describirlas totalmente. Con el papel como única herramienta para la transmisión de la información entre diseñador, fabricante y montador, es comprensible el enorme esfuerzo de generación e interpretación de dicha información. Actualmente, trabajar con modelos BIM estructurales, permite tener una transmisión única, fluida y actualizada, disponible en multitud de dispositivos en cualquier lugar de la obra, y además disponibles para diferentes usos de análisis estructural en las etapas de montaje.

Como se ha comprobado en la construcción de los elementos más singulares del NAIM, no han sido necesarios los planos, la construcción sólo ha sido posible a partir de bases de datos incorporadas a modelos de fabricación que trabajan directamente con máquinas de corte por plasma y que permiten la planificación logística, de montaje y preparación de modelos Asbuilt a partir de nube de puntos. A pesar de todo, todavía legalmente se obliga a un trabajo importante y costoso de elaboración de planos, sin apenas utilidad, dado que la utilización de modelos ha permitido establecer una fuente única y actualizada necesaria para la construcción de elementos tan singulares.

Aunque durante la transición de la desaparición de planos en 2D será necesario mantener este tipo de trabajo, poco a poco se eliminará. Todos los procesos de análisis estructural en el montaje, estimaciones y certificaciones se están automatizando según los requerimientos propios del proyecto o estándares internacionales, sin embargo, todavía es necesario mejorar y automatizar muchos de los procedimientos BIM en obra como la elaboración de modelos Asbuilt durante la construcción.

9. Referencias

- ARUP. Ingeniería estructural de proyecto de NAIM. < <https://www.arup.com/expertise/services/buildings/structural-engineering>> [Consulta: 28 de febrero de 2019]
- EADIE, R., BROWNE, M., ODEYINKA, H. y McKEOWN, C. y McNIFF, S. (2013). "BIM Implementation throughout the UK construction project life-cycle: an analysis" en *Automation in Construction*, 36:145-151.
- FOSTER+PARTNERS. Arquitectos desarrolladores de proyecto del NAIM. <<https://www.fosterandpartners.com/es/projects/new-international-airport-mexico-city/>>[Consulta: 28 de febrero de 2019]
- FR-EE. Fernando Romero Enterprise. Arquitectos desarrolladores de proyecto del NAIM. <<http://www.fr-ee.org/project/5/Mexico+New+International+Airport> > [Consulta: 28 de febrero de 2019]
- GOLDUP, K., KOSTURA, Z., TAVOLARO, T., y WOLFE, S. (2017). "Advanced Engineering with Building Information Modelling: Establishing Flexible Frameworks for the Design and Documentation of Complex Buildings" en *Architectural Design*.
- HGG. Pipe Cutting Machines and Services. <<https://www.hgg-group.com/pipe-cutting-machines-and-services>> [Consulta: 22 de febrero de 2019]
- HOWARD, R., y BJÖRK, B.-C. (2008). "Building Information Modelling-Experts' Views Experts' Views on Standardisation and Industry Deployment", en *Advanced Engineering Informatics* (Vol. 22).
- LAEFER, D. F., y TRUONG-HONG, L. (2017). "Toward automatic generation of 3D steel structures for building information modelling" en *Automation in Construction*, 74: 66-77.
- LI, Y., y TAYLOR, T. R. B. (2014). "Modeling the Impact of Design Rework on Transportation Infrastructure Construction Project Performance", en *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(9), 04014044.
- LOVE, P. E. D., & SING, C. P. (2013). "Determining the probability distribution of rework costs in construction and engineering projects", en *Structure and Infrastructure Engineering*, 9(11), 1136-1148.
- PƏTRƏUCEAN V., ARMENI I., NAHANGI M., YEUNG J., BRILAKIS I. y HAAS C. (2015). " State of research in automatic as-built modelling" en *Advanced Engineering Informatics*, 29: 162-171.
- REALWORKS, TRIMBLE. Point cloud processing and analysis software for 3D laser scanning. <<https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/trimble-realworks>> [Consulta: 22 de febrero de 2019]
- REVIT, AUTODESK <<https://www.autodesk.es/products/revit/overview>> [Consulta: 22 de febrero de 2019]
- ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS, AUTODESK. Advanced structural analysis software. <<https://www.autodesk.com/products/robot-structural-analysis/overview>> [Consulta: 22 de febrero de 2019]
- RSTAB. DLUBAL. El Software de análisis estructural de barras. < <https://www.dlubal.com/es/productos/rstab-software-de-estructuras/que-es-rstab>> [Consulta: 22 de febrero de 2019]
- SHIN, T. (2017). "Building Information Modeling (BIM) collaboration from the Structural Engineering Perspective" en *International Journal of Steel Structures* 17(1):205-214
- SONG, S., YANG, J., y KIM, N. (2012). "Development of a BIM-based structural framework optimization and simulation system for building construction", en *Computers in Industry*.
- TEKLA STRUCTURES, TRIMBLE. BIM Software for structural workflow. <<https://www.tekla.com/products/tekla-structures>> [Consulta: 22 de febrero de 2019]
- TEKLA BIM AWARDS 2018 NORTH AMERICA. Projects. <<https://www.tekla.com/us/bim-awards/projects>> [Consulta: 24 de febrero de 2019]
- ZHANG J.P. y HU Z.Z. (2011). "BIM and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction" en *Automation for Construction* 20: 155-166.

BIM en obras civiles. Proyecto para la futura línea 10 de la red FGV en Valencia

Pastor-Villanueva, José María^a; Solís-Sandoval, Emilio A^b; Roselló-Colomar, Marcos^c

^aIngeniero de Caminos, C. y P., Coordinador BIM en TYPSA impastor@typsa.es; ^bArquitecto, BIM Manager en TYPSA easolis@typsa.es; ^cIngeniero de Caminos, C. y P., Jefe de Ingeniería y Proyectos en FGV rosello_marcol@gva.es

Abstract

Since its origin, BIM methodology has mainly focused its development on the field of Building, reaching a remarkable degree of maturity in this sector. The imminent Directive 2014/24/EU enforcement to the public procurement process in Spain presents an important challenge for BIM future evolution it demands an extended its use to the Civil Works world, with works typically conditioned by topography. This scenario requires the formalization of new procedures different from those that are customary to a traditional BIM project, bringing in specific software for the interaction of the point and linear works, and conditioned by a bidding regulation not yet adjusted to the BIM methodology.

This communication shows how these conditions have been effectively and innovatively solved by the Project "Works for the Future Underground Line 10 of the FGV network in Valencia", incorporating the presence of existing elements into structures and sections object of design, and extending BIM methodology to the different stages of the infrastructure lifecycle. The resulting normative and conceptual difficulties for BIM implementation to civil works highlights the urgent development needs of this methodology in this area.

Keywords: BIM, Underground, L10, Valencia, civil, bidding, public, engineering.

Resumen

Desde su origen, la metodología BIM ha centrado su desarrollo fundamentalmente en el ámbito de la edificación, alcanzando un notable grado de madurez en este campo. La inminente aplicación de la Directiva 2014/24/UE al proceso de contratación pública en España plantea un importante reto en la futura evolución del BIM puesto que exige hacer extensivo su uso al mundo de la obra civil, con obras fuertemente condicionadas por la topografía. Este escenario requiere la formalización de nuevos procedimientos distintos de los habituales para un proyecto BIM tradicional, integrando software específico para la interacción obras puntuales y lineales, y condicionados por una normativa de licitación no adaptada todavía a la metodología BIM.

Esta comunicación muestra cómo se han resuelto de forma eficaz y pionera estos condicionantes en los trabajos de "Redacción del Proyecto para la futura Línea 10 de la red FGV en Valencia", integrando la presencia de elementos existentes con estructuras y tramos objeto de diseño, y extendiendo el BIM a las distintas etapas del ciclo de vida de la infraestructura. Las resultantes dificultades normativas y conceptuales para la aplicación de BIM a obras civiles ponen de manifiesto las urgentes necesidades de desarrollo de esta metodología en dicho ámbito.

Palabras clave: BIM, Metro, L10, Valencia, civil, licitación, público, ingeniería

Introducción

BIM en obras de ingeniería civil (situación actual en febrero de 2019)

Si bien la metodología BIM define los procedimientos de proyecto, construcción y mantenimiento de obras e infraestructuras de todo tipo cualesquiera que sean sus características, el hecho es que el desarrollo fundamental de esta metodología se ha llevado a cabo en obras de edificación, ya sea de uso residencial, hospitalario, educativo, etc. El empleo de la metodología BIM en obras de Ingeniería Civil es, a día de hoy, marginal. Si se toma, por ejemplo, como referencia las ponencias presentadas en el EUBIM hasta la fecha, tan sólo el 9% de las mismas están específicamente orientadas a la Ingeniería Civil, siendo el resto de ellas especializadas en la Edificación (52%) o de carácter genérico (39%).

Nada interno al BIM justifica esta orientación. En la normativa y estándares existentes (esBIM, PAS 1192) se refiere en todo momento a “construcción”, “infraestructura”, “bien” como el objeto pasivo de la metodología (esa debería ser la traducción del Building del acrónimo BIM, nunca como “edificio”), y los procedimientos y recomendaciones que se dan a los distintos agentes de la industria de la construcción no discriminan entre obras de ingeniería civil y de edificación.

Las causas de ello deben buscarse en circunstancias externas al propio BIM. Entre otras, se apuntan las siguientes:

1. Las obras de edificación suelen ser de promoción privada, en donde los plazos, ritmos de construcción y rentabilidades asociadas al proceso constructivo son mayores respecto a las obras de ingeniería civil. Dado que el BIM se ha demostrado como un método de optimización de estos conceptos, ha tenido mucha mayor aceptación en el ámbito de la edificación. Las obras de ingeniería civil, por contrario, suelen ser de promoción y gestión públicas, encontrándose en la administración pública una mayor resistencia a adoptar estos procedimientos.
2. La propia normativa de licitación de proyectos y obras actuales no contempla la licitación en BIM, quedando en manos de cada administración el promover el uso del BIM en las licitaciones y el interpretar dicha normativa para puntuar las propuestas BIM de los ofertantes.
3. La crisis económica acaecida en la década pasada (2007 – 2017) ha afectado en mayor medida a la edificación privada, resultando el BIM como una salida profesional a arquitectos, que veían en él una manera de diferenciarse del mercado, ofrecer productos de mayor calidad y una especialización profesional.
4. Tal y como se ve en la Figura 1, si bien el software existente en el mercado es variado, el que se ha impuesto en la práctica (REVIT) es un programa claramente orientado a la edificación, con herramientas insuficientes para el diseño de obras de ingeniería civil. El mercado de software se ha orientado hacia este software, dejando de lado el desarrollo de herramientas específicas para las obras públicas.

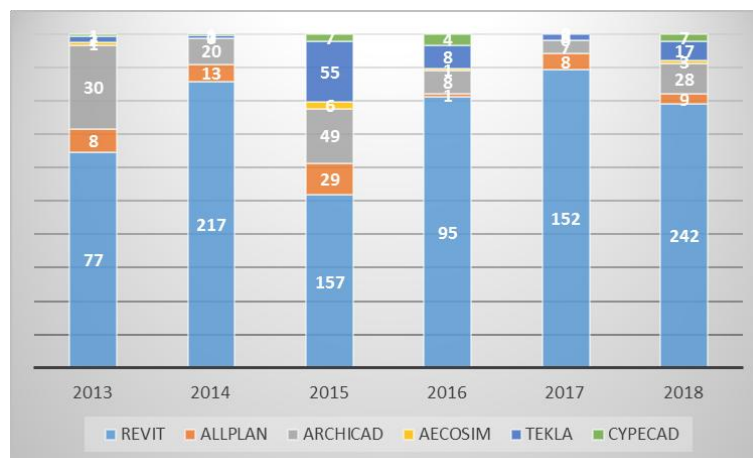


Fig. 1.- Frecuencia de apariciones de software BIM en comunicaciones EUBIM. Fuente: publicaciones EUBIM (2013-2018)

Sin embargo, a raíz de la aplicación efectiva de la Ley 9/2017 de Contratos del Sector Público por la que se traspone la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/24/UE que autoriza al uso de la metodología BIM en obras de promoción pública, se espera un incremento notable de la aplicación de esta metodología al campo de las obras de ingeniería civil, con los mismos beneficios de calidad, gestión, mantenimiento y, en definitiva, económicos, que los ya demostrados en el ámbito de la edificación.

En esta ponencia se describen los trabajos realizados para la Asistencia Técnica para la Redacción de Estudios y Proyectos de la Futura L10 de la Red de FGV en Valencia, desarrollados por la UTE TYPASA-GESMAN, y pretende servir de referencia y orientación a futuros proyectos de obra pública.

1. Tipologías de obras públicas desde la perspectiva del modelado BIM

1.1. Obra-Punto; Obra-Línea; Obra-Área; Obra-Sólido

Se realiza en este punto un análisis de los diferentes tipos de obra desde un punto de vista de su tipología formal. Se distinguen, atendiendo a este criterio, obras del tipo Punto, Línea, Área y Sólido.

- Se refiere como Obra-Punto aquella en la que ninguna dimensión espacial es preponderante frente a las otras. La mayoría de obras de edificación, residenciales o civiles, podrían incluirse dentro de esta categoría. Son obras cuya organización interna se estructura en base a Niveles y Rejillas, esto es, en torno a una cuadrícula regular, con una preponderancia de los niveles horizontales, fruto de las necesidades humanas de dotar de estabilidad a las actividades que en ellas se realizan, así como funcionales de los equipos que sobre ellas se encuentran.
- La Obra-Línea cuenta como principal característica el poseer una dimensión mucho mayor que las otras dos. La mayoría de las obras de Ingeniería Civil se pueden incluir en este apartado: carreteras, ferrocarriles, canales, metros, puentes, acueductos, etc. Esta mayor dimensión se concreta en los proyectos en uno o varios Ejes, a través de los cuales se desarrolla toda la definición de la obra. A estos ejes se les aplica leyes de comportamiento (pendientes máximas, radios mínimos, acuerdos entre alineaciones) así como secciones tipo entre Puntos kilométricos (PK), quedando así la obra definida. Otra característica propia es la fuerte incidencia de la topografía en el diseño de la misma. Así, la horizontalidad exigida por los niveles de las Obras-Punto no se exige, adaptándose el diseño al entorno, y no al revés.
- La Obra-Área tiene como característica que dos de sus dimensiones (habitualmente las horizontales) son mucho más grandes que la tercera. Se incluyen dentro de esta categoría estudios hidrológicos, de flora y fauna, etc.
- Finalmente, se pueden denominar Obra-Sólido aquellas obras similares a las puntuales, pero en donde el carácter masivo de las mismas las hacen distintas a las primeras clasificadas. Algunos ejemplos de estas obras serían las presas, obras hidráulicas o portuarias.

1.2. Software de modelado para Obras Lineales

El software de autoría específico las Obras-Punto cuenta con herramientas específicas destinadas a dar una gran productividad a obras de edificación, pero adolece de graves dificultades cuando tiene que interactuar con superficies topográficas o ejes. Así, por ejemplo, la gestión de movimientos de tierras, la utilización de parábolas o clotoides entre alineaciones rectas o la caracterización de elementos respecto al PK de un eje, resultan de extrema dificultad.

Estas últimas son precisamente las características principales que tienen los programas de diseño y gestión de obras lineales. El software comercial existente (Infraworks y Civil3D, de Autodesk, Plateia y Ferrovia, de CGS, Openroads e Inrail de Bentley, CLIP de ToolSA o Istram, entre otros) utiliza el concepto de alineación y sección transversal y el corte de estas contra superficies complejas. La mayoría de este software es capaz en la actualidad de generar sólidos con propiedades asociadas, y de exportar esta geometría a formatos *.ifc,

si bien los desarrolladores se encuentran a la espera de la publicación de la versión 5.0 del estándar IFC, que incluye los conceptos de alineación, rail, carretera, puente o túnel

Las Obras-Área, por su propia naturaleza, no se adaptan bien a la metodología BIM. En su lugar, las metodologías GIS son más adecuadas para gestionar los datos que se manejan en las mismas. Las Obras-Sólido pueden manejarse de manera similar a las Obras-Punto, con la única dificultad de la generación de la geometría de estas.

2. BIM en licitación de obras públicas. La experiencia de FGV

Ferrocarrils de la Generalitat Valenciana (FGV), desde su doble papel de propietario y explotador de infraestructuras ferroviarias ha expresado su firme voluntad de implantar la metodología BIM como eje central en la gestión del ciclo de vida de las infraestructuras de su competencia, aspecto este donde el BIM se declara en su mayor potencial en cuanto a los beneficios que puede aportar en cada una de las fases del ciclo de vida.

FGV asume el rol de promotor de la metodología en la gestión de sus activos, estableciendo los requisitos, pliegos y objetivos para que crezca el tejido empresarial relacionado con la ingeniería y la construcción de infraestructuras ferroviarias. FGV pretende establecer reglas sencillas y útiles en cuanto a formación y capacitación de los profesionales, solvencias de las empresas y sobre todo una hoja de ruta clara para que las empresas Consultoras y Constructoras puedan evolucionar hacia una integración de los procesos BIM en sus métodos de trabajo de manera progresiva y no exclusiva.

En este sentido, en la doble vertiente de promotor y gestor de las infraestructuras, se ha puesto el foco en la explotación de nuestra red, apuntando a los modelos de mantenimiento y gestión como objetivo finalista, organizando toda la implantación con este hilo conductor deseando que los responsables de mantenimiento y operación "usen" los modelos tanto desde el punto de vista gráfico como el de bases de datos fiable y accesible.

No son pocos los retos a los que se enfrenta FGV tanto a nivel organizativo como empresa pública con bajo nivel de madurez BIM como a nivel técnico debido al aún escaso desarrollo de herramientas para el diseño y modelado de infraestructuras lineales.

- A nivel organizativo interno, FGV funciona bajo el software ERP SAP/R3 para la gestión y el mantenimiento de los sistemas. En sí mismo, el SAP es una gran base de datos al igual que los modelos y es por ello que se considera vital establecer una interrelación fluida de intercambio de datos entre ambas. De esta manera, los elementos MEP en los modelos deben tener la parametrización adecuada con la nomenclatura del SAP, configurando unos Property Sets (PSET) exportables que SAP pueda leer e integrar en su base de datos mediante aplicaciones del tipo "WEBSERVICE".
- Uno de los mayores retos que debe asumir FGV es la gestión de la evolución de los modelos desde la fase de diseño hasta los modelos de gestión y mantenimiento pasando por los modelos constructivos, debiendo establecer criterios claros en cuanto a la asunción de la autoría de modelos, el enriquecimiento de los LOD y la introducción de los datos y parámetros de los elementos. Para ello, desde los pliegos de licitación se hace hincapié en las responsabilidades en cuanto al cumplimiento de los usos definidos para cada fase del ciclo de vida y cada actor, sentando las bases para fundamentar una metodología cooperativa entre los agentes implicados primando la transparencia entre proyectistas, constructoras, direcciones de obra, administración y gestores de mantenimiento.
- Otro reto importante es la gestión necesaria del gran volumen de datos generados y las restricciones que tiene FGV en cuanto a seguridad cibernética al estar calificada como infraestructura crítica. Esto supone que el Entorno Común de Datos debe ubicarse en los servidores propios, protegidos por nuestros protocolos de seguridad y cifrado, firewalls y otras herramientas de seguridad y control.

3.2. Objetivos BIM de los redactores del Proyecto

Al inicio de los trabajos se fijaron como objetivos propios de la UTE TYPASA-GESMAN, a conseguir durante la redacción de los trabajos, los siguientes:

1. Entregar un Proyecto Constructivo con una calidad igual o superior a la que se hubiera conseguido con procedimientos estándares, en plazo y forma, y cumpliendo en todo caso con las exigencias de FGV plasmadas en el pliego de licitación.
2. Utilizar las potencialidades del BIM en lo referente a la gestión de la información para agilizar la relación entre los distintos equipos de la UTE.
3. Involucrar al personal de producción de áreas diferentes a las habituales de edificación (en especial, a Geotecnia y Obras Lineales) en el método BIM, extendiendo los procedimientos de revisión, detección de interferencias, y puesta en común de modelos de información a estas nuevas disciplinas.
4. Investigar las herramientas específicas de BIM en Ingeniería Civil existentes en el mercado, seleccionar la más adecuada a las necesidades del Proyecto, el Cliente y la UTE y formar al personal en su uso.
5. Realizar actividades de difusión de los trabajos realizados a todas las áreas de las empresas y ámbitos externos al proyecto (actividades de formación, informes de retroalimentación, participación en congresos, etc.).

3.3. Software de BIM utilizado en la L10

Las obras de metro cuentan con una particularidad única respecto a otro tipo de obras lineales: una línea de metro puede concebirse como una sucesión de Obras-Punto (paradas, estaciones, centros de energía) con elementos típicos de edificación (suelos, techos, tabiques, instalaciones, etc.) a lo largo de una obra lineal, con sus propios elementos (eje de trazado, carriles, vías, catenarias, comunicación entre estaciones, electrificación de la vía, etc.) por lo que resulta absolutamente necesario el conjugar ambos tipos de softwares en un entorno común a ambos, e independiente del programa utilizado.

En el proyecto se ha utilizado como software para las paradas y estaciones REVIT, mientras que para las obras lineales se ha utilizado CIVIL3D, ambos de Autodesk. Se asegura así una mayor compatibilidad entre software y se reducen los problemas asociados de la utilización de software de distintas plataformas. A su vez, se aprovecha el conocimiento de otras herramientas de Autodesk y se reduce la curva de aprendizaje, de manera que se da equilibrio entre innovación y desarrollo del proyecto. En la Figura 3 puede observarse el resultado de la integración de los modelos de Obras Lineales con los de Arquitectura y Urbanización.

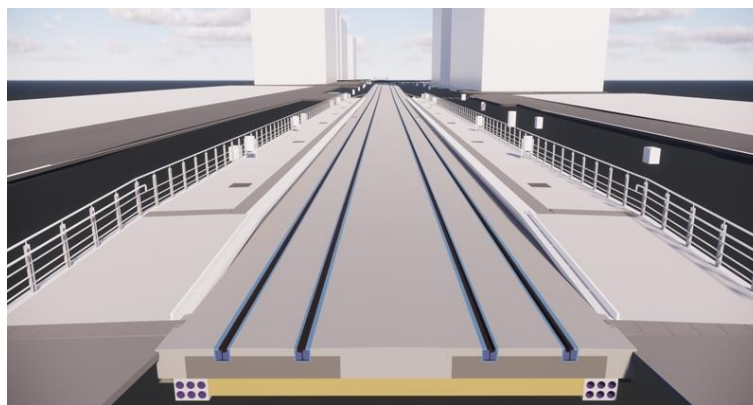


Fig. 3.- Integración de modelos. Fuente: propia (2018)

La coordinación entre modelos ha sido la exportación a cachés y la utilización de Navisworks como herramienta de coordinación entre disciplinas.

Finalmente, la revisión de los trabajos por parte de FGV ha sido realizada a través de los ficheros *.ifc con la herramienta BIMSIGHT, de Trimble, lo cual vuelve a poner de manifiesto la necesidad de potenciar este

formato de intercambio en todas las parcelas de la metodología BIM en el mundo de la ingeniería civil aunque no se encuentre definitivamente publicado por la buildingSMART.

3.4. Procedimientos de modelado y coordinación

Dado que el Proyecto partía de una geometría existente (ver figura 4), la resultante de la construcción de los tramos de infraestructura (pantallas, losas y contralosas del tramo subterráneo, y plataforma tranviaria del tramo en superficie) ha sido necesaria la utilización tanto de nubes de puntos para caracterizar la geometría existente del interior del túnel y de la superficie.



Fig. 4.- Estado actual. Fuente: propia (2018)

Se ha utilizado el método ya clásico de división de los modelos nativos en distintas disciplinas y subdisciplinas, resultando esta división totalmente necesaria en este proyecto, dada la existencia de disciplinas que utilizan software específico (Obas Lineales) y de coexistir dos empresas distintas en UTE, con medios propios de producción particulares.

La primera fase del modelado ha consistido en, mediante las nubes de puntos, levantar el estado actual de las partes subterránea y en superficie, con modelos desarrollados en LOD 200 con REVIT. A partir de esta geometría se han modelado los elementos de las disciplinas de arquitectura, instalaciones y obras lineales. Se ha dado a esta última disciplina el rol de líder de modelado, debiendo adaptarse todas las demás a sus criterios. Por ejemplo, se ha dotado de pendiente a los andenes de las paradas y estaciones, para que la geometría modelada siguiera correctamente el eje del trazado, el cual a su vez estaba condicionado por la estructura realmente construida o por la topografía del entorno de las paradas.

La coordinación entre modelos en el día a día se ha realizado con las opciones estándares de vinculación de modelos. No obstante, se han encontrado dificultades en la coordinación diaria entre los modelos de CIVIL3D y los de REVIT. Así, la geometría desarrollada den CIVIL3D no se ha realizado directamente contra los modelos de estado actual o de arquitectura, sino que ha sido necesario el paso de geometría a través de exportación a sólidos, de manera manual. De forma similar, la importación de la geometría de CIVIL3D a REVIT se ha realizado a través de formato *.nwc.

La coordinación entre disciplinas con el objetivo de realizar la coordinación geométrica se ha realizado de manera periódica, semanal, con la ayuda de NAVISWORKS. En este software se ha construido un conjunto de tests de detección de interferencias, con tolerancia variable (1,5 – 5.0 cm) entre los elementos de mayor importancia de las distintas disciplinas. El resultado de los tests era suministrado a los diferentes equipos de diseño para su consideración en los siguientes avances de modelado. Las interferencias se han realizado no sólo contra los elementos reales, sino también contra un elemento virtual, el gálibo dinámico del tren, para

asegurar la ausencia de choques de las obras existente y proyectada con el material rodante. En la Figura nº 5 puede observarse un ejemplo de coordinación en Navisworks.

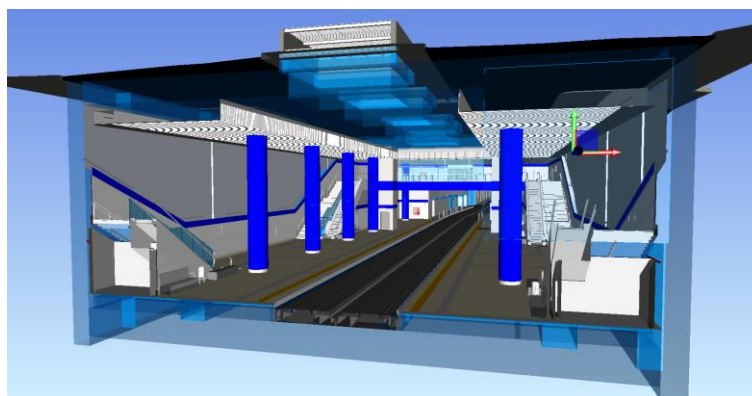


Fig. 5.- Modelado de estación de Amado Granell. Fuente: propia (2019)

Todo el intercambio de información entre los distintos agentes (equipos de producción de las empresas de la UTE, Cliente) se ha realizado a través de un Entorno Común de Datos (CDE) puesto a disposición del proyecto (SharePoint), con posibilidad de control documental y de accesos.

3.5. Dificultades del uso del software orientado a REVIT en obra civil

A lo largo de todo el desarrollo del proyecto han ido apareciendo dificultades relacionadas con la dependencia del mercado actual del programa de modelado REVIT:

1. Ha tenido que adoptarse y consensuarse por todas las partes un criterio de modelado del estado actual, pues la geometría real capturada por las nubes de puntos mostraba las irregularidades propias de la construcción de muros pantalla, imposibles de caracterizar por elementos de tipo muro definidos con LOD 200.
2. Una gran cantidad de plugin y aplicaciones (programas de extracción de mediciones (5D) o programación de obras (4D)) están preparadas para interactuar directamente con REVIT, lo cual impide la utilización de los mismos contra la información generada por CIVIL3D, la cual debe ser incorporada al Proyecto de manera manual. Existe una tendencia de querer automatizar cualquier proceso, pero antes es necesario analizar diversos factores como contenido de modelos, tipos de software o parametrización.
3. Ha sido necesario superar la estructura interna de REVIT (de Categoría, Familia, Tipo y Ejemplar) puesto que esta estructura, extremadamente útil y poderosa para el objetivo del software, es propia de este programa, no de la metodología BIM, que exige la clasificación de los distintos elementos, pero no necesariamente basándose en aquél esquema. Así, por ejemplo, parámetros de tipo utilizados para la exportación de mediciones, o los códigos UNICLASS_2015 que se corresponderían con el concepto de Categoría han sido replicados con parámetros equivalentes de Elemento, para que existan en los documentos comunes (*.nwc y *.ifc) y puedan ser generados por todos los softwares utilizados en el proyecto.
4. La utilización de software que trabaja en coordenadas locales (REVIT) y software que trabaja en coordenadas globales (AutoCAD, Civil3D) ha requerido que se extreme el cuidado referente al posicionamiento de los modelos, dependiente de la localización de las estaciones y paradas, así como de la orientación de las vías. De manera similar, las nubes de puntos han debido ser georreferenciadas en sus coordenadas globales para asegurar una correcta definición de la geometría de los elementos de nueva creación.
5. El tiempo de modelado de estado actual en base a nubes de puntos ha sido muy significativo por la gran cantidad de información (400 Gb) y por la complejidad de su uso. Esta información es un dato de partida necesario para el desarrollo del proyecto y generarla ha penalizado el tiempo disponible para diseñar y proyectar. Dadas las irregularidades de los elementos de obra ejecutados (muros pantalla)

un detalle y precisión excesivos del modelado puede representar una tarea infinita. Se ha adoptado el criterio de utilización de una precisión (4 cm) y posicionamiento (superficie media sobre la nube de puntos) suficientes, incrementando la precisión únicamente donde la representación de la geometría existente resultaba crítica, como las curvas cerradas del trazado.

3.6. Potencialidades del BIM encontradas durante el desarrollo del proyecto

A lo largo del proyecto se han detectado y resuelto una serie de problemas gracias a utilización de la metodología BIM que no habrían sido detectado o resueltos con un desarrollo ordinario de un proyecto:

1. La utilización de nubes de puntos para la caracterización de la geometría de la infraestructura existente capturó losas con deformaciones excesivas, y desplomes en pilares superiores a los establecidos por normativa, pudiendo tomar en proyecto las acciones correctivas adecuadas. En la Figura 6 puede observarse el trabajo de coordinación entre nubes de puntos y geometría generada para el estado actual.

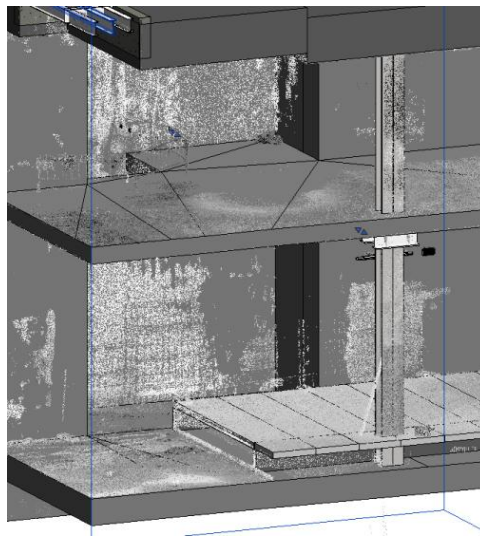


Fig. 6.- Comparación entre nube de puntos y geometría modelada en Navisworks. Fuente: propia (2018)

2. Se capturaron geometrías realmente construidas distintas que las mostradas en los diferentes proyectos de liquidación de las obras utilizados como base del proyecto, evitándose así la aparición de incongruencias en fase de obra.
3. La utilización de fotos 360° han permitido manejar información asociada a nube de puntos, georreferenciada, donde se puede consultar y medir el estado actual, evitando así desplazamientos y problemas en la gestión de los antiguos reportajes fotográficos.
4. La utilización de métodos sistemáticos de detección de interferencias entre los elementos más importantes de la obra ha permitido detectar en algunos puntos cómo la posición y dimensiones de los fosos de escaleras mecánicas y ascensores realmente construidos no resultaban apropiadas para los modelos de equipamiento proyectados, definiendo además las labores de demolición y reconstrucción de las estructuras existentes.

3.7. Entregables generados

Como documentación definitiva del Proyecto de Construcción, además de los documentos típicos (Memoria, Planos, Pliego, Presupuesto) se ha hecho entrega de los modelos nativos en formatos *.rvt y *.c3d, los cachés (*.nwc y *.nwd) de los modelos y las exportaciones a *.ifc, los cuales han servido como documentación de partida para la licitación de las obras, dando continuidad de esta forma a la utilización del BIM en todo el ciclo del Proyecto. Además, para este proyecto se ha superado el formato *.dwg como formato de entrega abierto del documento Planos. La documentación gráfica del proyecto se considera plenamente definida con los modelos del Proyecto y las exportaciones a *.pdf realizadas directamente desde los mismos. Se promueve

de esta manera el uso del BIM por terceros agentes situados aguas abajo del proceso de creación del proyecto.

4. Conclusiones

En la presente ponencia se ha descrito el procedimiento de redacción del Proyecto Constructivo de la Línea L10 del Metro FGV en Valencia, completamente realizado en BIM, las dificultades encontradas en su implantación y las potencialidades encontradas:

1. Como parte de la estrategia de desarrollo del Proyecto se decidió la utilización de software diverso, específico de las diversas disciplinas intervinientes en el metro frente a la adopción de un software consolidado que requería de adaptaciones para obtener de él el rendimiento exigido por el cliente. Los resultados obtenidos muestran que es la estrategia correcta a seguir en este tipo de trabajos. En este proyecto se ha corroborado que el método BIM es perfectamente aplicable a una obra de metro, en la que se conjugan obras de edificación (paradas, estaciones) y de obras lineales (túnel, plataforma tranviaria).
2. Las tecnologías utilizadas no se han restringido a la utilización de programas de modelado, sino que incluyen la caracterización geométrica con escaneado laser y fotografías 3d, la programación dinámica o la detección sistemática de interferencias.
3. Se han desarrollado procedimientos específicos de intercambio de información entre UTE, Administración o Revisores a través de un Entorno Común de Datos, así como procedimientos de intercambio de información entre los diversos softwares, utilizando los formatos abiertos y comunes a todos ellos.
4. La ocurrencia simultánea de multitud de agentes interviniendo en el Proyecto desde distintas ópticas (Empresas de la UTE, Cliente, normativa de licitación, revisores externos, distintos desarrolladores de software, etc.) ha originado la necesidad de utilizar un lenguaje común. Esta dificultad se ha solventado mediante la adopción de formatos *.ifc como estándar de comunicación entre todos ellos.
5. En el futuro la tendencia será el requerimiento masivo de este tipo de formatos; visto el estado actual del mercado de software se ha detectado la necesidad de adaptación del mismo a esta nueva forma de trabajo.
6. El proyecto resulta ser pionero en España entre las obras de su tipología, tanto por su carácter de obra pública, subterránea, lineal y multidisciplinar.

5. Referencias

BRENCEA CARAGHIOSU, M et al. (2014). *2do Congreso Nacional BIM EUBIM 2014 "BIM como ventaja estratégica"*. Valencia: Ed UPV.

COLOMA PICÓ, E et al. (2013). *1er Congreso Nacional BIM EUBIM 2013 "La evolución necesaria"*. Valencia: Ed UPV.

COS-GAYON LÓPEZ, F et al. (2016). *Congreso Internacional BIM 2016 "The BIM awakens"*. Valencia: Editorial UPV.

DIAZ PASCUAL, J et al. (2015). *Congreso Internacional BIM 2015 "Yes, we BIM"*. Valencia: Editorial UPV.

España. Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26/02/2014. *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

HOLZER, D et al. (2018). *Congreso Internacional BIM 2018 "Feel the BIM"*. Valencia: Editorial UPV.

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

VALDERRAMA, F et al. (2017). *Congreso Internacional BIM 2017 "The BIM BANG"*. Valencia: Editorial UPV.

Caracterización y seguimiento del estado de conservación de edificios mediante modelos virtuales y herramientas de modelado BIM generalistas como Revit

Valverde-Cantero, David^a; González-Arteaga, Jesús^b y Pérez-González, Pedro Enrique^c

^aEscuela Politécnica de Cuenca, Grado en Ingeniería de Edificación, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación, Universidad de Castilla-La Mancha, Grupo de Investigación BIM-UrbEdSo, España. david.valverde@uclm.es. ^bEscuela Politécnica de Cuenca, Grado en Ingeniería de Edificación, Departamento de Ingeniería Civil y de la Edificación, Universidad de Castilla-La Mancha, Grupo de Investigación BIM-UrbEdSo, España. jesus.garteaga@uclm.es. ^cIngeniero de Edificación, alumno egresado de Grado en Ingeniería de Edificación, Escuela Politécnica de Cuenca, Universidad de Castilla-La Mancha, España. pedenry@gmail.com

Abstract

As BIM gets a gradual incursion at AECO sector other fields begin to open. Besides of the obvious ones, as new construction projects, others become interested in the possibilities of this methodology. Among them is the conservation/ maintenance of non-unique buildings, a field that also has significant development potential.

The proposal aims to bring the usual modelling tools closer to data collection, characterization, analysis and monitoring of the different injuries/ incidences that appear during the process of operating a building.

By means of a simple but orderly procedure, and although initially based on a basic modeling, a virtual model can be obtained that gathers the state of conservation of the studied building and that makes it possible to include it in a follow-up of its life cycle under BIM methodology.

Keywords: BIM, damage of buildings, building conservation, ITE, IEE, head technician, Facility Management

Resumen

La paulatina incursión del BIM en el sector AECO de los últimos años está posibilitando que campos, en teoría menos propicios/ obvios que los proyectos de obra nueva, se empiecen a interesar también por las posibilidades de dicha metodología. Entre ellos se encuentra el de la conservación/ mantenimiento de edificios no singulares, campo que además cuenta con un importante potencial de desarrollo.

La propuesta pretende acercar las herramientas habituales de modelado a la toma de datos, su caracterización, análisis y seguimiento de las distintas lesiones/ incidencias que aparecen durante el proceso de explotación de un inmueble.

A través de un procedimiento sencillo pero ordenado, y aunque basado inicialmente en un modelado básico, se puede conseguir una maqueta virtual que recoge el estado de conservación del inmueble estudiado y que posibilita la inclusión de este en un seguimiento de su ciclo de vida bajo metodología BIM.

Palabras clave: BIM, lesiones en edificios, conservación de edificios, ITE, IEE, técnico de cabecera, Facility Management.

Introducción

Actualmente la forma más común para representar lesiones en los estudios patológicos se basa en el uso de elementos gráficos -como líneas, poligonales o zonas sombreadas- sobre una base CAD y/ o fotográfica. Y, a pesar del desarrollo de la metodología BIM, nos encontramos con que se ha seguido manteniendo esta tendencia, dibujando las lesiones existentes en el edificio sobre el modelo usando su transposición gráfica directa como familias de anotación sin obtener los beneficios que genera la metodología BIM al no incluir más información que la resultante a nivel gráfico.

Entre los softwares de modelado paramétrico BIM se encuentra PetroBIM (PetroBIM, 2015), el cual permite caracterizar el estado de conservación de los elementos pétreos con una vocación clara hacia su uso sobre el patrimonio arquitectónico. Mientras que el objeto de este trabajo es su aplicación más generalista, intentando abordar desde un edificio de nueva construcción, en el que han surgido lesiones, hasta una construcción histórica en las que se plantee una intervención de rehabilitación.

Dentro del abanico de aplicaciones de modelado paramétrico destaca, por su alta implantación, el software REVIT de la compañía AUTODESK, que, como aplicación de carácter generalista, carece de elementos propios que permitan la caracterización del estado de conservación de los edificios dentro del modelo.

Para la inclusión en un modelo REVIT de elementos específicos para representar el estado de conservación de los edificios, se exige la utilización de añadidos especializados o poseer conocimientos de programación informática. Por ello se planteó dentro de un trabajo final de grado en la Escuela Politécnica de Cuenca, perteneciente a la Universidad de Castilla-La Mancha (Pérez, 2018), la adaptación de elementos básicos paramétricos de la aplicación REVIT para integrarlos dentro de los procesos de toma de datos, en los análisis y en las interpretaciones de las lesiones que generan un estudio patológico, categorizando y ordenando los objetos físicos al virtualizarlos. Con estos elementos paramétricos se podrá incluir información relativa al grado de deterioro, la urgencia de intervención, el origen de la lesión, su evolución y otras series de datos propios de un estudio patológico.

1. Las lesiones más comunes en edificación

Para el desarrollo de este trabajo se ha procedido a analizar las lesiones más frecuentes en las edificaciones actuales. Para ello se ha partido de la base de datos recopilada por la fundación MUSAAT (Carretero, 2016) y cuyo fin era el de minimizar los problemas en las obras y, a la larga, dotar de una mayor calidad a las edificaciones. Esto supone una visión esclarecedora acerca de las patologías para los agentes implicados en el sector de la construcción que ven cómo y dónde puede presentarse un daño en edificación.

Entre las muy variadas tipologías de lesiones propias de las edificaciones, y siguiendo las agrupaciones clásicas establecidas por el profesor Juan Monjo Carrió (Monjo, 1997), destacan por su importancia y por su probabilidad de aparición las siguientes:

- Carácter físico; la presencia de humedad en los elementos constructivos, los efectos de la erosión atmosférica que produce la degradación de los materiales, la aparición de suciedad, de diversos tipos y grados de adherencia, y la presencia de elementos biológicos.
- Carácter mecánico; las producidas por acción de esfuerzos y acciones, que producen movimientos, desgaste, aberturas o separaciones de materiales, o elementos constructivos, destacan las aberturas de carácter lineal, como son las grietas y fisuras, los desprendimientos de elementos y las deformaciones, tales como flechas en forjados, pandeos o desplomes en muros.
- Carácter químico; las oxidaciones, las corrosiones y las transformaciones a nivel molecular.

Para el estudio de las lesiones es fundamental aportar datos más allá de su propia localización; como el contenido de humedad, el espesor de una grieta, la composición de los elementos que forman la mancha de suciedad o la profundidad de degradación producida por la erosión atmosférica. Además, también debe poder seguirse la evolución de la lesión, para poder comprender como es el proceso de degradación y poder llegar así al origen de la lesión.

2. Convirtiendo lesiones en elementos BIM

Una vez clarificadas/ estructuradas las tipologías de información de cada una de las lesiones que queremos introducir en nuestro modelo BIM tendremos que “traducirlas” de acuerdo con las características del modelador BIM, en nuestro caso REVIT de AUTODESK.

2.1. La jerarquización de elementos en REVIT

REVIT, como aplicación de modelado paramétrico BIM y a diferencia de las aplicaciones CAD, se basa en una rígida jerarquización de los elementos que componen el modelo virtual del edificio.

Dejando de lado los elementos que no son familias de modelo, es decir todas aquellas que no son una representación virtual de la realidad constructiva, nos encontramos con un primer taxón, en el que los elementos son separados en disciplinas: arquitectura, estructura, otras tres para instalaciones y una más para coordinación. A partir de aquí la estructura se ramifica particularizando en categorías, familias y tipos hasta llegar a la entidad o ejemplar único.

La división en categorías, preestablecidas/ inalterables, sirve para ordenar los objetos en base a su comportamiento intrínseco -una ventana como un elemento que se incorpora/ perfora un muro a una determinada altura o un pilar como un elemento estructural de componente vertical-. Un escalón por debajo nos encontramos con las familias que son completamente configurables o, mejor dicho, parametrizables a nuestro antojo. Que las familias sean parametrizables significa que las construiremos en base a definir las pautas propias para cada una -anchura total, anchura de las hojas, altura y altura de antepecho para una ventana de dos hojas, o lado de la base para un pilar cuadrado entre otros ejemplos-. Los tipos que podemos crear a partir de cada familia son el resultado de introducir valores a los parámetros que la definen. O, dicho de otra forma, una familia se ramificará en tantos tipos como combinaciones de valores guardemos en los campos de sus parámetros -familia de “ventana de una hoja” con tipos de “60·80 cm”, “60·100 cm” o “80·100 cm”, por ejemplo-. Por último, nos encontraríamos con el ejemplar como resultado de implementar en el modelo un objeto de una tipología concreta -cada vez que colocamos un tipo de “ventana de una hoja” de la familia “ventana de una hoja” (Autodesk, 2019).

2.2. Las familias de REVIT en función de cómo se insertan

También resulta crucial entender cómo funcionan las distintas familias que, desde las propias plantillas de creación se incluyen con el programa, para asimilarlas a la lesión real.

Aunque las familias de REVIT se pueden agrupar de varias maneras, la clasificación que nos interesa en esta comunicación es la que hace referencia a su procedimiento de inserción. Si nos centramos en las “familias cargables” -que funcionan como archivos externos/ independientes y tienen la extensión RFA-, y analizamos sus mecánicas de inserción, podemos distinguir entre las basadas en punto, línea o plano:

- Familias basadas en un punto; es el grupo más sencillo y sólo necesitará que indiquemos un punto en el espacio tridimensional del modelo, que normalmente estará referido a algún objeto ya modelado, una vez ubicado espacialmente es posible, en función de la configuración intrínseca de la familia, que necesitemos definir/ completar algún parámetro más, pero geoméricamente la familia ya estará insertada.
- Familias basadas en líneas; este segundo grupo funciona de la misma manera, pero eligiendo al menos dos puntos para definir alineaciones y longitudes.
- Familias basadas en planos; este tercer grupo se diferencia de las anteriores por elegir, directa o indirectamente, al menos tres puntos para definir planos y superficies.

3. Creando familias para las lesiones

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 familias y deben estar cargados en el modelo para ser usados -"familias cargables" según REVIT-.

Además, al no haber una familia definida con anterioridad por ningún usuario, se debía elaborar desde cero, dando lugar a las tres tipologías definidas a continuación. Todas estas familias están basadas en cara. Esto significa que para introducirlas en el modelo debe haber un anfitrión que puede ser cualquier elemento ya modelado (muros, suelos, techos...) lo que aporta más facilidad para insertarlas y controlar los elementos afectados.

Para el desarrollo de estas familias, también se valoró la posibilidad del empleo de las subcategorías (BIMLevel) dentro de la clasificación de elementos que ofrece REVIT, descartándose en esta fase inicial debido a que el filtrado y la identificación se harían por medio de parámetros compartidos como se detalla en el punto 4. No obstante, no se descarta que en el futuro se clasifiquen también de esta manera para aportar orden y corrección al modelo.

3.1. Basadas en un punto genérico

Esta familia se empleará para representar daños de tipo puntual como, por ejemplo, las disfunciones o las roturas en tuberías. Pero también otras lesiones de tipo lineal o superficial que, por sus características geométricas, no se ajusten del todo a las familias de línea o de elipse.

Se trata de una familia basada en cara compuesta, a nivel de representación, por una esfera para controlar el punto donde queremos ubicar el daño y 3 circunferencias -uno por cada plano de referencia- concéntricas con un parámetro de visibilidad booleano -Sí/ No- para mejorar su representación gráfica.

Para insertar este tipo de familia sólo hace falta ubicarla en la cara del elemento al que afecta. Al ser una esfera definida por un radio, sólo hace falta reescribir el valor del parámetro de este para controlar su representación, al igual que sus circunferencias.

3.2. Basadas en línea definida por dos, tres, cuatro o cinco puntos

Esta familia se representarán daños de tipo lineal como las grietas, fisuras o juntas entre elementos.

Partiendo de la familia de la línea definida por dos puntos, el usuario deberá clicar el inicio y el final de la grieta por la cara del elemento afectado -preferiblemente en una vista 3D-. Una vez seleccionado el punto final, podrá seleccionarla y verificar como, entre sus parámetros, se encuentra la cuantificación de la longitud total de la misma. Del mismo modo, si la lesión tuviera cambios de dirección, se pueden usar los tipos definidos por tres, cuatro o hasta cinco puntos.

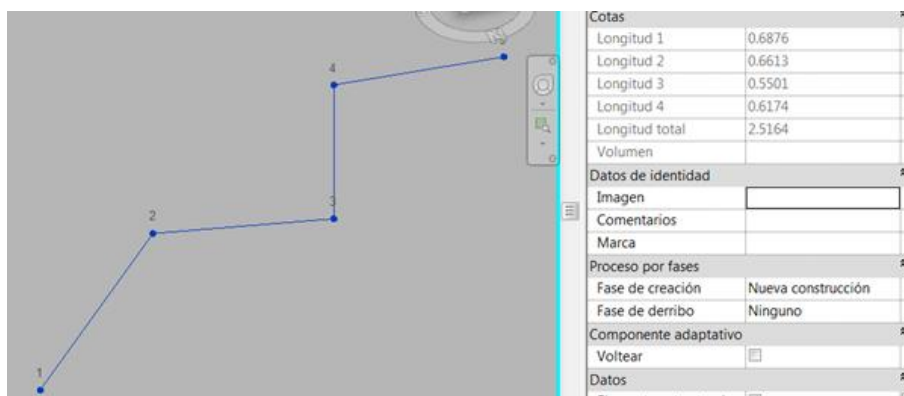


Fig. 1 Parámetros asociados a familias basadas en líneas. Fuente: Elaboración propia (2018)

Cada tramo -definido entre dos puntos- tiene una longitud para ser sumadas en el parámetro “longitud total” (Fig. 1). En el caso de querer representar lesiones con más de 5 cambios de dirección, se puede recurrir al “empalme” de familias, localizando el punto final de la anterior línea mediante un forzado de cursor.

3.3. Basadas en elipse, 1/2 elipse o 1/4 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/ descomposiciones de material, eflorescencias, encharcamientos o humedades.

El usuario debe introducir la familia en la posición más centrada de la localización real de la patología y definir los dos radios -mayor y menor- que definen la elipse. En los parámetros de esta familia, se puede cuantificar la superficie afectada por la misma.

Además, siempre que se defina el mismo material para cada instancia de lesión, después se podrá emplear el comando de “unir geometría” para lograr grafías que ajusten de manera más fidedigna su representación a la realidad patológica (Fig. 2).

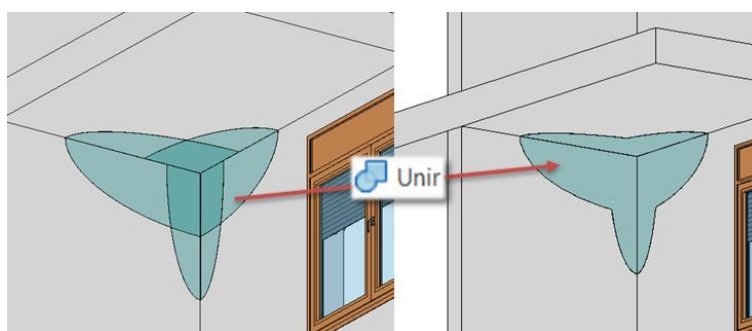


Fig. 2 Edición de instancias de familia basadas en elipses para su correcta representación. Fuente: Elaboración propia (2018)

4. Parametrizando las lesiones

Pero si nos quedáramos aquí, únicamente habríamos conseguido una pequeña mejora en lo que respecta a la trasposición gráfica de las lesiones y estaríamos muy lejos de la filosofía/ potencia del BIM. Crear un modelo BIM no sólo significa modelar geometría, sino añadir información al proyecto.

4.1. Añadiendo información a las lesiones.

Por todo lo anterior, además de los parámetros propios del control geométrico de las familias, se han implementado otros parámetros básicos -ampliables a posteriori y en función de necesidades más específicas- para un estudio patológico como:

- Patología
- Fotografía
- Elemento estructural
- Evolución de la lesión
- Tipo de lesión
- Ficha patológica

Estos parámetros se han ido asociando a cada una de las familias creadas previamente para que puedan ser accesibles/ editables, una vez seleccionada la instancia de familia, desde la “paleta de propiedades” y agrupados como “datos”. Además, se han introducido en el modelo como “parámetros compartidos” -según REVIT- para poder reutilizarlos en otros proyectos.

4.2. Leyendo/ editando información a las lesiones.

Cuando se modela, se usan constantemente vistas gráficas como planos de planta, alzados, secciones o vistas 3D. Pero se puede acceder a la información contenida en el modelo de otra forma, esto es, como una lectura alfanumérica de la base de datos que constituye el modelo BIM.

Este tipo de vistas en REVIT reciben el nombre de tablas de planificación (Modelical, 2016) y con ellas podremos obtener información tanto de la geometría de los elementos como de otros parámetros de los elementos seleccionados.

Cada cambio realizado en un modelo será actualizado inmediatamente en cualquier tabla que haya sido creada, pero hay que tener en cuenta que también funciona en el otro sentido: cualquier cambio en una tabla se actualizará en el modelo consecuentemente. Esto es lo que hace a las tablas de planificación una herramienta muy potente, no sólo para leer sino también para editar información.

La parametrización de lesiones da como resultado la posibilidad de usar estas tablas de planificación para la clasificación de cada uno de los daños introducidos en el modelo. Esto se traduce en la realización de las tablas de planificación dentro de REVIT (Fig. 3).

<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		<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

Fig. 3 Tabla de planificación con familias de lesiones introducidas en el modelo. Fuente: Elaboración propia (2018)

Además, gracias al parámetro de URL asociado a cada lesión, podemos tener una vinculación entre estas y su ficha patológica a distintas fotografías, a imágenes termográficas, a resultados de ensayos o a otros archivos.

5. Filtrando y visualizando las lesiones dentro del modelo

Como hemos visto una de las ventajas que ofrecen los modelos BIM, como bases de datos, es la posibilidad de acceder a la información contenida en ellos de tres formas:

- La más obvia que ofrece REVIT es la resultante de seleccionar una visualización de la geometría definiendo una vista 2D o 3D del modelo que, además, permite el filtrado de esta con la elección de los elementos que son visibles y de cómo son representados, pudiendo utilizarse criterios de representación como los establecidos en la norma UNE-41808 (AENOR, 2013).
- De la representación geométrica del punto anterior, se desemboca en la posibilidad de documentar a través del modelo a través del uso de etiquetas multicategoría que nos permiten anotar aquellos elementos mediante los parámetros compartidos de los que se nutren. Cabe destacar que el modelo no se usó en este caso para generar documentación sino para control de la información patológica y, por lo tanto, no se desarrollaron etiquetas para tal fin. No obstante, no se descarta su uso en un futuro.

- Una tercera forma, menos obvia, pero con una potencialidad incuestionable, consiste en una visualización analítica de los valores parametrizados de los elementos del modelo. Esta forma de mirar el modelo a través de sus datos, mostrados mediante tablas similares a las de las hojas de cálculo, permite también el filtrado de estos y su tratamiento de manera directa; con lo que no se trata sólo de una herramienta de consulta, sino que permiten tratar/ editar gran parte de la información mostrada.

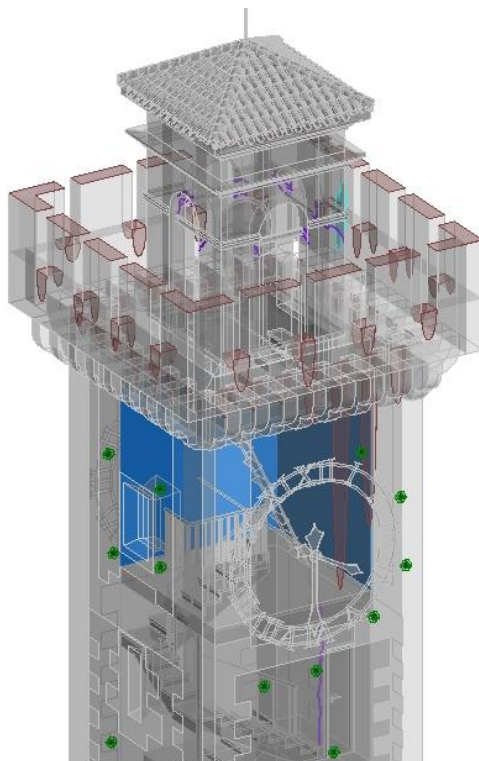


Fig. 4 Patologías identificadas por tipologías mediante colores en la zona alta de la torre. Fuente: Elaboración propia (2018)

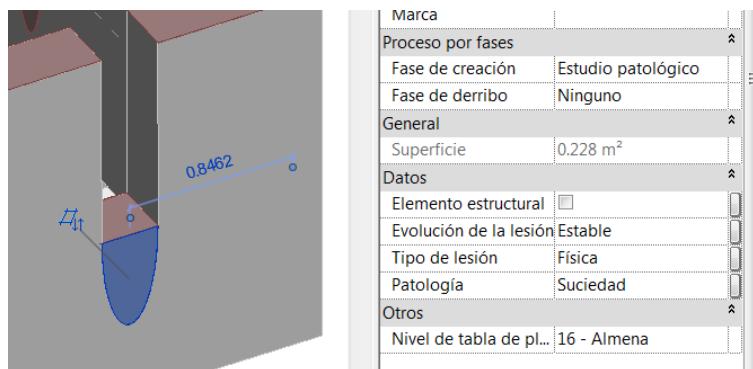


Fig. 5 Parámetros asociados a una patología dentro del modelo. Fuente: Elaboración propia (2018)

6. Exposición de resultados

Para testar la idoneidad de las familias propuestas para definir las lesiones se ha desarrollado, de manera paralela a la definición de estas, y tomando como referencias otros estudios sobre elementos patrimoniales donde se aplica metodología BIM (Nieto, 2016), un caso real en base a una práctica de la asignatura Patología y Restauración, previamente realizada. Este consistía en analizar una edificación para generar, bajo la metodología de trabajo tradicional, las correspondientes fichas de lesiones en base a representaciones gráficas usando CAD 2D, acompañadas de fotografías y textos descriptivos. El edificio objeto del estudio fue la Torre de Mangana, situada en Cuenca, una construcción anterior al siglo XVI, declarada Bien de Interés Cultural, que presentaba las siguientes lesiones: presencia de vegetación, zonas

afectas por humedad, desprendimientos, grietas y fisuras, erosiones, eflorescencias, zonas con oxidación y presencia de suciedad.

Estas lesiones se añadieron a un modelo con el empleo de una o varias de las familias mencionadas anteriormente como son las recogidas en la tabla (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de patologías y tipo de familia necesaria para su representación. Fuente: Elaboración propia (2018)

	Línea				Elipse			Punto genérico
	Basada en 2 puntos	Basada en 3 puntos	Basada en 4 puntos	Basada en 5 puntos	Elipse	1/2 Elipse	1/4 Elipse	
Vegetación								
Humedad								
Desprendimientos								
Grietas								
Erosiones								
Eflorescencias								
Oxidación								
Suciedad								

Una vez introducidas todas las lesiones, se consiguió, aplicando procedimientos de filtrado/ visualización de la información contenida en las mismas, comprobar cuáles eran las que tenían un carácter más urgente y cómo se interrelacionaban entre ellas.

Una vez realizado un análisis global, se continuó el estudio realizando fichas patológicas de cada lesión que posteriormente se subieron a la nube. En este caso, se usó una carpeta compartida dentro de Google Drive. Esto permite que cada documento tenga una dirección web para poder asociarlo a los elementos del modelo a través de un parámetro URL. Gracias a esto, el modelo puede compartirse a otros técnicos disponiendo de toda la información necesaria.

Haciendo una comparación con la metodología de trabajo tradicional, una vez salvado el contratiempo de la generación de un modelo básico del edificio objeto de estudio, los beneficios de la metodología BIM son incuestionables. A través de las múltiples lecturas de lesiones que posibilita el modelo tanto gráfica -vistas geométricas del modelo- como analíticamente -tablas de planificación con filtrado de parámetros- se puede comprender mejor el estado de conservación del edificio. También se facilita la propuesta de intervención, al permitir la rápida identificación y cuantificación de los elementos dañados, permitiendo una rápida recreación visual de las actuaciones y una valoración de costes.

7. Potencial dentro del estudio y seguimiento de patologías

Paralelamente al análisis patológico mediante el uso de un modelo virtual del edificio, también se desarrolló una herramienta web que permitía visualizar las lesiones de manera tabulada de forma similar a como se muestran en las tablas de planificación. La ventaja de hacerlo mediante esta herramienta radicaba en poderlo hacer de una manera más intuitiva y extraer, desde la herramienta web, cada una de las fichas patológicas en formato PDF (Fig. 6). En estos momentos se está trabajando para desarrollar un plugin para REVIT que vinculará el modelo con la plataforma de manera que los datos se sincronicen de manera automática y que podrá dar pie a una futura comunicación.

La introducción de patologías en un modelo BIM es una tarea que aporta un gran valor añadido por la capacidad que se descubre al integrar el ámbito patológico en esta metodología. Acrecentar esta clase de información a un modelo, puede enriquecerlo en gran medida y permitir que los técnicos que se dediquen al mantenimiento de edificios -Facility Managers- puedan verse beneficiados de las ventajas que tiene trabajar sobre un modelo virtual con información basada en un edificio real (Reforalia, 2014).

En este campo, todavía hay mucho por hacer en cuanto al desarrollo e introducción de elementos BIM patológicos ya que, a la propuesta de familias que se ha hecho en este estudio, se pueden añadir múltiples flujos de trabajo como los que se han mostrado.

El empleo de elementos patológicos en la metodología BIM, es una tarea de la cual hay muy poca información en la actualidad. Hoy en día, esta metodología está mucho más desarrollada para la fase de proyecto a diferencia de su uso en la fase de mantenimiento y operación. Eso está cambiando debido a la incipiente, por ahora, entrega de modelos BIM que se está produciendo y que, sin duda alguna, terminará por implantarse con naturalidad en todo el ciclo de vida de un edificio.

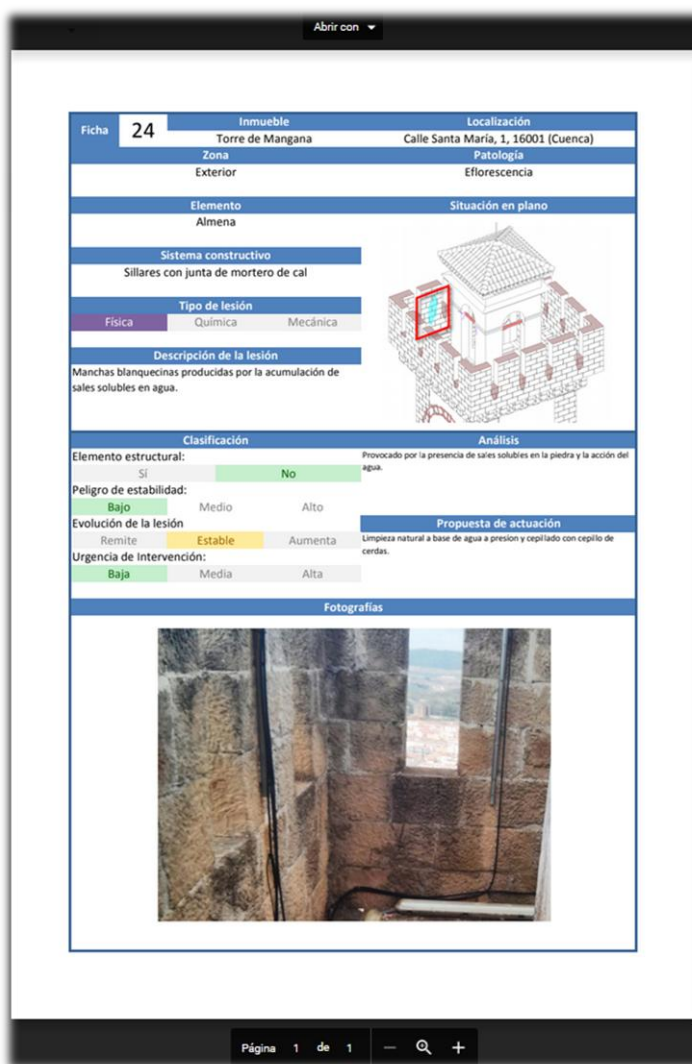


Fig. 6 Ficha asociada al modelo a través del parámetro URL. Fuente. Elaboración propia (2018)

8. Conclusiones

Previamente al inicio de este estudio, se pretendía llevar la metodología BIM al ámbito de las patologías en edificación. Para ello se procedió al desarrollo de elementos que permitieran representar las posibles lesiones de un edificio.

Con el desarrollo del análisis patológico de la Torre de Mangana, se pudo comprobar que el uso de REVIT frente a la manera tradicional de trabajar ayudaba a tratar los diferentes daños de una manera más heurística ya que añadirlos a un edificio virtual en vez de a una representación 2D, posibilitaba poder visualizarlos y acceder a ellos en una sola vista. Estas familias generadas se pudieron aplicar dentro los diferentes niveles de desarrollo (LOD) para el patrimonio histórico construido que se definen en las guías

Building Smart (Building Smart, 2018). Además, gracias al uso de las familias desarrolladas, se pudieron solventar algunos fallos y ver futuras mejoras.

También se ha puesto de manifiesto que el uso de la información en esta metodología es la principal ventaja. Gracias a esta información se ha descubierto la utilidad de la creación de tablas donde están recogidos todos los daños de un edificio para poderlos analizar de manera más exhaustiva.

Esta vinculación de modelo y datos ha permitido un mayor poder de análisis para realizar un estudio patológico lo que inevitablemente ha aportado una mayor calidad final.

En este sentido se confirma que el plus que representa el uso de esta metodología se empieza a rentabilizar desde el principio, pese al hándicap que supone tener que “adaptar” las herramientas genéricas disponibles y el trabajo extra de modelado previo. Además de las posibilidades que se plantean a partir del modelo virtual hay que destacar la posibilidad de entrar de lleno en el flujo de trabajo que representa BIM con la integración tanto de agentes como de procesos dentro de la vida útil del inmueble.

Por último, podemos extrapolar las múltiples posibilidades que ofrece esta metodología sea cual sea el área de aplicación dentro del sector AECO, sólo es necesario enfocar nuestras necesidades e investigar con las, cada vez más completas, herramientas BIM a nuestra disposición.

9. Referencias

AENOR (2009) *Norma UNE 41805 Diagnóstico de edificios* Madrid: AENOR.

AENOR (2013) *Norma UNE 41808 Estructuras de madera existentes. Sistemas de representación gráfica del estado constructivo de las estructuras de madera existentes* Madrid: AENOR.

AUTODESK (2019). *Acerca de las familias*. <<https://autode.sk/2GVYEUO>> [Consulta: 1 de marzo de 2019]

BENDALA ÁLVAREZ, F. (2012) *¿Qué pasa aquí? Manual práctico para la investigación y diagnóstico de las lesiones de la edificación*. Madrid: LA LEY. ISBN 978-8481264173

BROTO COMERMA, C. (2006) *Enciclopedia Broto de las Patologías de la Construcción*. Barcelona: Links International. ISBN 978-8489861954

BUILDING SMART SPANISH CHAPTER (2018). *BIM aplicado al Patrimonio Cultural* <<https://www.buildingsmart.es/app/download/12395741726/Gu%C3%ADa%20BIM-Patrimonio.pdf?t=1544627308>> [Consulta: 1 de marzo de 2019]

CARRETERO AYUSO, M.J. y MORENO CANSADO, A. (2016). *L Análisis Estadístico Nacional sobre Patologías en Edificación (II)*. Madrid: Fundación MUSAAT.

BIMLEVEL, “002 Visibilidad en familias”. Ivoox < https://www.ivoox.com/002-visibilidad-familias-audios-mp3_rf_31721010_1.html>

MODELICAL (2016). *Tablas de planificación*. <<https://www.modelical.com/es/gdocs/programacion>> [Consulta: 1 de marzo de 2019]

MONJO CARRIO, J. (1997) *Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos*. Madrid: Munillalera. ISBN: 978-8489150126

MUÑOZ HIDALGO, M. (1988) *Conceptos y patología en la edificación*. Sevilla: Manuel Muñoz Hidalgo. ISBN: 978-8440420862

NIETO, J.E. et al (2016). *Management of built heritage via the hbim project: a case study of flooring and wall tiling*. “Virtual Archeology Review [S.I.]”, v. 7, n. 14, p. 1-12. Online. <<https://polipapers.upv.es/index.php/var/article/view/4349>> ISSN 1989-9947.

PÉREZ GONZÁLEZ, P.E. (2018). *Herramienta web para la gestión de Patologías en Edificaciones*. Trabajo Fina de Grado. Cuenca: Escuela Politécnica de Cuenca, Universidad de Castilla-La Mancha.

PETROBIM (2015). *¿Qué es PETROBIM?*. <<http://petrobim.com>> [Consulta: 1 de marzo de 2019]

REFORALIA (2014). *¿Qué es el técnico de cabecera de un edificio?*. <<http://reforalia.com/es/faq/58-que-es-el-tecnico-de-cabecera-de-un-edificio-arquitecto-aparejador>> [Consulta: 1 de marzo de 2019]

Desarrollo de plugin en BIM

Mayorga-Romero, Manuel^a

^aIngeniero técnico. BIM Manager en Ingennus Urban Consulting. España. mmayorga@ingennus.com

Abstract

BIM Methodology allows us to develop and refine our working procedures while we sharpen the information we have in a more efficient way.

To do so, we have created a control panel with a series of external commands in BIM software that allows the modeler to perform combined actions that avoid repetitive work. We have calculated the impact of this tool in terms of the number of working hours it optimizes by comparing historical data. The results have showed us a performance improvement of 35%. These tools enable modelers and architects to develop information while shaping and analyzing the model.

Through the control panel we apply and take the BIM methodology to a further level: establishment of subprojects and model's elements attached to each of them, numeration and name of rooms, opening direction of doors, nomenclature of system families, development of floors by type and room, establishment of shared parameters, collection of figures and building data for project managers, etc., We consider sharing our vision will have a positive impact within the sector.

Keywords: *BIM, API, programming, C#, development, control panel, Revit, Navisworks, efficiency.*

Resumen

La metodología BIM nos abre la puerta a desarrollar y afinar los procesos de trabajo, permitiéndonos amasar la información que manejamos a diario de forma más eficiente.

Por ello, hemos generado un panel de control, con una serie de comandos externos, que se aloja en software BIM y permite al modelador realizar acciones combinadas que eliminan trabajo repetitivo. Se ha calculado la implicación de este desarrollo en cuanto a la cantidad de horas de trabajo que optimiza, y se han obtenido mejoras en el rendimiento en torno al 35%, calculadas mediante comparación con datos históricos. El uso de estas herramientas permite a delineantes y arquitectos generar información, modelar y estudiar el modelo.

Desde la creación de subproyectos y adhesión de los elementos del modelo a cada uno de ellos, pasando por numeración y nombre de habitaciones, sentido de apertura de las puertas, nomenclatura de familias de sistema, creación de suelos por tipo y habitación, creación de parámetros compartidos, extracción de gráficas y datos de edificabilidad para los directores de proyecto, etc., este panel de control nos ha permitido aplicar y entender la metodología BIM de una manera diferente, y resulta necesario compartir esta nueva visión con el resto del sector.

Palabras clave: *BIM, API, programación, C#, desarrollo, panel de control, Revit, Navisworks, rendimiento.*

Introducción

La programación y su implementación en la vida profesional es vital para adaptarnos a los continuos cambios que sufre el sector. Cada vez en mayor medida, los profesionales han de adaptarse rápidamente a las posibilidades que nos ofrece la tecnología y para ello hemos de tener la capacidad de reaccionar y poder desarrollar y adaptar nuestras herramientas de trabajo a las necesidades reales que surgen en el trabajo cotidiano.

La presente comunicación pretende clarificar la programación sobre la API (Interfaz de programación de aplicaciones) de software BIM mediante el sistema de lenguaje C#. Desarrollado sobre Visual Studio 2015/17

Se van a describir las herramientas de modelado y cálculo generadas. Las herramientas de modelado están orientadas a añadir prestaciones que actúan sobre los tiempos de diseño del proyecto y a la agilización de procesos y las herramientas de medición están destinadas a solventar necesidades acerca de parámetros que no cumplen su función correctamente a la hora exportarlos a software de medición.

Se va a realizar una descripción de las diferentes herramientas desarrolladas acompañadas de comentarios y descripciones sobre su código.

Lectura de necesidades

Lo primero que se ha de plantear cuando queremos iniciar la creación de un plugin es la de definir qué acción o tarea queremos eliminar o automatizar, para ello una de las características fundamentales para un BIM Manager entre otras tantas es la de escuchar. Si lo hace adecuadamente irá descubriendo las necesidades reales del despacho, oficina o empresa, lo cual en ocasiones le forzará a replantear el orden prioridades en cuanto a desarrollos de plugin se refiere, además le proveerán de diferentes puntos de vista que añadan o eliminen características y funcionalidades en estos.

Renombrar tipos de familia de sistema, crear vistas, crear planos, nombrar automáticamente, crear niveles, crear rodapiés de habitaciones, trabajo con geometrías, topografía y un sinfín más de posibilidades son las que surgen de la necesidad de mejora en procesos de trabajo BIM.

Inicio de plugin

Una vez que tenemos definido el carácter del plugin a desarrollar y sus funciones principales se procede a organizar una estructura de clases y formularios necesarios para su elaboración. En muchos casos es interesante realizar un pequeño boceto a modo de previsualización de la interfaz gráfica del plugin, mediante el cual definir algunas características y funcionalidades para finalmente organizar el proyecto.

El ejemplo de la figura 1 es la ventana del explorador de soluciones del software Visual Studio 2017 sobre el cual se ha escrito el código de la aplicación destinada a funcionar sobre Autodesk Revit. Dicho programa es una interfaz de aplicaciones que recoge todas las funcionalidades de modelado en la misma ventana o aplicación, como se muestra en la figura 2.

En este caso la ventana nos muestra un display de aplicaciones ordenadas por uso: habitaciones, áreas rellenadas, inicio de proyecto, vistas y planos y finalmente carpinterías. Se ha definido cada uno de ellos como un desplegable con las diferentes herramientas desarrolladas, cuyo objetivo es el de ordenar las diferentes aplicaciones. Como elemento adicional se ha añadido un botón "Protocolos de trabajo" que permite acceder a la versión actual del protocolo de modelado en formato .pdf (Github, 2018).

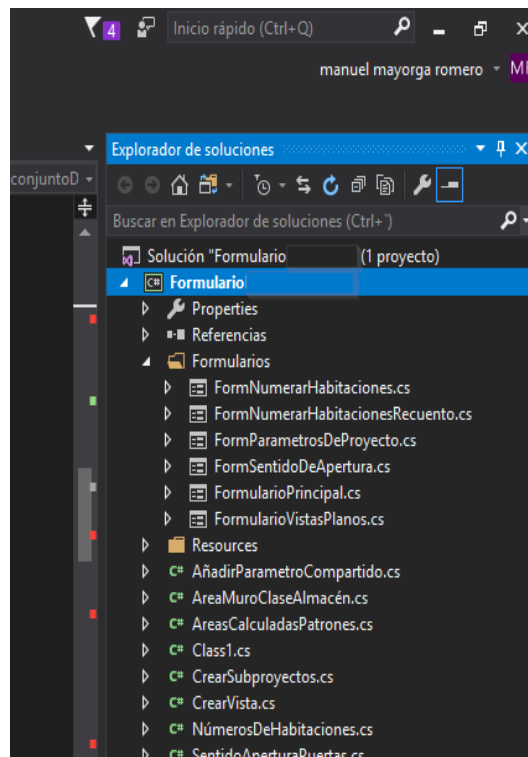


Fig. 1 Explorador de soluciones. Fuente: Propia, Visual Studio (2019)



Fig. 2 Aplicación principal modelado. Fuente: Propia (2019)

1. Plugin de Modelado

El plugin que se va a definir comprende una serie de herramientas agrupadas en la misma interfaz. En este desarrollo se han agrupado las herramientas que dan soporte a la consecución del modelo, es decir, herramientas de modelado y herramientas que permiten la introducción masiva de información al proyecto. A continuación, se describirán las funciones principales.

1.1. Habitaciones

Se ha planteado el siguiente plugin de modelado como herramienta de numeración de habitaciones. Existe la necesidad de ordenar las tablas de planificación de superficies por vivienda, de manera que los elementos que la componen salgan en un determinado orden preestablecido. El desarrollo ordena las habitaciones del proyecto creando colecciones de elementos en función del nombre de la habitación y numerándolas según

el orden de las habitaciones mostrado en la figura 3. Al finalizar el proceso genera un diagrama de las habitaciones del proyecto mostrando el porcentaje de cada una de ellas.

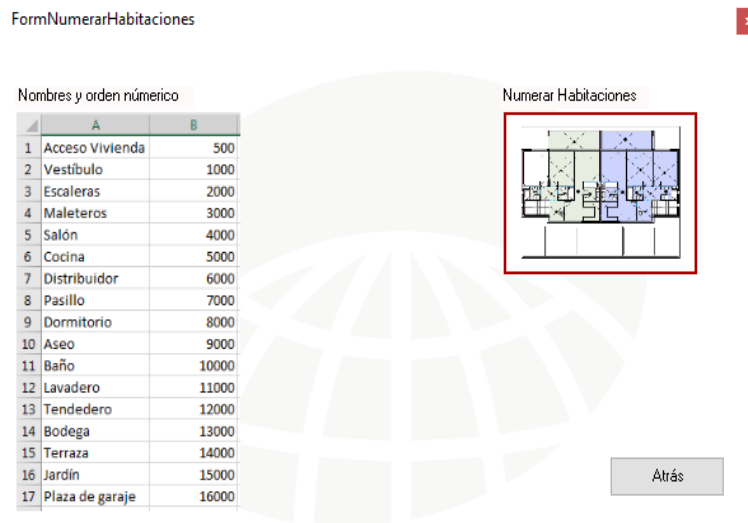


Fig. 3 Aplicación Habitaciones. Fuente: Propia (2019)

1.2. Inicio de proyecto

En la pestaña de inicio de proyecto se han generado dos plugin. El primero de ellos consiste en la creación de subproyectos preestablecidos, esta aplicación se ha preparado para su ejecución posterior a la conversión del archivo a central. El segundo plugin consiste en la creación de parámetros compartidos por bloques, mediante el cual podemos añadir al proyecto paquetes de parámetros compartidos en función de las necesidades de desarrollo de este. De esa manera se ha evitado añadir dichos conjuntos de parámetros a la plantilla de proyecto y se reserva su uso solo en caso de ser necesarios.

1.3. Vistas y planos

Con este plugin podemos generar el conjunto de las vistas necesarias en el modelo, en función de los niveles seleccionados y de los tipos de vista existentes en documento activo (figura 4).

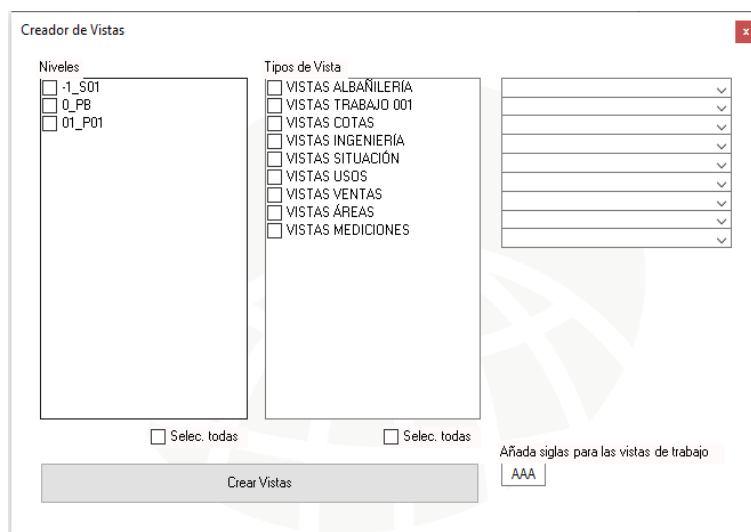


Fig. 4 Aplicación Creación de vistas. Fuente: Propia (2019)

En la aplicación se muestran los niveles del proyecto, los tipos de vista disponibles y junto a estos una serie de pestañas desplegadas con las plantillas de vista existentes en el documento.

Para crear las vistas se ha generado la clase descrita a continuación:

```
public bool CrearVistaMetodo(Document doc, ElementId tipoDeVistaId, Level nivel, string
nombreVista, ElementId plantillaId)
{
    Document documento = doc;
    ElementId tipoVistaId = tipoDeVistaId;
    ElementId nivelId = nivel.Id;
    ElementId plantillaV = plantillaId;
    string nombreV = nombreVista;

    try
    {
        using (Transaction nuevaTrans = new Transaction(documento))
        {
            nuevaTrans.Start("Creador de vistas");
            ViewPlan vista = ViewPlan.Create(documento, tipoVistaId,
nivelId);

            vista.Name = nombreV;

            vista.Discipline = ViewDiscipline.Architectural;
            try
            {vista.ViewTemplateId = plantillaV;}
            catch { }
            nuevaTrans.Commit();
        }
    }
    catch {}
    return true;
}
}
```

Se ha planteado la creación de la vista mediante el documento, el tipo de vista a crear, el nivel al que pertenece la vista, el nombre de la vista y la plantilla que se le ha de aplicar (Tammik, 2018).

1.4. Carpinterías

Se ha generado este plugin con la finalidad de colocar los sentidos de apertura de las puertas y ventanas del proyecto. Esta tarea elaborada de manera manual comprende seleccionar cada una de las puertas del modelo e insertarle en el parámetro correspondiente el sentido de apertura, ya sea “IZQ” o “DER”. Se ha conseguido añadir esta información en las puertas y ventanas del proyecto ejecutando el plugin provocando una disminución de tiempos de modelado considerable.

2. Plugin de cálculo

Se van a describir las herramientas de cálculo diseñadas con la finalidad de añadir parámetros y la información de estos a los elementos del modelo, los cuales son necesarios para la exportación a programas de medición.

Los parámetros altura y área de la categoría muros, son parámetros que existen en Revit por defecto y no terminan de cumplir con las necesidades de medición que plantearemos a continuación.

2.1. Altura de muros

En el caso de la altura, el parámetro que posee Revit en los muros es el de “Altura desconectada”. Este parámetro no se ha de confundir con la altura real del muro, debido a que ocurre que si los muros están

enlazados con su parte superior sigue dando el valor de altura previo a su conexión, lo que genera diferencias en la medición con respecto al cálculo del área del propio muro. Por lo que no podemos decir que la "Longitud" por la "Altura desconectada" sea igual a área total del muro, entendiendo como área total el área sin tener en cuenta los huecos ya sea debido a puertas, ventanas o en definitiva cualquier elemento que use al muro como anfitrión y le reste superficie.

Este parámetro de "Altura desconectada" se ha tenido que volver a calcular mediante plugin siguiendo criterios diferentes a los preestablecidos para que cumpla con las exigencias de medición.

El algoritmo de cálculo expresado como esquema sería el mostrado a continuación (figura 5):

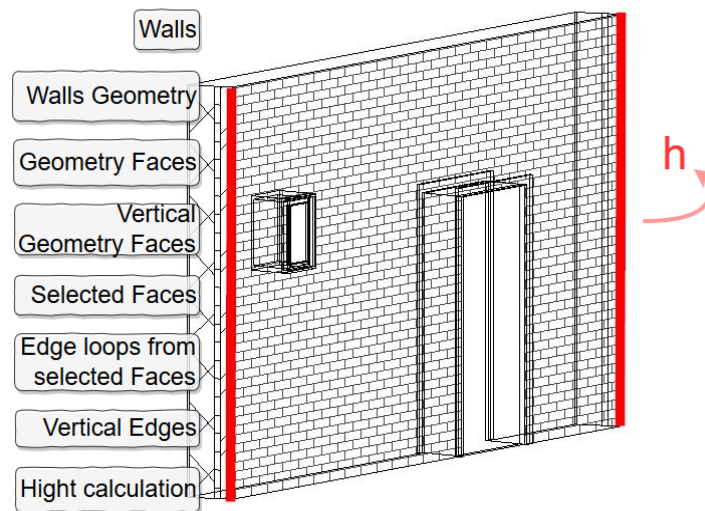


Fig. 5 Algoritmo descendente. Fuente: Elaboración propia Revit (2019)

Primero filtramos los muros del documento actual, una vez seleccionados los muros obtenemos la geometría y al descomponerla podemos obtener las caras de la geometría de cada muro como una colección de elementos. Suponiendo muros verticales, podemos seleccionar las caras con vector normal a la misma que posean su componente Z igual a cero, de esa manera tenemos una colección de elementos que son las caras verticales del muro. La forma de discretizar las caras de los extremos del muro es mediante los ejes que la componen y la orientación de la cara, ya que esta tendrá un ángulo diferente sobre la normal del muro que el resto. Pese a que este parece el proceso más lógico no termina de dar resultados correctos, una segunda solución es la de realizar una media de las áreas de todas las caras y discretizar las que están por debajo. En caso de ser más de dos caras las seleccionadas cogerá las dos primeras ordenadas por altura, debido a que de manera general existirán elementos hospedados en los muros.

Existen situaciones muy concretas en las que el desarrollo de cálculo genera un error del 6% en las que el muro posee una parte superior inclinada y los elementos alojados en el muro sobresalen del mismo. Como se muestra en la figura 6.

Para solventar lo expuesto anteriormente se ha añadido una excepción al código que elimine el primero de los ejes de las caras verticales que coincidan en altura con la de los elementos hospedados en el muro. De esta manera se ha eliminado la posibilidad de error en el plugin.

2.2. Área de muros

En el caso del área de los muros Revit nos ofrece el área descontando todos los huecos generados por los elementos hospedados en el muro. En la mayoría de los casos necesitaremos descomponer esas mediciones en diferentes valores de área dependiendo del tamaño de los huecos e incluso, valores medios de esas áreas para rangos de valores determinados.

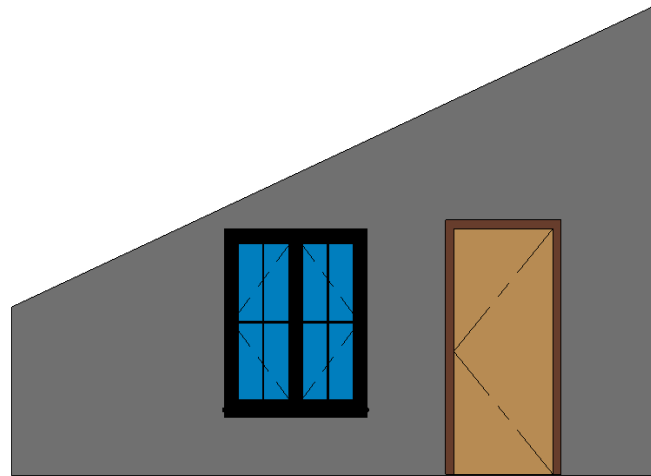


Fig. 6 Situación de error. Fuente: Elaboración propia Revit (2019)

El algoritmo de trabajo comprende la selección de los muros del proyecto, la generación de colecciones con los elementos dependientes u elementos hospedados en el muro, el cálculo de las áreas de hueco que genera cada uno de ellos y la clasificación de dichas áreas para descontar la totalidad o la mitad del hueco en función del rango de valores definido para tal efecto.

El algoritmo expresado como esquema sería el que se muestra en la figura 7:

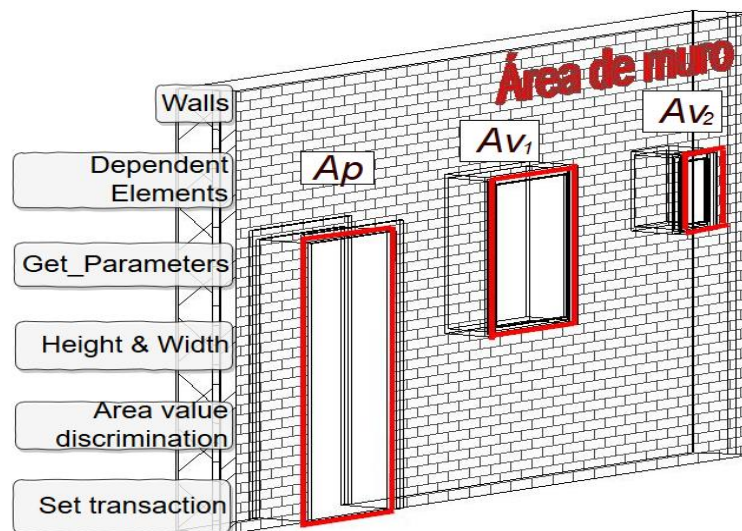


Fig. 7 Algoritmo descendente. Fuente: Elaboración propia Revit (2019)

Obteniendo el resultado como sigue:

$$A_{neta} = A_p + \left(\frac{Av_1}{2}\right) + A_{muro}$$

$$A_{total} = A_p + Av_1 + Av_2 + A_{muro}$$

En función de los criterios planteados obtendremos el área neta y el área total medida a cinta corrida de cada uno de los muros.

3. Análisis de impacto sobre los tiempos de definición de proyectos

A continuación, se van a definir los criterios de estudio para la obtención de los ahorros en tiempos en la aplicación de los Desarrollo descritos anteriormente. Comparando las tareas realizadas manualmente y en

software BIM, no teniendo sentido comparar estos tiempos con los obtenidos mediante software CAD y atendiendo solo a las tareas concretas sobre las que se plantea este estudio.

Los tiempos obtenidos de ejecución de las diferentes tareas calculados previamente al uso de estos plugin, se ha realizado mediante la media de los tiempos de trabajo definidos por 6 delineantes con experiencia superior a 25 años y con una media de 7 años de experiencia en el desarrollo de proyectos en metodología BIM.

Se ha de tener en cuenta para el cálculo la existencia de modificaciones de proyecto, las cuales en ocasiones obligan a realizar retrabajos que implican un incremento considerable de tiempo de modelado afectando exclusivamente a las tareas realizadas sin automatización. Debido a que las tareas automatizadas solo se ha de pulsar de nuevo en la aplicación correspondiente para su corrección.

A continuación, se muestra una tabla con los datos recogidos, ordenados por plugin. De esta tabla se han excluido los plugin de operaciones que no se realizaban anteriormente y de manera previa a su creación como es el caso de los plugin de cálculo descritos en el apartado 3 (Tabla1).

Tabla 1. Cálculo de tiempos por plugin. Fuente: Creación propia (2018)

Estudio de impacto del uso de plugin en proyectos		
Plugin	T. sin plugin	T. con plugin
Renumerar habitaciones	2,2 h	≈0
Inicio de proyecto	0,1 h	≈0
Vistas y planos	0,3 h	≈0
Carpinterías	1,3 h	≈0
Creación de Subproyectos	0,1 h	≈0
Añadir elementos a Subproyectos	3 h	≈0
Zonificación de muros	4 h	≈0
Añadir parámetros compartidos	0,2 h	≈0
Crear suelos por habitación	6 h	≈0

A continuación comentaremos el impacto de estos y otros automatismos cuando se aplican a proyectos completos y no solo a tareas concretas.

En esta tabla se muestran los proyectos clasificados según si se han aplicado o no desarrollos. Para el estudio se han añadido los proyectos en los que se han aplicado uno o más automatismos de modelado de los que se usan actualmente, lo que implica una disminución del porcentaje de mejora con respecto al real.

Para el cálculo de los datos se han tenido en cuenta valores como superficie por vivienda, tipología de proyecto aplicando un factor “k”, número de niveles, porcentaje de plantas tipo con respecto al total de niveles existentes, personas implicadas en el proyecto etc. Todos los datos mostrados en la tabla se han extraído de una base de datos de proyectos realizados entre 2014 y 2019 generando los valores numéricos mostrados en la tabla 2, en la cual se muestran nombre de proyecto, superficie y un coeficiente obtenido en función de lo comentado anteriormente, por lo que solo se muestran los proyectos de los cuales se ha podido recabar la información descrita anteriormente en su totalidad. En este caso lo proyectos más representativos.

Como resultado extraído tenemos el porcentaje de disminución de coste en cuanto a horas de trabajo, comparando proyectos con y sin desarrollos tanto Dynamo como plugins de propios (Tabla 2).

Tabla 2. Cálculo de indicadores por proyectos. Fuente: Creación propia (2018)

Proyecto	Descripción	Superficie	Indicador	
14001	MODIFICACIÓN BFI	5.912,15	0,2956075	Sin desarrollos
14002	VIVIENDAS TORRE DEL AGUA	6.637,75	0,398265	Sin desarrollos
14004	BLOQUES ROJOS	33.329,35	2,666348	Sin desarrollos
14005_1	PROYECTO DE URBANIZACIÓN "La Barquita"	259.600,00	2,96	Sin desarrollos
14035	ÁREAS LIBRES Y DE JUEGO S88/1 R18PC	2.360,00	0,1888	Sin desarrollos
14041	REMODELACIÓN DE ZONAS DEPORTIVAS MUNICIPALES.	12.068,66	0,4827464	Sin desarrollos
14053_1	MODIFICACIÓN PROYECTO HOSPITAL	65.352,50	3,267625	Sin desarrollos
14054	VIVIENDAS CALLE MANIFESTACIÓN	1.010,80	0,030324	Sin desarrollos
14060	DO PRINCIPE FELIPE	59.200,51	1,7760153	Sin desarrollos
14064	64 VIVIENDAS AVINCAS MURANO S-88-1 P-R08C	122.014,18	2,5409926	Sin desarrollos
14073	VIVIENDAS EN CALLE BIEL	17.636,65	1,058199	Sin desarrollos
14073_1	VIVIENDAS EN CALLE BIEL FASE 2	4.968,10	1,87	Sin desarrollos
14073_3	VIVIENDAS EN CALLE BIEL FASE 3	11.778,60	1,23	Sin desarrollos
14078	LABORATORIO NACIONAL DE SALUD GUINEA	6.946,50	1,456	Sin desarrollos
14087	VIV. PLAZA MOZART	10.583,91	0,8467128	Sin desarrollos
14090	VIVIENDAS PLAZA DEL PILAR	6.290,26	0,2516104	Sin desarrollos
14091	VIVIENDAS CAMINO DEL VADO	2.251,47	0,0675441	Sin desarrollos
15009	REPARCELACION F61_1	101.348,91	1,0809346	Sin desarrollos
15011	GASOLINERA Y TRUCKSTOP ZOILO VILLANUEVA	682,25	0,040935	Sin desarrollos
15021_2	23+23+23 VIVIENDAS URDULIZ	11.649,00	0,11649	Sin desarrollos
15029	P. REPARCELACION G-54-3 DEL PGOU DE ZARAGOZA	5.984,00	0,41888	Sin desarrollos
15037	MODIFICACION PP ESTACHO DE LANUZA	137.805,00	2,0244	Sin desarrollos
15041	18 VIVIENDAS URDULIZ P-BL-15	3.278,00	0,22946	Sin desarrollos
15043	60 VIVIENDAS AI G-50-1 AV. CATALUÑA ZARAGOZA	1.243,76	0,0124376	Sin desarrollos
15043_1	MODIF PROYECTO URBANIZACION AI G-50-1 AV. CATALUÑA	5.750,00	0,575	Sin desarrollos
15044	RESIDENCIAL HISPANIDAD	8.685,66	0,868566	Sin desarrollos
15045	ARAGONIA TRENTO MAX FASE I	17.703,81	1,770381	Sin desarrollos
15045_1	ARAGONIA TRENTO MAX FASE 2	8.574,33	0,857433	Sin desarrollos
15045_3	TRENTO MAX_FASE III	6.787,48	0,6108732	Sin desarrollos
16003	16 VIV AVDA GOYA 85	2.823,58	0,1129432	Sin desarrollos
16005	TRIBUNALES MALI	10.657,24	0,2131448	Con desarrollos
16008	DONATELLO_MURANO II	10.214,85	0,7150395	Con desarrollos
16010	URBANIZACION LOTE 23-B PARACAS	100.028,00	3,00196	Con desarrollos
16013	16 VIV CUARTE MONASTERIO	4.436,32	0,3992688	Con desarrollos
16015	137 VIVIENDAS EN IBIZA	27.369,15	2,736915	Con desarrollos
16016	MODIFICACION PGOU SALLENT DE GALLEGO.	345.956,00	3,45956	Con desarrollos
16020	TORRE ROMAREDA 75	16.849,73	1,1794811	Con desarrollos
16022	36 VIV PARCELA F-1 DEL AREA 36 URDULIZ	6.576,53	0,2630612	Con desarrollos
16027	MOD. PUNTUAL PGOUZ INDEPENDENCIA 35.	4.423	0,8	Con desarrollos
17001_2	SORIGUE_37 VIVIENDAS P8	7.835,45	0,626836	Con desarrollos
17002	PROYECTO DE REPARCELACIÓN UE24 UTEBO	11.212,00	0,44848	Con desarrollos
17004	INSTITUTO POLITECNICO PANAMA	3.011,67	0,1807002	Con desarrollos
17005	TORRE ZARAGOZA	62.017,00	3,2456	Con desarrollos
17006	VIA 30	6.342,63	0,5074104	Con desarrollos
17007	23 VIV CUARTE_TUGUEDER	3.722,45	2,4578	Con desarrollos
17008	54 VIVIENDAS MURANO III	6.692,23	2,1246	Con desarrollos
17009	INDEPENDENCIA 10	16.306,24	1	Con desarrollos
17014	AMPLIACION GASOLINERA EL PORTAZGO 2	532,00	0,45	Con desarrollos
17016	110 VIVIENDAS BENICALAP NORTE	16.730,00	1,0038	Con desarrollos
17020	ALMACEN H61.3	4.329,50	0,43295	Con desarrollos
17022	CENTRO DE DIA SANTA ISABEL	2.969,80	0,4586	Con desarrollos
17023	PROYECTO REPARCELACION UE	11.100,00	0,444	Con desarrollos
17024	PROYECTO URBANIZACION UE 1	11.100,00	0,8457	Con desarrollos
17029	134 VIV SEMINARIO FASE III_IV	15.672,00	1,5672	Con desarrollos
18002	CANFRANC HOTEL	9.187,00	3,021	Con desarrollos
18007	FINCA RESTAURANTE DE EVENTOS CUARTE	1.195,72	1,35	Con desarrollos
18011	32 VIV PARCELA 18 RIVAS	10.282,72	3,1247	Con desarrollos
19002	VIVIENDAS BORDE NORTE GRANADA	21.684,52	1,301	Con desarrollos

El campo indicador es el resultado que nos indica la efectividad del proyecto con respecto a los parámetros planteados anteriormente. La media del valor del indicador para los proyectos en los que no se han aplicado desarrollos es de “1,003” y la media del indicador en los proyectos en los que se han aplicado desarrollos y plugin es de “1,334” por lo tanto podemos decir que se han incrementado la eficacia calculada a través del indicador en torno al 35% en los proyectos.

4. Conclusiones

Un proyecto está compuesto por una larga cadena de procesos y estudios entrelazados entre sí, los cuales en ocasiones, hay que volver a procesar debido a cambios y estos cambios son inherentes a cualquier definición y cualquier tipo de proyecto, ya sea de industria, arquitectónico, civil... etc. Un buen sistema de desarrollo de proyectos ha de ser capaz de adaptarse a esos cambios y ser ágil en sus más que posibles modificaciones. Por lo tanto, dotar al proceso de trabajo de herramientas que agilicen su ejecución es vital en todas las facetas y circunstancias existentes. En este caso se han explicado unas pocas herramientas que se aplican en momentos concretos del proceso de diseño y se ha estudiado su impacto en la definición general del proyecto demostrando su utilidad y sobre todo definiendo el campo de la programación de autoconsumo como uno de los terrenos con mayor interés en la actualidad BIM.

5. Referencias

GITHUB. *Built for Developers*. <<https://github.com/>> [Consulta: 18 de septiembre de 2018]

TAMMIK, J (2018). *The Building Coder: Programming Forge, BIM and the Revit API*. <<https://thebuildingcoder.typepad.com/>> [Consulta: 11 de octubre de 2018]

Gestión integrada de obra

Reina-Rojas, Andrea^a; Di Battista, Chiara^b y Sarrocco, Matteo^c

^aBIM Coordinator – Parallel Digital (Roma, Italia) andrea.reinarojas@parallel.digital; ^bBIM Coordinator – Parallel Digital (Roma, Italia) chiara.dibattista@parallel.digital y ^cBIM Manager – Parallel Digital (Roma, Italia) matteo.sarrocco@parallel.digital .

Abstract

The goal of our research is the development of a complete process for the management of the construction site phases and the execution of the operations in safety through the use of an integrated platform. It is based on the management of different databases and a 3D model through the use of a CDE (Common Data Environment), the information is easily accessible and visible through a simple and intuitive graphic interface of the site. Everything is created by the use of BIM software and Google tools. The data that compose the CDE is result in the following way:

- *Data export from Revit model using Dynamo*
- *Data entry by the construction and safe and safety manager*

The workflow is based on:

- *Determination of shared parameters assigned to the elements*
- *Data export regarding to 4D (planning), 5D(cost estimation) and Clash detection*
- *Data site collection*
- *Data visualization through reports and dynamic online dashboards*

The CDE also contains the project and site administrative papers, they are accessible directly from the online platform. The platform will only be accessible to predetermined users and it will be possible to reserve access to certain sections.

Keywords: *Process, Security, Platform, Dynamo, Google, Database, CDE, BIM, Users*

Resumen

Nuestro estudio ha desarrollado un proceso completo que facilita la administración de las fases de obra, asegurando que las operaciones se realicen de manera segura mediante una plataforma integrada. Se basa en la gestión de diferentes bases de datos y en un modelo 3D mediante un CDE (Common Data Environment), ésta es fácilmente accesible y visible a través de una plataforma online. Todo se crea a través del uso conjunto del software BIM y herramientas de Google. Los datos que componen el CDE se obtienen de las siguientes maneras:

- *Extracción de la información de proyecto del modelo Revit mediante Dynamo*
- *Introducción de los datos de obra por parte de los encargados de obra y seguridad*

El Workflow se basa en:

- *Determinación de parámetros compartidos asignados a los elementos*
- *Extracción de información 4D (tiempos), 5D (presupuestos) y Clash detection*
- *Recopilación automática de los datos de obra*
- *Visualización de la información mediante informes y un panel de control dinámico online.*

El CDE contiene además los datos administrativos del proyecto y la obra, los cuales son accesibles directamente desde la plataforma. La plataforma sólo será accesible para usuarios autorizados y será posible reservar el acceso a ciertas secciones.

Palabras clave: *Proceso, seguridad, plataforma, Dynamo, Google, bases de datos, CDE, BIM, usuarios.*

Introducción

Las características de la industria de la construcción, sus proyectos y obras constituyen un desafío para la gestión de la seguridad y salud. En la práctica, el desarrollo de un proyecto de construcción, la ejecución y el mantenimiento del resultado del mismo (el edificio o infraestructura) implica la interacción de numerosos agentes y empresas en un entorno dinámico, que hace necesario contar con planificaciones de alta calidad y procedimientos de comunicación efectivos.

Durante 2017 los estudios de arquitectura It's y Parallel Digital desarrollan en Roma (Italia) el diseño y la ejecución de un edificio de tres plantas con una superficie de 470 m² realizado con estructura en paneles contralaminados y una fachada ventilada con acabado en paneles metálicos.

Las modestas dimensiones de este edificio han permitido el estudio y desarrollo de una estrategia y metodología con el objetivo de crear un adjunto al Plan de Seguridad y Salud en obra (PSS) que ayude a gestionar la información y documentación y acelere la identificación de riesgos.

Dicho estudio se ha basado en parte en los principios del BIM 8D como la dimensión BIM que engloba todos los aspectos relacionados con la seguridad y salud y que está íntimamente relacionado con conceptos como el Prevention through Design (PtD), entendido como la aplicación de métodos para minimizar los riesgos laborales desde las fases tempranas de los procesos de diseño. Integrando e identificando los riesgos desde la primera fase de diseño e introduciendo soluciones que conectan los requisitos de diseño creando a su vez espacio seguro para los futuros operarios.

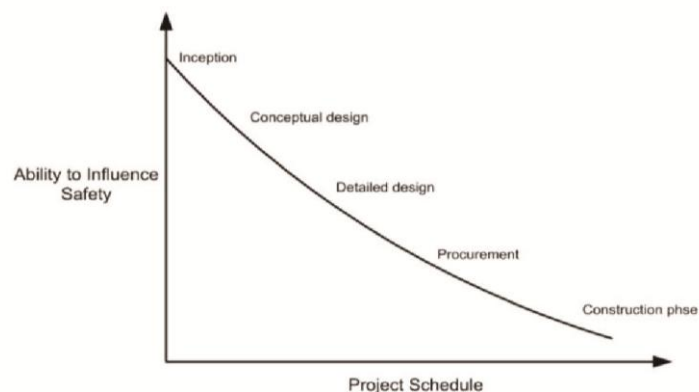


Fig. 1 Project Schedule Vs Safety Influence Curve. Fuente: Furst (2009) and Mroszczyk, (2008)

Los resultados finales de este estudio han sido:

- Creación de una herramienta y metodología contenedora de información que permite el fácil acceso y lectura de toda la documentación con la obra y los recursos humanos que la componen
- Análisis y control de los riesgos desde las primeras fases de proyecto analizando cada actividad y las posibles interferencias entre ellas
- Documentación gráfica que permite la mejor lectura y comprensión a todos los agentes intervinientes en obra.

1. Solución propuesta

1.1. Flujo de trabajo

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en la ejecución de una obra es la de mantener bajo control el proceso y facilitar la comunicación entre los diferentes agentes intervinientes.

Para ello es necesario un entorno informático de intercambio de información que será almacenada junto con el modelo 3D en un CDE (Common data environment - Entorno de datos comunes) usado como un

servidor para recopilar, gestionar y difundir datos de modelo y documentos de la obra entre equipos multidisciplinares en un proceso gestionado. Permitiendo un proceso auditable, transparente y controlable. En nuestro caso, la herramienta informática utilizada ha sido Google Drive ya que permite cubrir las exigencias de un CDE necesarias para esta fase de proyecto.

La información contenida en el CDE se visualiza en Google Data Studio mediante gráficas dinámicas, representando el resultado del análisis de los datos extraídos del modelo y de las diferentes bases de datos a disposición.

A modo de índice, se utiliza Google Sites como plataforma online para facilitar el acceso a las diferentes temáticas que conlleva un proceso de construcción.

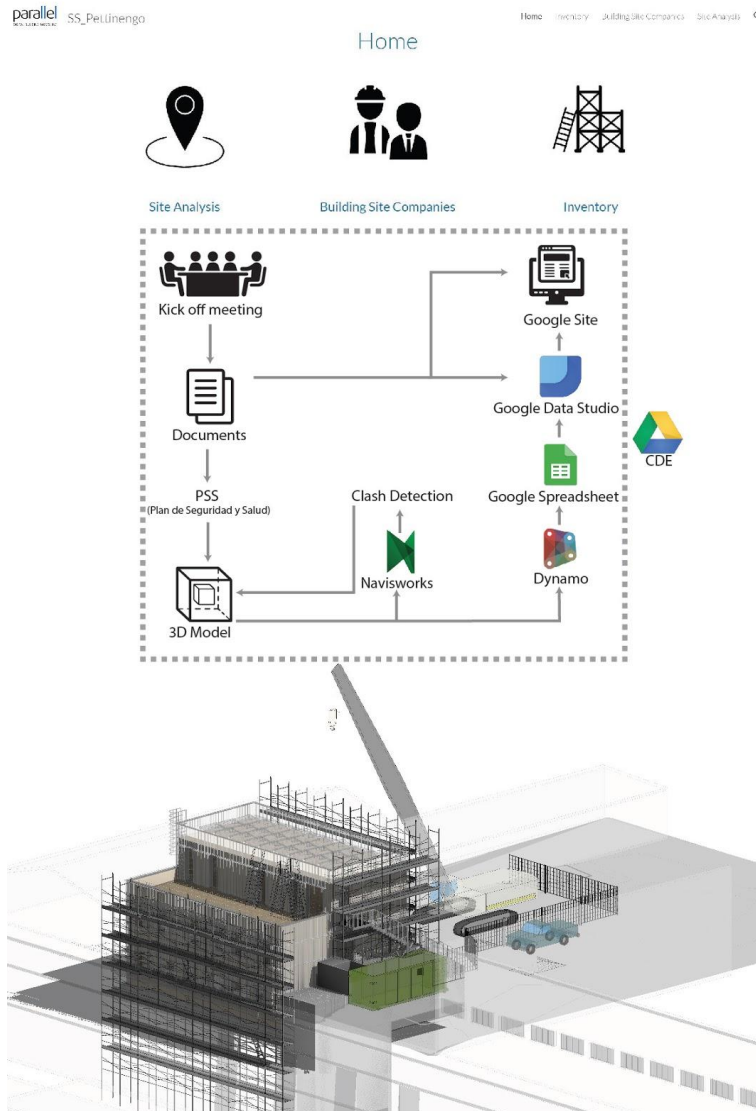


Fig. 2 Interfaz plataforma Google Site "Home", Flujo de trabajo y modelo BIM. Fuente: Parallel Digital (2019)

1.2. Datos generales de obra

La estrategia desarrollada se basa en primer lugar en la creación de una plantilla basada en un modelo gráfico RVT contenedor de información y documentos; dicho modelo facilita el estudio de las actividades, sus correspondientes riesgos e interferencias y la redacción del Plan de Seguridad y Salud en Obra.

El desarrollo del modelo correspondiente a la seguridad en obra será paralelo al modelado de las diferentes disciplinas. Se usa dicho modelo como base de datos en tres dimensiones para el fácil acceso y comprensión de la documentación.

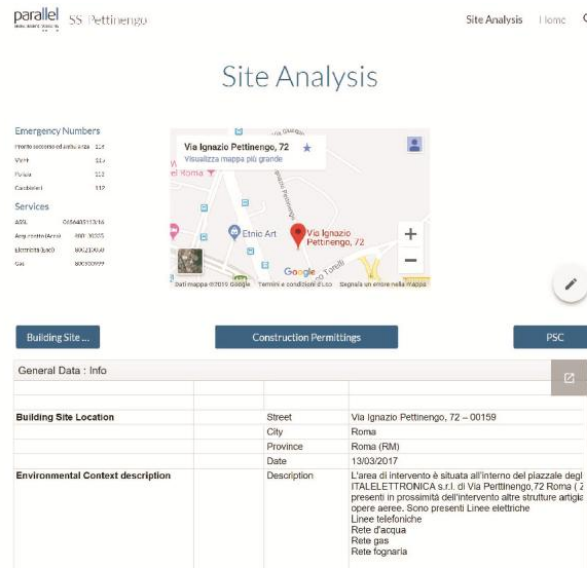


Fig. 3 Interfaz plataforma Google Site "Site Analysis". Fuente: Parallel Digital (2019)

1.3. Información sobre operarios

La seguridad en obra la garantiza en parte la correcta elección y organización de los trabajadores, con especial atención a su formación y capacidades. Estas características se deben justificar en dos documentos que cumplen con el Derecho de los trabajadores recogido en la Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales (artículos 14 y 18.1, 18.2 y Capítulo V):

- Información de los trabajadores
- Consulta y participación de los trabajadores

Dichos documentos deben estar actualizados en todo momento a lo largo de la obra. Debido al envío en masa y a veces confuso de esta información por parte de la empresa constructora, no siempre se lleva un control detallado de la cantidad de trabajadores o de la formación de los mismos. Estas imprecisiones pueden traducirse en riesgo, por ejemplo, un operario carente del permiso para conducir la grúa podría generar daños a sí mismo y a las personas que tienen entorno. O un electricista sin el curso de formación podría dañar la instalación de todo un edificio y provocar un incendio.

Con la intención de mantener toda esta información actualizada y bajo control en todo momento, se ha creado el parámetro de Revit "PLL_Building Companies" que direcciona a un archivo de Excel compartido en el CDE donde aparecen todos los datos necesarios para el control de la obra.

El archivo de excel se compone de las siguientes hojas:

- Cuadro: En él se recoge la información completa de todas las empresas constructoras que aparecen en la obra (tipo de empresa, actividades desarrolladas, titular, contactos) y enlace que envía directamente a una carpeta compartida en la nube donde se almacena toda la documentación recibida.
- Datos generales de cada una de las empresas: En esta hoja de excel aparece la información detallada de la constructora o subcontrata y los datos de cada uno de los trabajadores que la componen, cada uno de los documentos indicados en esta hoja tiene un enlace que lleva directamente al documento original, de esta manera se puede comprobar la autenticidad de la información



Fig. 4 Interfaz plataforma Google Site “Building Site Companies”. Fuente: Parallel Digital (2019)

1.3.1. Análisis de datos

Los datos almacenados en el documento excel son accesibles para su manipulación únicamente a la dirección facultativa. El promotor y el constructor podrán acceder a la visualización de datos en Google Data Studio cada uno con diferentes niveles de autorización para evitar compartir información confidencial.

En el documento excel se determinan una serie de reglas condicionantes que nos permiten recibir avisos sobre el estado y regularidad de los operarios. De cada trabajador se almacena información acerca de las fechas de validez de los documentos legales, certificados y contratos, cuando finaliza la fecha de validez de alguno de estos documentos, el responsable recibe una notificación.

2. Planificación de obra y riesgos

2.1. Estudio preliminar de las interferencias de obra

Como ya se ha citado anteriormente, la dimensión 8D viene acompañada de una metodología denominada Prevention through Design (PtD) donde desde fases tempranas de diseño se empieza a estudiar la prevención de riesgos. Para ello es necesario analizar el contexto y la zona de obra con el objetivo de optimizar la posición de las instalaciones provisionales.

Mediante el análisis del cronograma se identifican las actividades que componen la obra y por lo tanto se deciden las medidas y equipos de prevención de riesgos, completando así la organización y planificación.

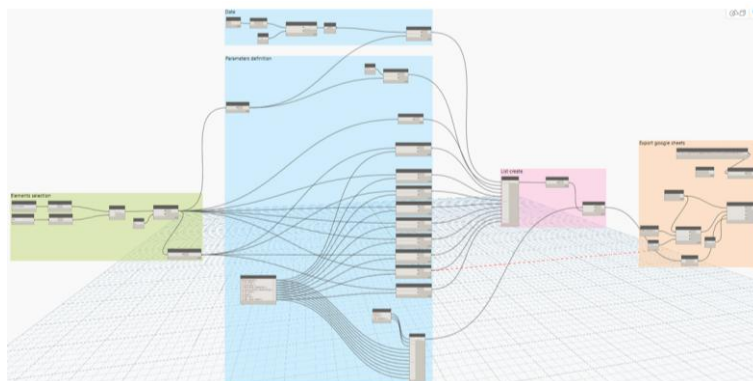


Fig. 5 Script de Dynamo para la exportación de datos. Fuente: Parallel Digital (2019)

Cada una de las actividades de la obra, incluidas las instalaciones provisionales, contienen un código, dicho código se relaciona con cada uno de los elementos del modelo mediante un parámetro denominado “4D Code”. A su vez, en el modelo Revit, se identifican las categorías principales para el estudio de las interferencias (Clash Detection), cada categoría contendrá un código asignado mediante el parámetro “Clash Code”.

Una vez completada esta operación se exporta en Navisworks y se realiza un estudio de las interferencias teniendo en cuenta el cronograma. El objetivo es el de identificar las posibles interferencias relacionadas con la posición de las instalaciones provisionales y por lo tanto solucionar los riesgos de superposiciones entre actividades las actividades desarrolladas. Esta acción se efectuará todas las veces que sea necesario hasta que se haya resuelto cada una de las interferencias o cada vez que se realice una modificación en el proyecto.

2.2. Identificación de riesgos

A través de una colaboración entre Revit-Dynamo-Google Spreadsheet, se realiza un estudio de los riesgos por actividad. Cada elemento del modelo contiene un parámetro denominado “Activity” al cuál se le asigna el código de una actividad, a su vez, en un documento excel de Drive se encuentra una lista con todos los posibles riesgos dependiendo de la actividad desarrollada y los EPIs (Equipos de Protección Individual) necesarios para cada riesgo.


DATA SHEET		28/02/2019							
GNR0201									
3D Model		3D Model							
GENERAL INFO									
Building Identity	Via Pettinengo								
Category	Frame scaffolding								
Setting date									
Set by	Coridea s.r.l.								
Manufacturer									
Product Data sheet	Product folder								
Other documents	Pinus								
RISKS EVALUATION									
Activity code	L007-00	Montaggio e smontaggio ponteggi metallici							
Risks	Collective Protections	DPI							
cadute dall'alto	Parapetto, Linea salvavita	Imbracature							
urti colpi impatti compressioni		Guanti, Scarpe antinfortunisti, Occhiali							
punture tagli abrasioni	Cautela	Guanti, Scarpe antinfortunisti, Occhiali							
scivolamenti cadute a livello	Cautela								
rumore		Cuffie, Auricolari							
caduta materiale dall'alto	Reti e schermature								
movimentazione manuale carichi	Massimo 25 kg, Segnali acustici	Casco							
polveri fibre	Acqua	Mascherina, Occhiali							
5									
Base de datos del modelo 3D									
Date	Count	ID element	Description	S_4D Code	S_Activity	S_ID Code	S_Item	S_Set by	S_Url Data sheet
28/02/2019	1	267997	Separation grid	ITS-010-A-001	L001-00	GNR0101_001	GNR0101	Coridea s.r.l.	https://drive.google.com/open?id=1...
28/02/2019	1	267910	Separation grid	ITS-010-A-002	L001-00	GNR0101_002	GNR0101	Coridea s.r.l.	https://drive.google.com/open?id=1...
28/02/2019	1	267954	Separation grid	ITS-010-A-001	L001-00	GNR0101_003	GNR0101	Coridea s.r.l.	https://drive.google.com/open?id=1...
28/02/2019	1	268012	Separation grid	ITS-010-A-001	L001-00	GNR0101_004	GNR0101	Coridea s.r.l.	https://drive.google.com/open?id=1...
28/02/2019	1	514809	Frame scaffolding	ITS-010-A-020	L007-00	GNR0201_001	GNR0201	Coridea s.r.l.	https://drive.google.com/open?id=1...
28/02/2019	1	528169	Frame scaffolding	ITS-010-A-030	L007-00	GNR0201_002	GNR0201	Coridea s.r.l.	https://drive.google.com/open?id=1...
28/02/2019	1	528186	Frame scaffolding	ITS-010-A-020	L007-00	GNR0201_003	GNR0201	Coridea s.r.l.	https://drive.google.com/open?id=1...
28/02/2019	1	528198	Frame scaffolding	ITS-010-A-020	L007-00	GNR0201_004	GNR0201	Coridea s.r.l.	https://drive.google.com/open?id=1...
Plantilla de posibles riesgos según la actividad de obra									
L005-07		L006-01		L006-02		L007-00		L013-01	
Posa manto copertura		Preparazione posa legname		Posa manto copertura		Montaggio e smontaggio ponteggi metallici		Finiture	
cadute dall'alto		cadute dall'alto		cadute dall'alto		cadute dall'alto		cadute dall'alto	
urti colpi impatti compressioni		urti colpi impatti compressioni		urti colpi impatti compressioni		urti colpi impatti compressioni		urti colpi impatti compressioni	
punture tagli abrasioni		punture tagli abrasioni		punture tagli abrasioni		punture tagli abrasioni		punture tagli abrasioni	
scivolamenti cadute a livello		vibrazioni		scivolamenti cadute a livello		scivolamenti cadute a livello		scivolamenti cadute a livello	
rumore		rumore		rumore		rumore		rumore	
caduta materiale dall'alto		caduta materiale dall'alto		caduta materiale dall'alto		caduta materiale dall'alto		scivolamento stritolamento	
polveri fibre		movimentazione manuale carichi		movimentazione manuale carichi		movimentazione manuale carichi		movimentazione manuale carichi	
		polveri fibre		polveri fibre		polveri fibre		caduta materiale dall'alto	
								5	

Fig. 6 Relación entre ficha técnica de un modelo de andamios y bases de datos. Fuente: Parallel Digital (2019)

Mediante un script de Dynamo se crea una relación donde exportan los parámetros de todos los elementos a una Hoja de Cálculo creando una base de datos del modelo.

A cada elemento del modelo relacionado con la seguridad en obra se le adjunta una ficha técnica en forma de Hoja de Cálculo de Google. Dicho documento obtiene automáticamente la información necesaria para la identificación del elemento mediante fórmulas de la hoja de cálculo.

Una vez creada la base de datos del modelo, se filtran e identifican automáticamente los riesgos y dispositivos de protección individual y colectiva de cada elemento. Permitiendo al coordinador de seguridad y salud tener control sobre todo el proceso. La información señalada con un recuadro azul en la figura Fig.6 se ha obtenido automáticamente del modelo mediante las siguientes fórmulas:

$$= \text{importrange}(\text{spreadsheet}_{key}, \text{range}_{string})(1)$$

$$= \text{Filter}(\text{intervalo}; \text{condición})(2)$$

(1): Importa un intervalo de celdas de una Hoja de Cálculo a otra

(2): Filtra datos de un intervalo según una condición

Los parámetros compartidos de Autodesk Revit utilizados para la identificación de riesgos son los siguientes:

Parámetro	Descripción	Ejemplo
S_Clash code	Código para el estudio de las interferencias entre las actividades de las diferentes disciplinas e instalaciones provisionales	S.30
S_4D code	Código correspondiente a cada de las actividades existentes en el cronograma	ITS_010_A_059
S_Activity	Código relacionado con la tipología de las actividades	L007-00: Montaje y desmontaje de andamios metálicos

Fig. 7 Parámetros compartidos para la identificación de riesgos. Fuente: Parallel Digital (2019)

3. Conclusiones

La eficacia de nuestro flujo de trabajo reside en la posibilidad de mejora y adecuación de las estrategias a las exigencias de la obra. No se trata de un software para la seguridad y salud en obra rígido y predefinido, se trata de una metodología de trabajo que prevé el uso de herramientas elegidas y utilizadas cada una para un objetivo preciso.

Las herramientas utilizadas han sido individualizadas y testadas con el objetivo de automatizar en lo posible las acciones (a través scripts de Dynamo o fórmulas de excel), creando un método de trabajo interno que nos garantice el control total e identificación de toda la información relacionada con la cantidad y tiempos de la obra presentes en el modelo BIM, almacenadas en el CDE y actualizado constantemente.

El flujo de trabajo se basa en un método dinámico en el cual se crea una relación entre todos los agentes, tejiendo una estrecha red de información y datos, conectados a elementos sólidos y a una visualización fácilmente localizables, garantizando constantemente un control en la obra en relación a las actividades, velocidad en la construcción y seguridad de los operarios, que muy a menudo se deja en un segundo plano para respetar los tiempos de entrega.

4. Referencias

AUBIN, P., MCCLELLAND, D. (2014). *Bim collaboration*. Oak Lawn: G3B press

BRANCALE FEDERICA. *Marketing Freaks*. <<http://www.themarketingfreaks.com/2018/01/14-formule-excel-e-google-sheet-per-marketing-base-e-avanzato/>> [Consulta: 9 de Noviembre 2018]

BOUZAS CAVADA MANUEL. *¿Qué es un CDE?*. <<https://www.buildingsmart.es/2017/04/01/qu%C3%A9-es-un-cde/>> [Consulta: 12 de April 2017]

CPT TORINO, (2010). *La valutazione dei rischi nelle costruzioni edili*. Lucca: Emmedi.

DI GIUDA, G.M., MALTESE, S., RE CECCONI, F. y VILLA, V. (2017). “Regole di modellazione BIM, database e utilizzo” en Maltese, S., Re Cecconi, F. *Il BIM per la gestione dei patrimoni immobiliari*. Milano: Hoepli.

DI GIUDA, G.M., MALTESE, S., RE CECCONI, F. y VILLA, V. (2017). “Struttura dei modelli e libreria oggetti BIM” en Maltese, S., Paleari, F., Schievano, M. y Villa, V. *Il BIM per la gestione dei patrimoni immobiliari*. Milano: Hoepli

KAMARDEEN, I. (2010). “8D BIM Modelling tool for accident prevention through design”. *En Procs 26th Annual ARCOM Conference, 6-8 September 2010, Leeds, UK, Association of Researchers in Construction Management*. 281-289. <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.461.8274&rep=rep1&type=pdf>> [Consulta: 20 de Mayo 2017]

SIMONETTI, A., DI MURO, A. (2011). “La redazione del psc e l’analisi dei rischi nelle lavorazioni” en Simonetti, A., Di Muro, A. *Repertorio di piani di sicurezza e coordinamento*. Roma: EPC S.r.l.

Observatorio es.BIM de Licitación Pública, monitorizando la madurez BIM en la licitación pública

Palmero Martín, Cristina^a

^aExperto BIM. Secretaría de la Comisión es.BIM. cristina.palmero@ineco.com

Abstract

The analysis of the BIM requirements in public tenders must represent a continuous activity, not focused in a short period of time, as BIM methodology, and its inclusion in tenders, is in constant evolution and deepening. In this way, from the es.BIM initiative, the Observatory for Public Tender was created in 2017 with a double function: verify the progress of the inclusion of BIM requirements in Spanish public bidding, throughout a monthly tracking of the number of public tenders including BIM requirements categorized by type of tender and tenderer, life cycle phase and many others; and analyse in which way BIM is included in these tenders through an established indicators. The significance of the es.BIM Observatory is to be a demand indicator, evaluate the BIM maturity of the tenderer agencies and launch informative initiatives to correct malpractices in the introduction of BIM requirements in the bidding process.

Keywords: BIM, public tendering, government, BIM maturity, observatory

Resumen

El análisis de los requisitos BIM en las licitaciones públicas debe representar una actividad continua, no focalizada en un corto periodo de tiempo, ya que la metodología BIM, y su inclusión en las licitaciones, está en constante evolución y profundización. De esta forma, a partir de la iniciativa es.BIM, se creó en 2017 el Observatorio de Concursos Públicos con una doble función: verificar el avance de la inclusión de los requisitos BIM en las licitaciones públicas españolas, a través de un seguimiento mensual del número de licitaciones públicas incluyendo los requisitos BIM categorizados por tipo de licitación y licitador, fase de ciclo de vida y muchos otros; y analizar de qué manera se incluye a BIM en estas licitaciones a través de indicadores establecidos. La importancia del Observatorio es.BIM es ser un indicador de la demanda, evaluar la madurez de las agencias licitadoras y lanzar iniciativas informativas para corregir las malas prácticas en la introducción de los requisitos de BIM en el proceso de licitación.

Palabras clave: BIM, licitación pública, gobierno, madurez BIM, observatorio

Introducción

Dentro del marco de la Comisión es.BIM, creada por el Ministerio de Fomento en 2015, y de los trabajos llevados a cabo en el seno del “Grupo de Trabajo 3: Procesos”, se creó en mayo de 2017 el Observatorio es.BIM para la monitorización y análisis de la demanda del uso de BIM por parte de la administración pública española, así como de la inclusión de esta demanda en sus pliegos en mayor o menor medida, definición y claridad. De esta manera se sentaron las bases de la metodología a seguir para buscar licitaciones, estudiar sus pliegos, recopilar los datos correspondientes a los indicadores establecidos, analizar los datos y plasmar los resultados en informes trimestrales publicados en la web de es.BIM. El observatorio es.BIM, es un referente mundial al ser único por sus características y al basarse en un estudio real y no en encuestas.

Desde que se creó el observatorio llevamos publicados 6 informes y más de 313 licitaciones analizadas, cuyos resultados muestran la evolución desde el 2017 de la madurez BIM en la licitación pública por parte de la administración a la hora de incluir o requerir el uso de BIM en sus pliegos.

El presente documento, y los informes publicados, no pretende ser un estudio pormenorizado del tema tratado, por lo que la toma de decisiones privadas en base a informaciones incluidas en el documento quedan bajo la responsabilidad del lector.

1. Metodología

1.1. Fuentes y toma de datos

Existen diferentes fuentes que utilizamos para tener acceso a las licitaciones. Principalmente hacemos una búsqueda constante y exhaustiva en la Plataforma de Contratación del Sector Público del Ministerio de Hacienda, las plataformas de contratación de las entidades no adscritas a la plataforma del ministerio, así como en el Boletín Oficial del Estado.

También invitamos a todos los agentes del sector a colaborar enviando aquellas licitaciones públicas con requisitos BIM de las que tengan constancia y quieran que sean parte del estudio del observatorio, a través del formulario habilitado en la página del Observatorio de la web de es.BIM. Este formulario es anónimo si se desea, y contiene unos campos básicos a rellenar para que podamos localizar la licitación y posteriormente analizarla.

1.2. Base de datos

Al inicio del observatorio se establecieron unos indicadores a monitorizar, por lo que una vez tenemos localizada la licitación, la estudiamos buscando esos indicadores iniciales, aunque han ido aumentando a lo largo del tiempo, y que son de carácter cuantitativo y cualitativo. Entre los indicadores con carácter cuantitativo están la fecha de publicación, el sector, la fase, la tipología, el nivel de administración de la entidad adjudicadora, la localización del proyecto u obra y el presupuesto base de licitación, entre otros.

Entre los indicadores cualitativos, se están registrando el criterio de evaluación del uso del BIM en la misma, los usos y entregables BIM requeridos, el nivel de desarrollo o de información del modelo, requisitos de colaboración, requisitos de estructuración de la información y el uso de estándares abiertos, entre otros. Los datos de estos indicadores se almacenan en una base, que posteriormente analizaremos y cruzaremos entre sí, para obtener la información deseada.

1.3. Difusión

Trimestralmente se elabora un informe con los datos acumulados, tanto los ya registrados anteriormente, más los de las nuevas licitaciones analizadas en los tres meses previos a la publicación del correspondiente informe en la web de es.BIM. Además, el trabajo del Observatorio es.BIM también realiza un trabajo de difusión en jornadas y congresos, para explicar la metodología y aclarar cualquier duda que pueda existir.

2. Resultados

El sexto informe del Observatorio es.BIM recoge los datos analizados de las licitaciones públicas con requisitos BIM publicadas durante los años 2017-18, siendo un total de 313 licitaciones públicas con algún requisito BIM. Con un valor total acumulado del presupuesto base de licitación de 654,7 millones de euros (IVA no incluido), habiéndose invertido el 58% en 2018 (337,5 mill. €) y el 42% restante en 2017 (277,2 mill. €). Estudiando los porcentajes del número de estas licitaciones, en 2017 se publicaron el 35% (108) y en 2018 el 65% restante (205). Comparando los valores de 2017-18, en 2018 se incrementó la inversión un 36% respecto del año anterior y prácticamente se duplicó el número de licitaciones.

Estudiando la distribución por sector, en edificación se invirtió un valor total acumulado de 473,6 mill €, de los cuales 239,2 mill. € fueron en 2018, mientras que en infraestructuras se invirtieron 181,1 mill €, de los cuales 138,3 mill € fueron en 2018, por lo que se puede decir que 2018 es el año en el que el sector de infraestructuras apuesta por el uso de BIM, cuadruplicando el número de licitaciones frente al número de 2017 y aumentando su inversión en un 223%. Si comparamos las distribuciones entre sectores y por año, vemos que en 2017 el 85% de las licitaciones correspondían a edificación y el 15% a infraestructuras, y que en 2018 estos valores varían a un 63% y un 37% respectivamente. Estos valores son a nivel anual, pero también se dispone del análisis de la evolución trimestral (Fig. 1) en el que se observa un despunte de la inversión en edificación en el primer trimestre del 2018 con 125,62 mill. € repartidos en 43 licitaciones, y un despunte de la inversión en infraestructura en el segundo trimestre del 2018 con una inversión de 83,85 mill. € repartidos en 17 licitaciones.

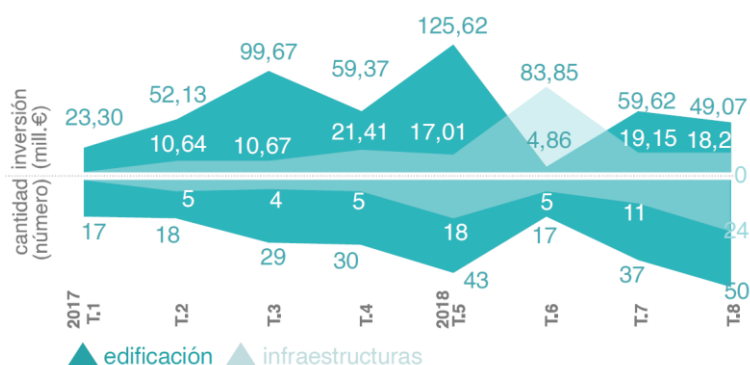


Fig. 1 Comparativa de la evolución trimestral de la inversión y número de licitaciones públicas con requisitos BIM según sector (edificación/infraestructura) en 2017-18 Fuente: es.BIM (2019)

Comparando las inversiones realizadas en 2018 en las licitaciones públicas con requisitos BIM con los datos publicados por Seopan, que incluyen todas las licitaciones públicas, nos encontramos que a nivel autonómico la inversión total de las licitaciones con requisitos BIM supone un 6,5% de la inversión total (4.218 mill. €), y a nivel estatal supone un 0,65% del total (5.435 mill. €). Si ahora comparamos las inversiones según sectores, edificación e infraestructuras, en 2018 se invirtieron 239,18 mill. € en licitaciones públicas con requisitos BIM asociadas a edificación, lo que supone un 4,3% de la inversión total en ese sector (5.584 mill. €), mientras que en infraestructura se invirtieron 138,31 mill. €, el 1,2% del total (11.528 mill. €).

Si ubicamos las licitaciones en el mapa (Fig. 2), poco a poco, se va mapeando todo el territorio español con la localización de los proyectos u obras objeto de la licitación con requisitos BIM, pasando de un valor registrado en el primer informe del 2017 de un 47% de las comunidades autónomas, a un porcentaje actual del 90%. Hay que destacar que el País Vasco lidera en cuanto a la inversión realizada en infraestructura con una inversión de 91,72 mill. €, y Cataluña en edificación con una inversión de 221,54 mill. € (Fig. 3).

También se realiza el estudio particularizando entre los niveles de administración. Los datos de los años 2017-18 muestran que la administración autonómica es la mayor dinamizadora de todos los niveles, a la hora de pedir el uso de BIM en sus licitaciones con una inversión total de 457,04 mill. €, es decir un 70% de la inversión total según los cuatro niveles (estatal, autonómico, local y otros), de los cuales en 2018 se invirtieron 273,13 mill€ (60% de su total). A nivel estatal, en 2018 se observa como disminuyó su inversión pasando de 74,57mill € (2017) a 35,31 mill €, por el contrario, a nivel local vemos un significativo incremento de la inversión pasando del 4,09% (2017) al 65,77% en 2018. El resto de entidades englobadas dentro de "otros", mayoritariamente formadas por consorcios entre distintos niveles de administración, invirtieron 14,66 mill. € en 2017 y 3,29 mill € en 2018. Recapitulando los porcentajes del valor total acumulado de la inversión 2017-18 por niveles de administración, aparte del 70% del nivel autonómico, el 17% correspondería al estatal, el 10% a otros y el 3% al local.

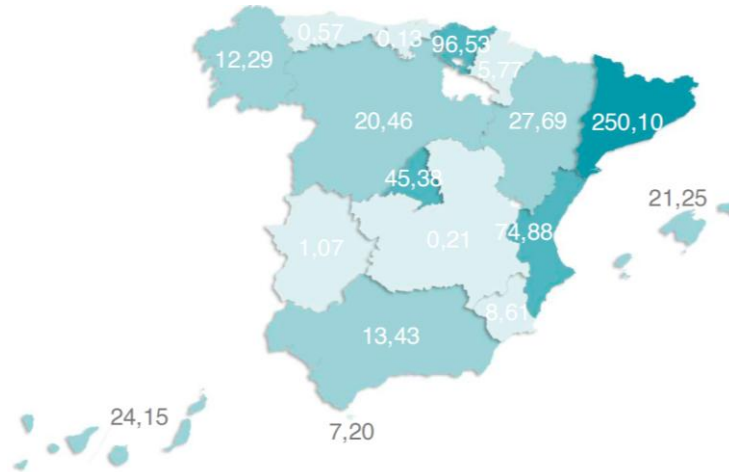


Fig. 2 Mapa de la distribución del Valor Estimado de Contrato total acumulado por CCAA (millones de euros) Fuente: es.BIM (2019)

Volviendo a los sectores, también se está estudiando la fase en la que se desarrolla el contrato, si es diseño, ejecución, diseño y ejecución, entendida ésta como dirección facultativa, y operación y mantenimiento. En edificación se observa en 2017 un mayor número de contratos referentes a diseño y dirección facultativa con un 60%, este valor disminuye al 34% en 2018, aumentando no obstante el porcentaje de licitaciones referentes a fase de ejecución de obras con un 43%. En infraestructura, el uso de BIM lidera en licitaciones en fase de obra aumentando además este valor notablemente, 43% en 2017 al 70% en 2018. Mientras que el porcentaje en fase de diseño disminuye de un año para otro, pasando del 43% al 26%.

	edificación		infraestructuras	
	inversión (mill.€)	cantidad (número)	inversión (mill.€)	cantidad (número)
Andalucía	11,30	24	2,13	1
Aragón	27,16	5	0,53	1
Asturias	0,57	3		
Baleares	19,46	3	1,79	5
Canarias	19,61	8	4,54	2
Cantabria	0,13	1		
Castilla y León	20,46	7		
Castilla-La Mancha			0,21	1
Cataluña	221,54	108	28,56	43
Ceuta	7,20	1		
Comunidad Valenciana	47,10	36	27,77	8
Extremadura	1,07	4		
Galicia	1,71	3	10,57	2
Madrid	45,38	23		
Murcia	0,38	2	8,23	2
Navarra	0,88	1	4,88	2
País Vasco	4,81	10	91,72	4

Fig. 3 Tabla de la distribución de la inversión total acumulada y número de licitaciones por CCAA Fuente: es.BIM (2019)

Diferenciando entre obra nueva y rehabilitación, entendida ésta como actuaciones en edificios ya existentes, podemos decir que, a nivel general, predomina requerir el uso de BIM en rehabilitación frente a la obra nueva. En edificación en 2017 el 68% de la inversión sería en proyectos de rehabilitación y en 2018 aumentaría la obra nueva (48%). Cabe destacar el dato de que en edificación y en el 36% de los contratos referentes a ejecución de las obras, la entidad adjudicadora entrega ya en fase de oferta, un modelo de información de proyecto entre los documentos de los pliegos. En infraestructura en 2017 el 53% de la inversión sería en obra nueva y en 2018 aumentaría al 76%. Estos valores se invertirían al estudiar los porcentajes del número de licitaciones en infraestructuras, siendo los pertenecientes a rehabilitación en 2017 el 79% y el 70% en 2018.

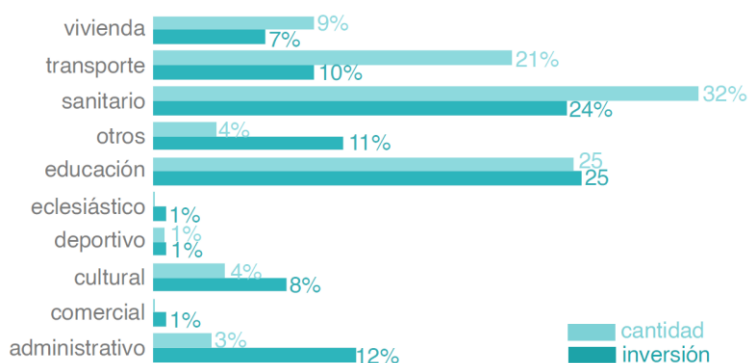


Fig. 4 Comparativa de los porcentajes de los valores totales acumulados de la inversión y número de licitaciones públicas con requisitos BIM según uso edificatorio Fuente: es.BIM (2019)

Analizando la tipología o uso al que se destina el proyecto u obra objeto de la licitación (Fig. 4), vemos que son los de tipo sanitario o educacional los que lideran en edificación (24% y 25% de la inversión respectivamente) y carreteras y ferrocarril en infraestructuras (72% y 14% respectivamente).

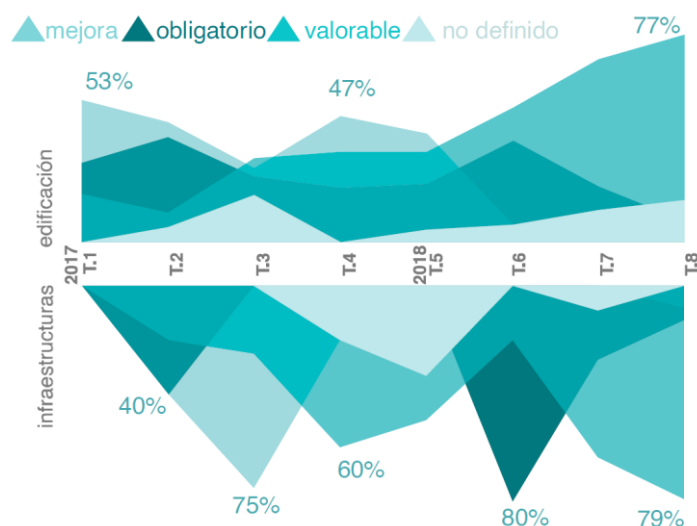


Fig. 5 Evolución trimestral del porcentaje de las licitaciones con requisitos BIM según su valoración 2017-18 Fuente: es.BIM (2019)

La manera de valorar el uso del BIM en la oferta y los criterios que se están puntuando también se están registrando en el observatorio. Se observa que el uso obligatorio de BIM aumentó progresivamente en 2018 (Fig. 5), tanto en edificación como en infraestructura, además de incluirlo como uno de los criterios a valorar en la solvencia técnica. En 2018 la valoración media (tanto global como técnica) de los requisitos BIM en la oferta, aumenta ligeramente en edificación en fase de diseño (asociando la dirección facultativa de las obras), mientras que en fase de ejecución aumenta considerablemente. Analizando la situación en infraestructuras, en fase de diseño disminuye mientras que en fase de ejecución también aumenta. Además, se observa un aumento del número de licitaciones que define los requisitos BIM del cliente en un manual o

anexo (10-30% 2017-18) y que proporciona una ficha o formato tipo como anticipo del plan de ejecución BIM, con los aspectos claves a valorar y a rellenar en fase de oferta por el licitador.

Entrando a estudiar los valores de los indicadores cualitativos (Fig. 6), existe una notable mejoría general de los mismos del 2017 al 2018, además según los datos del cuarto trimestre del 2018, actualmente una de cada tres licitaciones tiene un alto nivel de madurez al incluir y describir los requisitos BIM en sus pliegos.

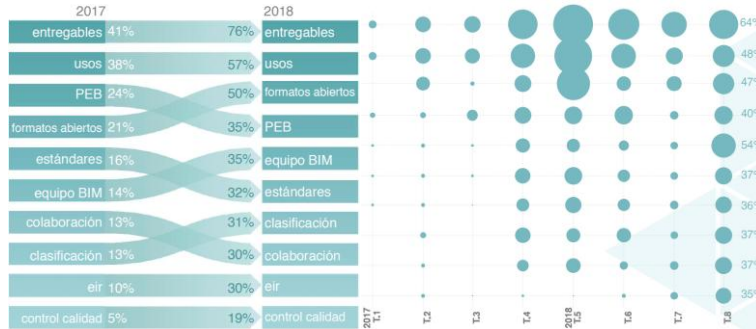


Fig. 6 Comparativa 2017-18 y evolución trimestral del porcentaje de licitaciones con requisitos BIM según los principales indicadores establecidos Fuente: es.BIM (2019)

Analizando la correspondencia entre usos-entregables establecidos (Fig. 7), cabe destacar la tendencia general por parte de las entidades adjudicadoras, a la definición de un mayor número de usos BIM, pero sin llegar a definir el tipo de entregables necesarios para los mismos, como es el caso de los usos 4D y 5D. Reseñable es, que entre los usos BIM más comunes, sólo el 2% del total de las licitaciones analizadas establecen como uso BIM el análisis con fines de eficiencia energética o sostenibilidad.

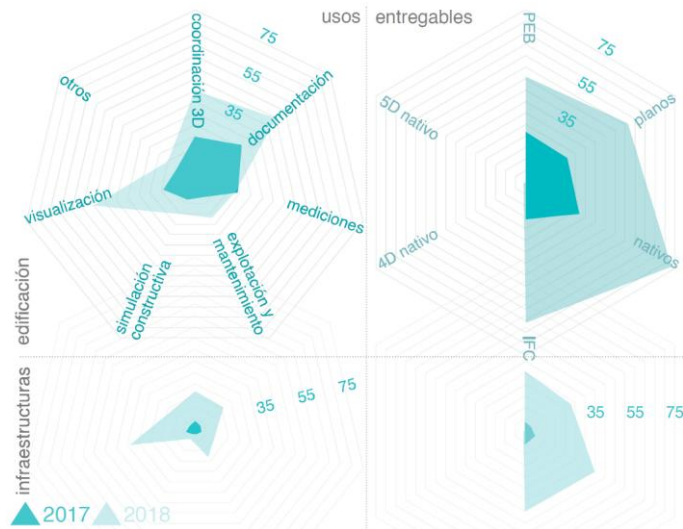


Fig. 7 Comparativa del número de licitaciones que definen usos y entregables BIM en 2017-18 según sector Fuente: es.BIM (2019)

Otro de los indicadores a destacar es el alcance o nivel de desarrollo del modelo BIM (Fig. 8), entre aquellas en las que éste es un entregable (ya sea nativo o en formato abierto) vemos una disminución del 83% al 66% (2017-18), siendo la tendencia actual la definición de este nivel tras la adjudicación.

3. Sigüientes pasos

Actualmente también, se está trabajando en la realización de una métrica de madurez BIM aplicada a los pliegos de las licitaciones públicas, con un doble objetivo evaluar tanto las licitaciones ya analizadas en el observatorio como las futuras a analizar, así como servir de plantilla de autoevaluación para las entidades adjudicadoras redactoras de los pliegos.

A diferencia de otras herramientas de evaluación, como la BIM Maturity Measure (Arup, 2014), la herramienta del Observatorio, se centra en evaluar la madurez en base los requisitos BIM incluidos en los pliegos de la licitación, este nivel de madurez se obtiene por la existencia de los indicadores cualitativos establecidos y unos valores asociados a los mismos.

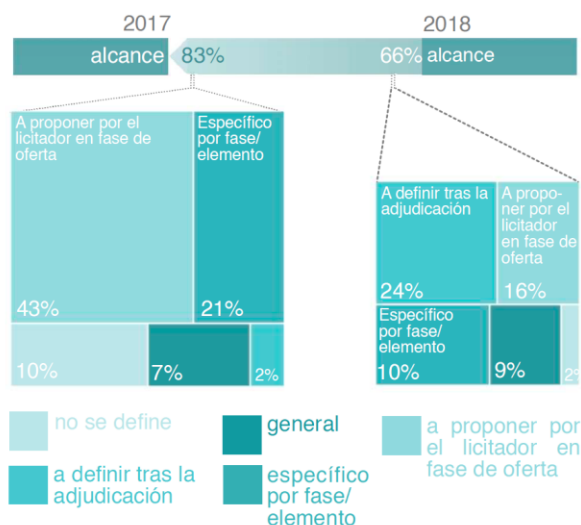


Fig. 8 Comparativa 2017-18 del porcentaje de licitaciones que tienen como entregable un modelo de información y requieren de un nivel de desarrollo y su definición en los pliegos Fuente: es.BIM (2019)

4. Conclusiones

El Observatorio es.BIM va consolidándose dentro del sector como una clara referencia de la inclusión del BIM en la licitación pública nacional, que durante el periodo 2017-18, se observa un crecimiento muy positivo de la inversión y número de licitaciones públicas que incluyen requisitos BIM, así como de la calidad a la hora de incluirlos en los pliegos y también de valorarlos dentro de la valoración global de la oferta. Así mismo se observa por parte de la administración pública una mayor correspondencia en la secuencia de marcar unos objetivos BIM, definir unos usos BIM en relación a esos objetivos y estipular los entregables correspondientes a esos usos BIM establecidos.

5. Referencias

Referencias electrónicas (libro, revista, o artículo)

Es.BIM (septiembre 2017) *Observatorio de licitaciones BIM. Informe 01*

<<https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/11/Observatorio-de-Licitaciones-BIM-4.pdf>>

Es.BIM (diciembre 2017) *Observatorio de licitaciones BIM. Informe 02*

<<https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2018/02/Observatorio-Licitaciones-BIM-02-Diciembre-17.pdf>>

Es.BIM (marzo 2018) *Observatorio de licitaciones BIM. Informe 03*

<https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2018/05/informe_licitaciones_bim_abril.pdf>

Es.BIM (junio 2018) *Observatorio de licitaciones BIM. Informe 04*

<https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2018/08/INFORME_licitaciones_BIM_JUNIO.pdf>

Es.BIM (septiembre 2018) *Observatorio de licitaciones BIM. Informe 05*

<https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2018/12/INFORME_licitaciones_BIM_SEPTIEMBRE.pdf>

Es.BIM (diciembre 2018) *Observatorio es.BIM. Sexto informe*

<https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2019/02/Informe_Observatorio_esBIM_Diciembre.pdf>

Arup (2014) *BIM Maturity Measure*

<<https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/bim-maturity-model>>

PALMERO MARTÍN, C. (2017). "Observatorio es.BIM" en *2ª Reunión presencial de los Subgrupos de Trabajo de la Comisión es.BIM. (12 Julio 2017 Madrid)*

Disponible en <https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/07/esBIM_Observatorio.pdf>

PALMERO MARTÍN, C. (2017). "Observatorio es.BIM" en *3ª Reunión presencial de los Subgrupos de Trabajo de la Comisión es.BIM. (30 Noviembre 2017 Madrid)*

Disponible en <https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/12/171130_esBIM_6_Observatorio.pdf>

PALMERO MARTÍN, C. (2017). "es.BIM Observatory" en *buildingSMART International Standards Summit. (31 octubre 2017 Londres)*

PALMERO MARTÍN, C. (2018). "es.BIM Observatory" en *European BIM Summit. (9 Marzo 2018 Barcelona)* Disponible en <https://vimeo.com/261292268>

PALMERO MARTÍN, C. (2018). "es.BIM Observatory for Public Tender. Tracking Government's BIM Maturity" en *Digital Construction Week. (18 octubre 2018 Londres)*

Página web

ES.BIM. *Observatorio*

< <https://www.esbim.es/observatorio/>>

'TheBuildingDataLibrary'TM: una biblioteca de modelos espaciales BIM

Fructuoso-Sempere, José Juan^a

^a5151 Fructuoso Architect / Founder at www.thebuildingdatalibrary.com, Spain, raval2@josejuanfructuoso.com

Abstract

Many architects or building designers are still reluctant of using BIM during the early stages of the design process. It is due because Building Information Modelling is traditionally focused on the representation of the physical or material aspects of buildings, as an assembly of parts with their associated properties, instead of an arrangement of spaces. In fact, we know a lot of examples of BIM libraries of products from the construction industry but very few collections of buildings modelled as a spatial system using BIM software. To contribute to solve this gap and to spread among architects a useful spatial planning workflow based on BIM, we launch: 'The Building Data Library'TM, an online collaborative platform of analytical 3D models from exemplary buildings where visualize their most relevant data regarding their space planning and their key design features, through BIM and BI (Business Intelligence) tools. In a near future, these kinds of BIM libraries could be useful working as repositories to integrate and analyze data throughout all phases of a building life-cycle and, when the number of building samples is significant, to develop predictive models based on Machine Learning addressed to the automation of many design processes.

Keywords: Business-Intelligence, BIM, design, library, modelling, Space-Planning, workflow, data, architects

Resumen

Todavía muchos arquitectos son reacios a usar BIM durante las primeras etapas del proceso de diseño. Esto se debe a que el modelado BIM se centra tradicionalmente en la representación del aspecto material de los edificios como un conjunto de elementos con sus propiedades asociadas, más que en la representación de la ordenación de sus espacios. De hecho, conocemos muchos ejemplos de bibliotecas BIM de productos pero muy pocas colecciones de modelos espaciales de edificios que utilicen software BIM. Para contribuir a resolver esta carencia y difundir entre los arquitectos un flujo de trabajo proyectual basado en BIM lanzamos: 'The Building Data Library'TM, una plataforma colaborativa online de modelos analíticos 3D de edificios significativos donde visualizar su organización espacial y sus características de diseño relevantes a través de herramientas BIM y BI (Business Intelligence). En un futuro próximo estas bibliotecas BIM espaciales pueden ser muy útiles como repositorio donde integrar y analizar datos de todas las fases del ciclo de vida de un edificio para, una vez el número de muestras de edificios sea significativo, poder desarrollar modelos predictivos basados en Machine Learning dirigidos a la automatización de los procesos de diseño.

Palabras clave: Business-Intelligence, BIM, diseño, biblioteca, modelado, proyecto, metodología, datos, arquitectos, espacios

Introducción

A pesar de los esfuerzos dirigidos por la industria AECO para convencer a los proyectistas de los grandes beneficios que se obtienen al adoptar el BIM en las fases tempranas del diseño de un edificio, todavía muchos arquitectos son reacios a usar esta metodología durante las primeras etapas de proyecto. Esto es debido a que el modelado BIM está concebido principalmente para representar y gestionar los elementos constructivos de un edificio como una suma de partes, mientras que el proceso de proyecto arquitectónico concibe el edificio como una organización holística materia-espacio. El modelo espacial es por tanto la estructura fundamental de la propuesta arquitectónica, es la entidad conceptual que da soporte a las realidades material, funcional y experiencial que acompañarán al edificio a lo largo de toda su vida útil. Pero actualmente la metodología BIM carece de herramientas adecuadas para resolver dicho modelado.

En el ámbito del modelado BIM se invierten muchos recursos en dotar al técnico proyectista de bibliotecas de componentes que recojan las características geométricas y materiales de los productos de la industria. Estas colecciones de productos permiten al modelador no sólo documentar con precisión la propuesta, sino también elegir la solución constructiva más adecuada a partir de sus datos agregados y/o calculados, pudiendo justificar la toma de decisiones constructivas con datos cuantitativos. En cambio, la mayor parte de las decisiones relativas a la ordenación espacial del edificio no se apoyan en datos objetivos, sino que se basan su fiabilidad e idoneidad en la experiencia y solvencia profesional del proyectista.

Debido a estas dos cuestiones, las carencias de las herramientas de modelado espacial BIM y la propia naturaleza no determinista de la metodología proyectual, las decisiones sobre la ordenación espacial que se toman en las fases iniciales del proyecto suelen quedar fuera del ámbito de los flujos de trabajo BIM. Actualmente un proyectista con formación avanzada podría apoyar algunas de sus decisiones iniciales en el uso de algoritmos genéticos, pero en la mayor parte de los casos el proyecto arquitectónico sigue basando su método en el análisis y estudio de casos previos de éxito. Sería por tanto de gran utilidad para el proyectista que trabaja con metodología BIM contar con una colección o biblioteca de edificios de referencia analizados y modelados con criterios espaciales que le sirviesen tanto de punto de partida para la ordenación de los espacios como de repositorio de datos e indicadores que le facilitasen comparar su propuesta con edificios de referencia.

El objeto de este artículo es por tanto describir una metodología de modelado espacial basada en BIM complementada con herramientas de analítica de datos Business Intelligence (BI) que permita implementar una biblioteca online de modelos espaciales de edificios que sirva de apoyo a la toma de decisiones en las fases iniciales de proyecto.

1. Modelado espacial vs modelado constructivo

En el proceso de proyecto arquitectónico es el modelo espacial el que sirve de base para la definición del modelo constructivo, siendo su carácter conceptual el que dota de gran flexibilidad al desarrollo del proceso. Esto quiere decir que para configurar y ordenar espacios no es necesario definir inicialmente la materialidad de sus elementos delimitadores. El proyecto se piensa a través del dibujo de líneas y es el carácter ambiguo, impreciso e interpretable de su trazado la que permite al proyectista explorar diferentes soluciones y tener en cuenta múltiples aspectos de la realidad de forma casi simultánea. Las líneas se convierten en límites de los espacios y su falta de materialidad dota de gran versatilidad al proceso de toma de decisiones. Líneas, planos y superficies inmatrimales son los elementos básicos para representar la estructura espacial unívoca de un edificio en los estadios iniciales de proyecto.

El modelado virtual 3D en el que se apoyan las herramientas BIM está basado en la programación orientada a objetos donde cada geometría, represente un objeto material o inmaterial, es una entidad diferenciada. Por tanto, aun trazando líneas o elementos constructivos delimitadores de un recinto, dicho espacio vacío sólo 'existe' para el modelo si ha sido creado como una entidad, tomando diferentes denominaciones dependiendo del software utilizado: 'habitación', 'local', 'espacio', etc. Estos objetos son muy útiles para la gestión y representación de los datos espaciales, pero sus capacidades de modelado geométrico y de

representación están limitadas por las propias características del software. La geometría de estas entidades espaciales y los elementos constructivos delimitadores que configuran su forma son independientes y se registran en la base de datos del modelo como objetos diferentes, una situación que dificulta la consulta y edición de las relaciones topológicas que comparten entre ellos. Dicho en terminología GIS, la entidad espacial y la entidad límite no comparten bordes.

La metodología BIM ha adoptado un modelado basado en la industria de componentes donde las operaciones de ensamblado necesitan concebir cada pieza del conjunto como una geometría cerrada o 'manifold'. Cada pieza o componente tiene sus límites, su forma geométrica que la define y se relaciona con las piezas contiguas por yuxtaposición. No comparten los planos de contacto. Este modelado se ha adaptado bien al proceso edificatorio en cuanto que un edificio construido es un sistema agregado de componentes. Pero cuando describimos el edificio a partir de sistemas analíticos que trascienden su materialidad y que requieren de un modelado conceptual como son la ordenación espacial, el análisis estructural, el análisis energético, etc., los sistemas basados en componentes resultan insuficientes.

Afortunadamente se están desarrollando herramientas de modelado auxiliares que introducen las topologías 'non-manifold' en el modelado tradicional, lo que nos va a permitir integrar dentro de nuestros modelos BIM modelos analíticos espaciales compuestos por ejes, caras, superficies y vacíos con relaciones topológicas. Podremos representar y concebir los edificios como si fuesen organizaciones celulares como alternativa o complemento al modelado tradicional que representa el edificio como un conjunto de elementos ensamblados. (Jabi et al. 2018)

2. Análisis espacial de edificios a través del modelado BIM

La metodología de análisis que desarrollamos en el presente artículo puede llevarse a cabo a partir de entidades espaciales modeladas con BIM tradicional o con un modelado basado en entidades topológicas. Aun teniendo en cuenta las limitaciones descritas en el capítulo anterior el modelado espacial que proponemos está basado en entidades espaciales con geometría 'manifold' para facilitar su difusión y adopción entre la comunidad de usuarios BIM. En concreto, en las imágenes que ilustran el artículo se ha utilizado la entidad 'Habitación' de Revit™.

Nos serviremos de las 'Habitaciones' para representar con diferentes códigos de color cuatro dimensiones de análisis de la ordenación espacial del edificio.

- 'Circulation': distingue los núcleos de comunicación y espacios de circulación del resto
- 'Usage': asigna el mismo color a espacios de uso equivalente
- 'Space Type': distingue entre espacios según sus superficies delimitadoras
- 'Volume': distingue entre volúmenes y vacíos.

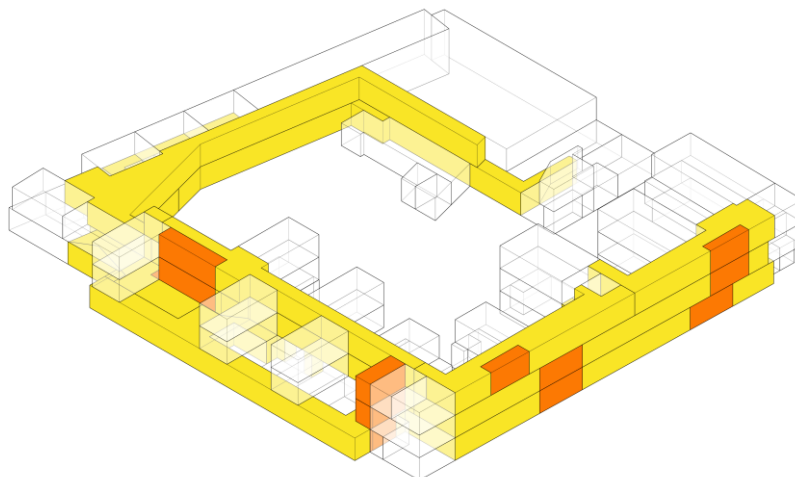


Fig. 1 Ejemplo de análisis de la dimensión espacial: 'Circulations'. Fuente: Elaboración propia

2.1. Tipos de espacios: 'Space Type'

Dentro de la dimensión 'Space Type' distinguimos entre cinco tipos de espacios o recintos diferentes dependiendo de la existencia de superficies delimitadoras (fig.2). Si interpretamos un recinto como un cubo ideal cerrado donde las caras son sus límites espaciales, quedarían definidos los siguientes tipos espaciales:

- 'Room': delimitado en todas sus caras verticales y horizontales.
- 'Patio': sin cara horizontal superior
- 'Porch': sin alguna o ninguna cara vertical
- 'Ground': sólo con cara horizontal inferior.
- 'Void': sin caras inferiores ni superiores.

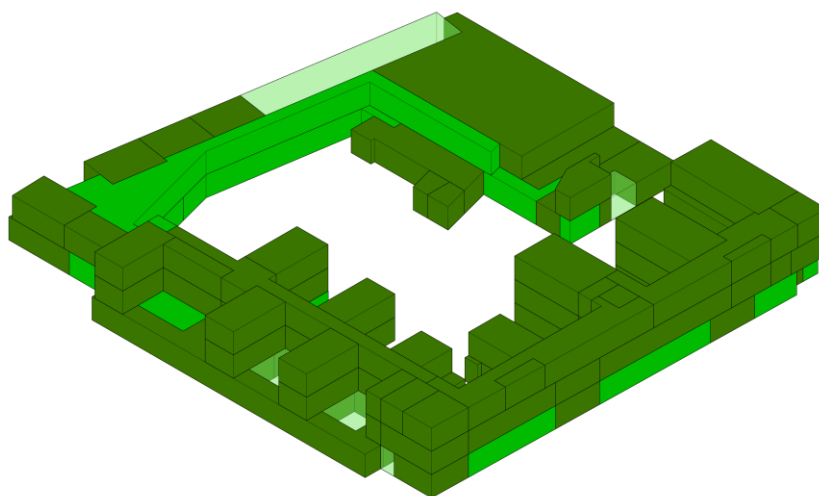


Fig. 2 Ejemplo de análisis de la dimensión espacial: 'Space Type'. Fuente: Elaboración propia

2.2. La forma del edificio: 'Shape'

Desde el punto de vista arquitectónico vacíos y materia conforman una definición espacial que se percibe de forma unívoca. Por tanto nuestro análisis quedaría incompleto si no aportásemos información sobre la forma material que define y contiene los espacios. En nuestro caso dicha materialidad no remite a sistemas o soluciones constructivas concretas. Nos estamos refiriendo al concepto de materia como forma, entendida no como silueta o contorno exterior sino, adoptando una definición estructuralista, entender la forma en cuanto esencia del objeto. (Montaner, 2002)

Tomaremos la dimensión 'Space Type' como punto de partida para modelar la representación de la forma o 'shape' del edificio analizado. A través de scripts de Dynamo™ que tendrán en cuenta los tipos de espacio asignados a las habitaciones, modelaremos una maqueta blanca conceptual compuesta por elementos constructivos genéricos de espesores adecuados para la impresión aditiva 3D. En ningún caso se trata de ofrecer una percepción similar a la apariencia real del edificio construido que imite la realidad, sino de extraer a través de dicha maqueta la idea seminal de la propuesta arquitectónica.

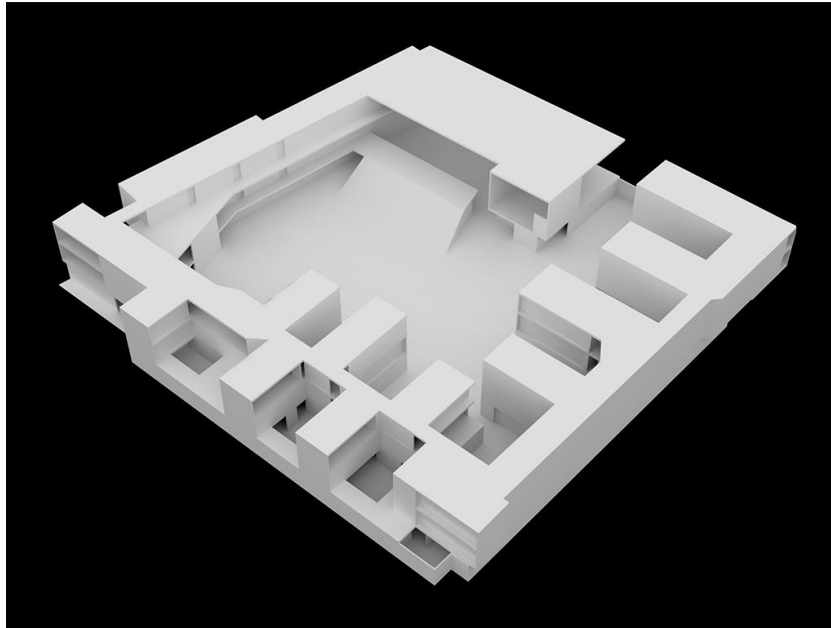


Fig. 3 Ejemplo de modelo conceptual 3D: 'Shape'. Fuente: Elaboración propia

3. Flujo de trabajo en el modelado espacial BIM

Una vez definidas las dimensiones del análisis, pasamos a describir el flujo de trabajo utilizado para el modelado espacial.

Como punto de partida tomaremos la información gráfica publicada del edificio de referencia que pretendamos analizar e insertamos las imágenes raster de sus plantas en sus correspondientes niveles. Para agilizar dicha tarea definiremos un script de Dynamo™ que automatice la definición de niveles en las cotas adecuadas y la inserción de los raster en los mismos.

Sobre dichas plantas trazaremos las líneas delimitadoras de sus recintos sin tener en cuenta las discontinuidades de los huecos. Este trazado puede hacerse de forma manual en el propio software BIM o con un programa CAD desde el que vincularemos dichas líneas. Usuarios avanzados podrían automatizar este proceso con aplicaciones basadas en reconocimiento de imagen.

A partir de dicho trazado de líneas delimitadoras generaremos las entidades espaciales 'Habitación'. Definiremos en ellas nuevos parámetros con las dimensiones del análisis 'Circulations', 'Usage', 'SpaceType', 'Volume' y les asignaremos los valores adecuados conforme a las características de cada espacio.

Como en Revit™ no es posible la visualización 3D de la entidad 'Habitación' definiremos un macro o script de programación visual en Dynamo™ para transformar su geometría en un objeto 'DirectShape' visible que incorporará los parámetros de su recinto correspondiente.

La definición de los adecuados filtros de color en las representaciones de vista del modelo tanto en planta como en 3D, nos permitirán visualizar la estructura espacial del edificio según sus diferentes dimensiones de análisis.

4. Análisis de datos e indicadores con herramientas de Business Intelligence

Las herramientas de Business Intelligence (BI) como PowerBI™ pueden ser de gran utilidad para el modelado y visualización de datos integrados a partir de gran variedad de orígenes. En nuestro caso utilizamos el modelo espacial BIM para obtener los datos de las entidades 'Habitación' relativos a su geometría, dimensiones, localización, tipología, uso, etc., para posteriormente segmentar y agregar dichos

datos de forma que muestren de forma simplificada e interactiva la información que creamos más conveniente.

Las posibilidades de aplicación práctica que ofrecen dichas herramientas exceden el objeto de este artículo y serán desarrolladas en comunicaciones futuras, pero todas ellas tienen en común un modelo espacial BIM, un mapa del edificio que utilizamos a modo de repositorio que registra y refleja información relativa al uso del edificio a lo largo de su vida útil.

Existen experiencias interesantes en el Reino Unido dirigidas a la definición de indicadores de calidad para evaluar el diseño de los edificios (Macmillan et al., 2004). Avanzando en otras líneas de investigación, sería posible definir ciertos indicadores espaciales: conectividad, compacidad, granularidad, que complementados con otros datos de opinión: experiencia de usuario, crítica especializada, redes sociales, nos permitiesen acercarnos a una evaluación objetiva de la calidad del diseño espacial de nuestras propuestas a través del 'benchmarking' con otros modelos de referencia.

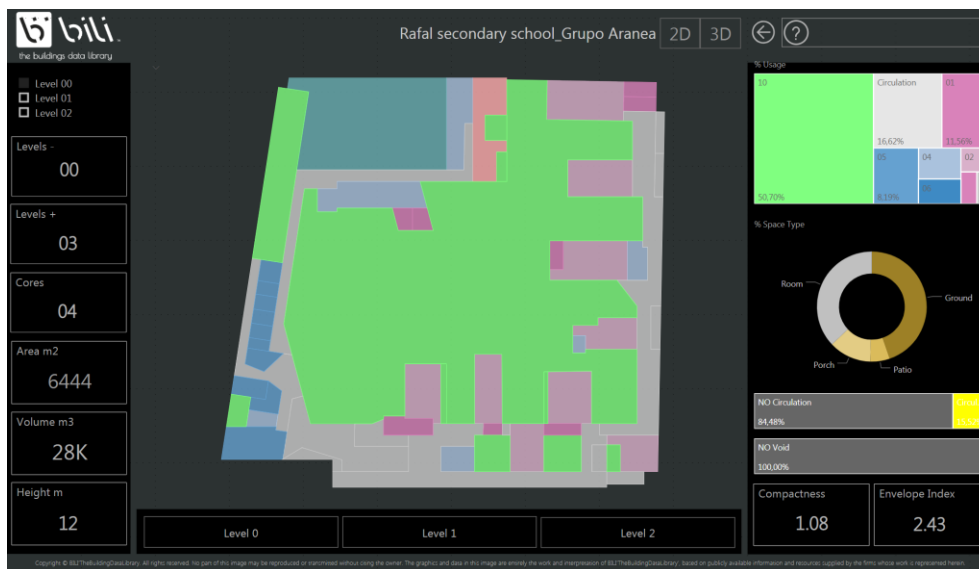


Fig. 4 Ejemplo de 'dashboard' en PowerBI. Fuente: Elaboración propia

5. Hacia una biblioteca de modelos espaciales BIM

Esta investigación quiere contribuir a la mejora de la calidad del diseño de nuestros edificios trazando puntos de encuentro entre la metodología BIM y el proceso de proyecto arquitectónico. Actualmente, ni el uso de algoritmos genéticos para la optimización formal, ni las mejoras en la gestión de la información con BIM-GIS, ni la automatización de la construcción a través de la fabricación digital o a la monitorización de los datos de un edificio bastan para que quede garantizada la calidad arquitectónica del mismo. Porque el proyecto de un edificio va más allá de la suma de los productos que lo componen.

Debemos por tanto profundizar en la mejora de la calidad proyectual a través de la mejora de su estructura espacial, al ser ésta la que da soporte y coherencia a todos los elementos y sistemas del mismo. Los modelos espaciales BIM nos pueden ser de gran utilidad en esta tarea. En fases iniciales de diseño para tomar decisiones de ordenación de espacios, en fase de construcción para dotar de coherencia a los cambios sobrevenidos y en fase de mantenimiento como soporte para registrar y analizar de toda la información generada a lo largo de su vida útil. Y ya que el modelado BIM adolece de limitaciones que impiden su uso generalizado como herramienta de análisis espacial, debemos avanzar en la integración de topologías 'non-manifold' dentro del modelado BIM tradicional.

Conocemos muchos ejemplos de bibliotecas de productos BIM, bases de datos alfa-numéricos o de imágenes de edificios, colecciones de edificios en 3D CityGML, maquetas imprimibles, etc., pero existe un gran vacío de contenidos relacionados con el modelado espacial BIM. El desarrollo de una biblioteca de edificios basada en estos modelos puede ser de gran utilidad ya sea para su consulta como catálogo de

proyectos de referencia, para proporcionar un recurso didáctico de análisis espacial o, en una fase más avanzada, como base de datos para el entrenamiento de modelos de Machine Learning (ML) aplicados al diseño generativo de edificios.

6. Referencias

- DERIX, Christian and Asmund IZAKI, Sebastian, 2014. *Empathic Space: the computation of human-centric architecture*. New Jersey: S John Wiley & Sons Inc. ISBN 978-1-118-61348-1.
- DEUTCH, Randy, 2015. *Data-Driven Design and Construction: 25 Strategies for Capturing, Analysing and Applying Building Data*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc. ISBN 978-1-118-89870-3.
- FERNANDEZ Aurora and Javier MOZAS, 2016. *Form and Data. Collective housing projects: an anatomical review*. Vitoria-Gasteiz: a+t architectural publishers. ISBN 978-84-608-1485-6.
- GEOGRAPHICA, 2018. Don't count data. Make data count. [online] Geographica [accessed 11 January 2018]. Retrieved from: https://geographica.gs/es/#casos_de_estudio
- HDR, 2017. *Data-Driven Design at HDR. Computational design, predictive analytics, operations design*. [accessed 12 October 2017]. Retrieved from: <https://www.hdrinc.com/insights/data-driven-design-hdr>
- HOLLAND, Nathaniel, 2011. *Inform, Form, Perform*. [online] University of Nebraska-Lincoln. [accessed 05 February 2016]. Retrieved from: https://digitalcommons.unl.edu/archthesis/120/?utm_source=digitalcommons.unl.edu%2Farchthesis%2F120&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- JABI, Wassim, AISH, Robert, et alt.(2016). "Topologic. A toolkit for spatial and topological modelling". En *Shape, Form and Geometry. Applications*. eCAADe 36 (2016, vol. 2,
- LAZOVSKY, Ionathan, 2018. *Machine Learning and the Construction Industry*. [online] Linkedin [accessed 13 March 2018]. Retrieved from: <https://www.linkedin.com/pulse/machine-learning-construction-industry-ionathan-lazovski/>
- MACMILLAN, Sebastian, 2004. *Designing better buildings. Quality and value in the built environment*. London: Spon Press. ISBN 978-0-415-31526-5.
- MONTANER, José María, 2002. *Las formas del siglo XX*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili. ISBN 84-252-1821-7
- PATERSON, Greig, 2017. *Real-time energy use predictions at the early architectural design stages with Machine Learning*. London: UCL [accessed 23 October 2017]. Retrieved from: <http://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1553395>
- SAPP, Carlton E, 2017. *Preparing and Architecting Machine Learning*. [online] Gartner [accessed 10 April 2017]. Retrieved from: <https://www.gartner.com/doc/3573617/preparing-architecting-machine-learning>
- SHERMAN, Ryck, 2015. *Business Intelligence guidebook: from data integration to analytics*. Waltham: Elsevier Inc. ISBN 978-0-12-411461-6.
- STEVENS, Dick, 2014. *Predicting real estate price using text mining*. Tilburg: Tilburg University [accessed 27 October 2017]. Retrieved from: <http://arno.uvt.nl/show.cgi?fid=134740>
- THE LIVING, 2017. *Generative Design for Architecture: Autodesk MaRS Office*. [online] Vimeo. [accessed 15 January 2018]. Retrieved from: <https://vimeo.com/193915345>
- WOODS BAGOT, 2017. *SuperSpace. Merging human behaviour design & computational intelligence*. [online] Woods Bagot. [accessed 20 October 2017]. Retrieved from: <https://www.woodsbagot.com/enterprise/superspace>

Automatización de tareas para el diseño y dimensionado de instalaciones en edificación dentro de un entorno colaborativo BIM multidisciplinar

Uró-Costa, Alejandro; Jiménez-de-Lope, José María^a

^aUró-Costa, Alejandro. Ingeniero Eléctrico. Desarrollador BIM.alejandrourocosta@yahoo.es, ^bJiménez-de-Lope, José María. Coordinador BIM. Desarrollador BIM.chema.jimenez@gmail.com

Abstract

Since the arrival of BIM methodology, we are used to receive many presentations, most of them, focused on building projects and in particular on the architecture discipline.

In this case, it is intended to highlight the key points to develop electrical projects in medium-large sized buildings in a collaborative environment. Not only the coordination tasks between electrical designers and the rest of teams involved in the project (architects, structural designers, external networks designers and other MEP designers) will be discussed, but also we will share solutions, showing some case studies developed by our team to automate both the coordination tasks outlined above and the design, calculation, sizing, document production process and interoperability between REVIT and other software used in the project.

Keywords: MEP, Electrical, Coordination, Interoperability, Automation, REVIT API, C#.

Resumen

Desde la llegada del BIM, estamos acostumbrados a ver multitud de presentaciones, la mayor parte de estas están enfocadas a proyectos de edificación y en concreto, a la disciplina de Arquitectura.

En este caso se expondrán los puntos clave a la hora de realizar proyectos de instalaciones eléctricas en edificios de tamaño medio-grande en un entorno colaborativo. Se hablará tanto de las tareas de coordinación entre el equipo de diseño eléctrico con los demás agentes implicados en el proyecto (arquitectura, estructuras, redes exteriores y resto de instalaciones), como de soluciones, mostrando varios casos de éxito, creadas por nuestro equipo a la hora de automatizar tanto las tareas de coordinación expuestas anteriormente, como las tareas de diseño, calculo, dimensionado y producción de documentación e interoperabilidad entre REVIT y otros softwares utilizados.

Palabras clave: Instalaciones, Electricidad, Coordinación, Interoperabilidad, Automatización, API de REVIT, C#

Introducción

Con la llegada de la metodología BIM se ha puesto al alcance de las empresas del sector de la construcción, numerosas herramientas que nos permiten hacer nuestro trabajo de una forma mucho más coordinada entre los diferentes equipos involucrados en un proyecto. Nuestro equipo se dedica al desarrollo de proyectos de instalaciones de edificios. El uso que damos a la metodología se centra principalmente en la automatización [1], por un lado del intercambio de información entre consultores y por otro lado de la producción de nuestro trabajo (generación de esquemas, interoperabilidad con programas de cálculo y dimensionado, integración dentro de REVIT [2] de nuestros flujos de trabajo...). En esta ponencia intentaremos hacer un repaso por los problemas que se nos han presentado a la hora de trabajar en un entorno colaborativo BIM y como hemos desarrollado nuestras propias herramientas para solucionarlos. Gran parte de los miembros de nuestro equipo han tenido hacer un cambio radical en su mentalidad y otros nos hemos tenido que reinventar para convertirnos en nuestros propios desarrolladores de herramientas.

1. Intercambio de información entre consultores

Uno de los puntos fuertes de BIM, es la numerosa cantidad de herramientas y opciones que nos proporciona para hacer más fácil y llevadero el intercambio de información entre diferentes miembros del equipo. Esto nos pone en la obligación de entregar unos trabajos completamente coordinados, en los que no hay lugar a discrepancias entre diferentes partes de los entregables de un proyecto. Hoy en día, no debería ser aceptable que entre un plano de planta y un esquema hubiera informaciones contradictorias.

En las siguientes líneas vamos a enumerar los casos más destacables donde hemos innovado en nuestros flujos de trabajo.

1.1. Herramienta de vinculación de elementos y su información

1.1.1. Descripción del origen del problema

En los proyectos que llevamos a cabo son los arquitectos quienes marcan, para la mayoría de las salas del edificio, la localización de las tomas eléctricas, tomas de datos, interruptores y otros elementos eléctricos. En aquellos casos en los que no se indica la localización, para poder llevar a cabo un buen diseño eléctrico del edificio, se dispone de la ubicación del mobiliario y de los equipos que precisan una conexión con alguna instalación, que proporcionará los mínimos requeridos para el buen funcionamiento del edificio desde el punto de vista eléctrico.

En proyectos de gran magnitud, el número de tomas eléctricas implementadas por el equipo de arquitectura puede rondar las 20000, además de 10000 tomas de datos, etc. Estimamos que en este tipo de proyectos el número de elementos diseñados por el equipo de arquitectura a tener en cuenta desde el punto de vista del equipo de instalaciones podría ser mayor de 40000 elementos.

Por otro lado, los modelos de arquitectura e instalaciones han de ser siempre diferentes, por lo que realizar las conexiones entre elementos directamente sobre el diseño de arquitectura no es posible. Esto implica la necesidad de replicar toda esta información de arquitectura en los modelos de instalaciones, donde podrá ser conectado y así posteriormente se podrán extraer todos aquellos datos necesarios para poder realizar los cálculos necesarios.

1.1.2. Descripción de la solución

Vista la problemática de los tiempos necesarios para poder tener una relación fidedigna entre la información proporcionada desde el equipo de arquitectura y la mostrada en los proyectos de instalaciones, se comenzó a plantear la posibilidad de automatizar el proceso.

El objetivo era desarrollar una herramienta que leyendo el modelo de arquitectura fuese capaz de replicar los elementos que requerían una conexión con algún modelo de instalaciones reduciendo los tiempos de asignación inicial y posterior actualización, tal y como se representa en el ejemplo de la figura 1.

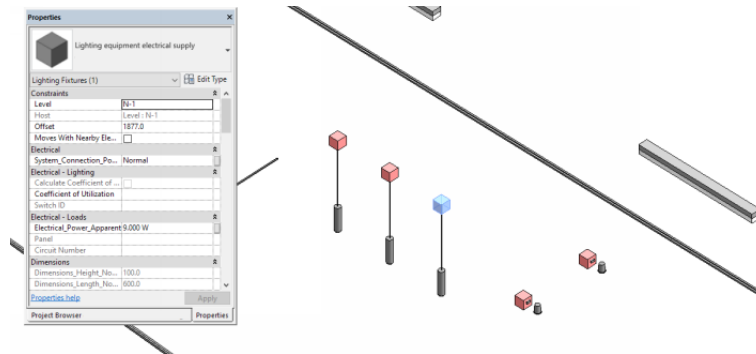


Fig. 1. Representación de conexión eléctrica relacionada con luminaria en diferentes modelos. Fuente: Elaboración propia (2019)

Tras valorar herramientas de terceros disponibles en el mercado, y no habiendo encontrado ninguna que se adaptase por completo a nuestras necesidades, la única solución encontrada fue el desarrollo de nuestra propia herramienta de vínculo entre elementos.

Los objetivos que la herramienta desarrollada cumple son los siguientes:

- A través de las instrucciones que el usuario indica, analizar un modelo externo en busca de los elementos que requieren conexión con el modelo de la instalación (el elemento tiene un conector eléctrico, un parámetro de caudal de agua o aire...).
- Extraer el punto de inserción de dicho elemento.
- Insertar en el mismo punto, el elemento “conector” apropiado previamente especificado por el usuario (una toma de corriente, un punto de conexión con la red de agua, un conducto flexible para extracción de humos...).
- Leer la información que se desea vincular entre el elemento a conectar y el elemento receptor y replicar los parámetros de origen en los parámetros de destino en el modelo de instalaciones, como se puede observar en el ejemplo de la figura 2.
- Recordar el vínculo entre los elementos para futuras actualizaciones, tanto de localización como cambios en sus propiedades.

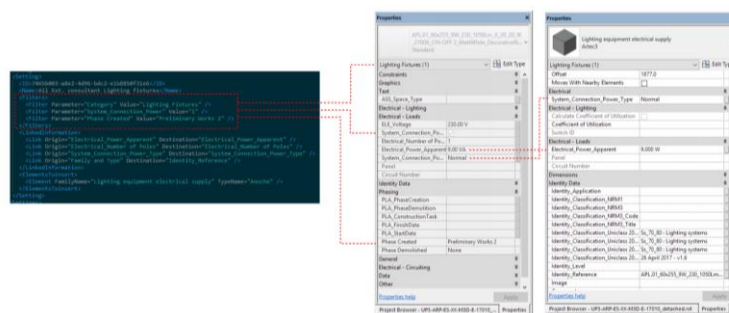


Fig. 2. Vínculo de información entre elementos Fuente: Elaboración propia (2019)

Las instrucciones que el usuario le da a la herramienta se hacen a través de sencillos ficheros .xml, los cuales pueden ser editados desde una sencilla interfaz de usuario desde el mismo REVIT o desde EXCEL [3]. El resto de operaciones se hacen a través de REVIT y gracias al almacenamiento extensible de este, no es necesario el apoyo de ningún fichero o base de datos ajeno a este.

1.2. Correlación entre elementos vinculados y su potencia y clasificación de carga

1.2.1. Descripción del origen del problema

Una vez que hemos conseguido automatizar la inclusión de estos elementos el modelo eléctrico nos encontramos con que tenemos miles de elementos eléctricos que en realidad no tienen datos eléctricos más allá del tipo de toma eléctrica que son.

Para poder realizar convenientemente el proyecto eléctrico será necesario establecer una relación entre el algún parámetro de identidad que establece el uso final de cada toma eléctrica y la potencia y clasificación de carga de cada una de las tomas.

Este parámetro de identidad lo habremos rellenado automáticamente a través de la herramienta de vinculación de elementos en el caso de tomas que están vinculadas a otro modelo o manualmente en aquellas tomas que hayan sido añadidas sin usar esa herramienta.

En proyectos pequeños esto podría ser ejecutado desde una tabla de planificación dentro del propio modelo eléctrico, pero en proyectos de gran magnitud el número de usos eléctricos diferentes de los que se puede estar haciendo uso podría alcanzar los 1000.

1.2.2. Descripción de la solución

Llegados a este punto, identificamos esta tarea como un posible cuello de botella y se toma la decisión de realizar una herramienta que, basada en una tabla base que contenga la correlación entre todos los datos, realice esta tarea de modo automático.

Para ello se formalizó una tabla en EXCEL en la que a cada uno de los diferentes usos eléctricos asignados en este modelo se le relaciona una potencia eléctrica y una clasificación de carga. Estos usos eléctricos no tienen por qué haber sido añadidos desde la herramienta de vinculación de elementos si no que pueden ser añadidos manualmente en aquellos casos que así fuese necesario.

La herramienta recorrerá todos los elementos eléctricos del modelo y cotejará en la tabla de EXCEL los datos, que serán asignados en los parámetros correspondientes.

Esta herramienta establece además una base permanente de trabajo colaborativo con los distintos equipos de trabajo, ya que al inicio de cualquier proyecto se puede compartir esta codificación, de este modo todos los equipos de proyecto pueden utilizarla con la misma finalidad.

2. Intercambio de Información con programas de cálculo

2.1. DIALUX

2.1.1. Descripción del origen del problema

DIALUX [4] es uno de los programas de cálculo de iluminación más utilizados internacionalmente para realizar proyectos de alumbrado normal y de emergencia.

Este programa permite crear recintos en los que se pueden insertar aquellas luminarias que el diseñador estime oportunas y realizar los cálculos de alumbrado justificativos.

Existen dos escenarios que se suelen dar en los proyectos en los que trabajamos. El primero de ellos es el de aquellas salas del edificio cuya iluminación, tanto normal como de emergencia, ha de ser diseñada por nuestro equipo de instalaciones eléctricas. El segundo escenario es aquel en que la iluminación normal viene dada por un especialista siendo nuestro equipo el encargado de realizar los cálculos de alumbrado de emergencia.

En el primer caso, los únicos datos de que disponemos para realizar los cálculos de alumbrado son la propia geometría de las salas. Por lo tanto, deberemos preparar esa geometría en el programa de cálculo lumínico para todas aquellas salas que sean objeto de cálculo. Esta geometría se describe mediante las coordenadas de cada uno de los vértices de los muros que componen la sala.

En el segundo caso, además de la geometría de las salas tenemos a nuestra disposición la ubicación de las luminarias diseñada por el especialista. En aquellos casos en los que el alumbrado de emergencia se realice mediante un sistema de baterías centralizadas en el que se utilicen las luminarias normales como de emergencia necesitaremos ubicar estas luminarias también en el programa de cálculo.

2.1.2. Descripción de la solución

En proyectos de gran magnitud se ha visto la necesidad de automatizar la generación de geometrías y, si fuese necesario, la inclusión de luminarias directamente en DIALUX.

Un proyecto de estas características puede estar constituido por más de 100 salas tipo, para las que, al menos, habría que construir su geometría. Esto implica una cantidad de horas importante únicamente en transcribir una información ya existente como es la propia geometría de las habitaciones del modelo.

Aprovechando que DIALUX admite como archivo de intercambio de información formatos tipo .stf, en los cuales se puede definir la arquitectura de una sala e incluso las luminarias que la componen se ha estudiado la posibilidad de crear una interacción entre REVIT y DIALUX a través de este tipo de archivo.

Algo a tener en cuenta antes de generar estas habitaciones para el cálculo es que no es necesario exportar todo el modelo. Existen herramientas que generan desde REVIT un archivo .stf para todas aquellas salas que haya en la vista actual. Sin embargo, en multitud de ocasiones habrá muchas salas que serán idénticas entre sí, por lo que solo será necesario realizar el cálculo para una de ellas. Es por ello que la herramienta que hemos desarrollado requiere inicialmente la creación de un parámetro de tipo sí/no con el que se pueda realizar una selección de aquellos espacios que han de ser exportados, según se puede ver en la figura 3. Gracias a esto se mantiene también a lo largo del proyecto una vinculación directa entre la sala tipo en el modelo de REVIT y la sala tipo en DIALUX.

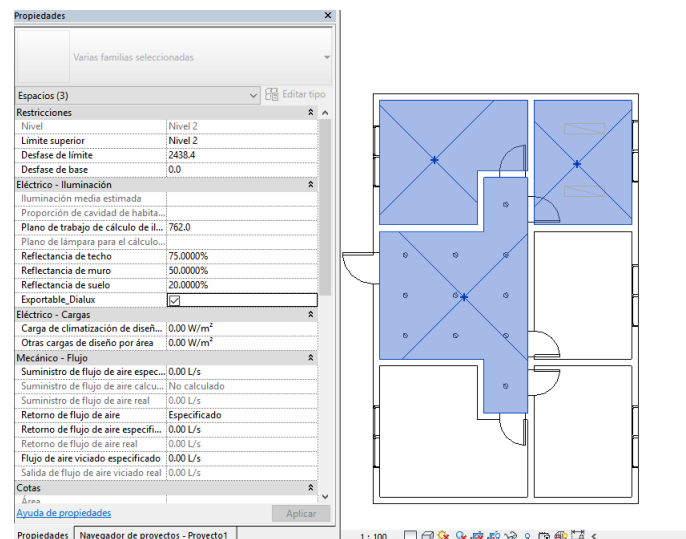


Fig. 3. Espacios que se desean vincular entre REVIT y DIALUX. Fuente: Elaboración propia(2019)

Una vez que se han seleccionado todas las salas que han de ser exportadas se procede a ejecutar la herramienta. Se ha tenido en cuenta que DIALUX no soporta grandes cantidades de salas en un mismo archivo, ralentizándose en exceso cuando el número de salas es muy alto o incluso no llegando a funcionar si el número de salas es excesivo. No es un problema que pueda surgir inicialmente pero que sí surgirá una vez realizados los cálculos, cuando el tamaño del archivo será difícilmente manejable.

Por este motivo la herramienta incluye un selector de número máximo de salas a crear por archivo de DIALUX, de tal modo que el usuario pueda escoger crear archivos con una cantidad más o menos elevada de salas. Así se generarán tantos archivos .stf como sea necesario en función del número de salas a exportar y el número máximo de salas por archivo indicado por el usuario.

Al mismo tiempo se genera un archivo de texto a modo de índice en el que se listan las salas que habrá en cada uno de los archivos. Así, si un proyecto consta de 20 archivos DIALUX no habrá que buscar una sala por el método de ensayo error hasta que se localice, si no que podemos ver en qué archivo tenemos ese cálculo buscándolo directamente en el archivo índice.

Una vez generados los archivos .stf únicamente habrá que importarlos en los correspondientes archivos de DIALUX, como se puede ver en la figura 4, y realizar los cálculos. De este modo, en lugar de invertir horas de trabajo en replicar arquitecturas, o en su defecto días si además de replicar las arquitecturas se han de replicar también las luminarias, en unas horas tendremos disponibles todos los archivos de cálculo preparados para realizar los cálculos y ajustes necesarios.

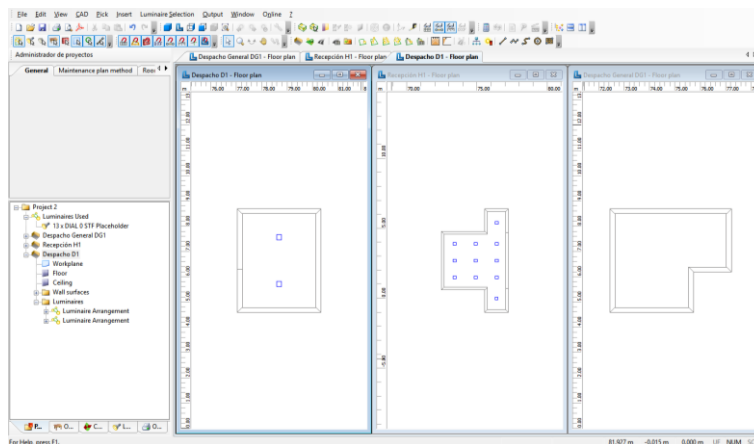


Fig. 4. Archivo de DIALUX con los espacios seleccionados. Fuente: Elaboración propia (2019)

Existe además la posibilidad de interactuar con el modelo de REVIT una vez realizados los cálculos, ya que DIALUX dispone no solo de un importador de archivos .stf, si no que también puede generar una importación de este mismo tipo de archivo, en el que se generaría además de los datos geométricos de las salas, el posicionamiento de cada una de las luminarias en la sala incluyendo el tipo de luminaria y los resultados del cálculo de cada sala en términos de iluminancia. En la figura número 5 se puede ver un ejemplo de configuración de archivo .stf.



Fig. 5. Ejemplo de archivo de configuración .stf entre REVIT y DIALUX. Fuente: Elaboración propia(2019)

Sabiendo cuantas luminarias, de qué tipo y en qué posición han de ser colocadas, y utilizando una herramienta con un motor muy similar al de la herramienta de vinculación de elementos antes descrita se puede asegurar que el vínculo entre REVIT y DIALUX es completo.

2.2. Programa de cálculo eléctrico

2.2.1. Descripción del origen del problema

En los proyectos que desarrollamos, para los cálculos eléctricos de baja tensión, necesitamos hacer uso de programas de cálculo eléctrico de terceros. En el caso que nos ocupa lo utilizaremos para la realización de los cálculos de cables y protecciones de los circuitos, desde el transformador hasta la última toma eléctrica.

Para realizar los cálculos estos programas necesitan, para cada uno de los circuitos objeto de cálculo, ser alimentado con al menos un identificador único del circuito, el cuadro eléctrico que alimenta al circuito, la potencia instalada, la longitud del circuito, el tipo de protección, el modo de instalación del circuito y la caída de tensión total máxima desde el origen.

Analizando la información mínima requerida para la realización de los cálculos, podemos observar que de los siete distintos datos necesarios cuatro de ellos los estaremos generando desde el momento en que estemos creando esa circuitería en REVIT. Estos cuatro datos son el identificador, el cuadro de alimentación, la potencia y la longitud del circuito.

El resto de datos, como tipo de protección, modo de instalación y caída de tensión, pueden ser indirectamente extraídos si se establecen unas bases de cálculo y metodologías de trabajo previas al circueteado, de modo que, por ejemplo, utilizando un sistema bien desarrollado de Clasificación de Cargas, un circuito queda perfectamente definido con la protección necesaria, el modo de instalación y la caída de tensión.

Llegados a este punto se puede observar que el trabajo de relleno de datos eléctricos en el programa sería duplicado si hubiese que rellenarlo de modo manual ya que toda esa información ya ha sido generada una vez, en REVIT.

Una vez rellenos todos los circuitos en el programa de cálculo y habiendo realizado todos los cálculos y ajustes necesarios para un proyecto eléctrico nos encontramos con que gran parte de los datos generados en este cálculo, como secciones y tipos de cableado, modelo y calibre de protecciones y otros accesorios serán necesarios para crear los esquemas que cualquier proyecto eléctrico debe adjuntar.

Es aquí donde nos encontramos otra vez con una gran cantidad de datos disponibles que deberán ser replicados en otro ambiente diferente.

Poniendo en un marco temporal lo anteriormente descrito, un proyecto de gran magnitud puede constar de más de 5000 circuitos, conteniendo cada uno de ellos al menos aquellos siete datos iniciales de entrada y otros cinco de salida. Por lo tanto, se manejarán más de 60000 datos que habrán sido generados y que serán necesarios en otros ámbitos, lo que nos da una idea del tiempo que sería necesario invertir únicamente en replicar información.

2.2.2. Descripción de la solución

Viendo el volumen de información que habrá que compartir entre distintos programas, que por otra parte será generada al final de la vida del proyecto, se ha visto la necesidad de automatizar este proceso, no solo por ahorro de tiempo, que como se puede inferir será muy alto, si no por la mantener la correlación de datos, de modo que siempre sean exactamente los mismos datos en ambos programas.

La herramienta desarrollada, realiza un análisis de los circuitos eléctricos del modelo, localiza la información a exportar, ésta siempre suele ser la misma, pero el usuario puede alterar el set de parámetros según su necesidad. Una vez realizada la extracción de información, ha de hacer una comprobación de que toda la

información está en el formato correcto para que el programa de cálculo la “entienda” perfectamente. El último paso será terminar de rellenar esta información con los datos que no residen directamente en los parámetros de los circuitos de REVIT anteriormente mencionados.

Una vez realizado el formateado de datos, la herramienta genera el archivo de intercambio de información, pudiendo el usuario elegir el mismo entre una extensa lista de extensiones (.txt, .csv, .xlsx, .json, .xml...).

Por medio del GUID de cada circuito de REVIT, la información resultante del cálculo será devuelta a los parámetros correctos con el fin de que nuestro modelo BIM termine siendo el contenedor de toda la información, pudiendo esta ser consultada desde el mismo sin necesidad de tener que recurrir a otras fuentes de datos.

Una vez toda esta información está completa, la herramienta desarrollada permite al usuario generar los esquemas necesarios en cualquier proyecto eléctrico. El usuario podrá controlar las dimensiones de la vista en la que desea realizar los esquemas y los datos de identidad de la misma. De este modo, el tiempo ahorrado en la generación de esquemas es reducido drásticamente y la consistencia de la información entre estos y el modelo será siempre del 100%.

3. Herramientas de Ingeniería

3.1. Herramienta de dimensionado temprano de conductos de ventilación

3.1.1. Descripción del origen del problema

En fases tempranas de un proyecto, como podría ser un proyecto básico, no es muy común realizar la instalación completa del sistema de conductos de climatización en un proyecto de instalaciones.

Normalmente se suelen disponer las conducciones principales por sus recorridos de modo que se pueda hacer una buena estimación de espacio y coordinación de los falsos techos.

Sin embargo, no es habitual disponer los elementos finales en las salas, por lo que el diseño no se puede completar y por lo tanto los conductos no pueden ser dimensionados.

3.1.2. Descripción de la solución

Basado en los datos de ventilación y extracción de las salas que tendremos rellenos en parámetros de los espacios se ha desarrollado una herramienta que permite vincular cada uno de los espacios del modelo a un tramo de un conducto.

De ese modo, una vez está vinculados, el conducto acumula el valor del caudal de aire, según sea el caso, con lo que éste puede ser dimensionado.

3.2. Cálculo de recorridos de cables por bandejas eléctricas

3.2.1. Descripción del origen del problema

La longitud del cableado para circuitos eléctricos proporcionada por REVIT está basada en la suma de las componentes X e Y de la línea que une el elemento final con el cuadro que la alimenta.

En algunas ocasiones esta estimación será correcta, o muy cercana a la realidad. Sin embargo, la distribución de bandejas de un edificio no siempre cumple con esas características, bien porque no es tan extensa como para poder llegar a ese objetivo, bien porque el edificio no está orientado en un eje de coordenadas clásico XY.

3.2.2. Descripción de la solución

Para tratar de obtener una longitud de circuito más realista que se pueda aplicar a los cálculos eléctricos se ha desarrollado una herramienta que calcula la ruta más óptima que debe seguir el cableado a través de las bandejas del modelo para poder alcanzar el cuadro que lo alimenta, según se puede comprobar en la figura 6.

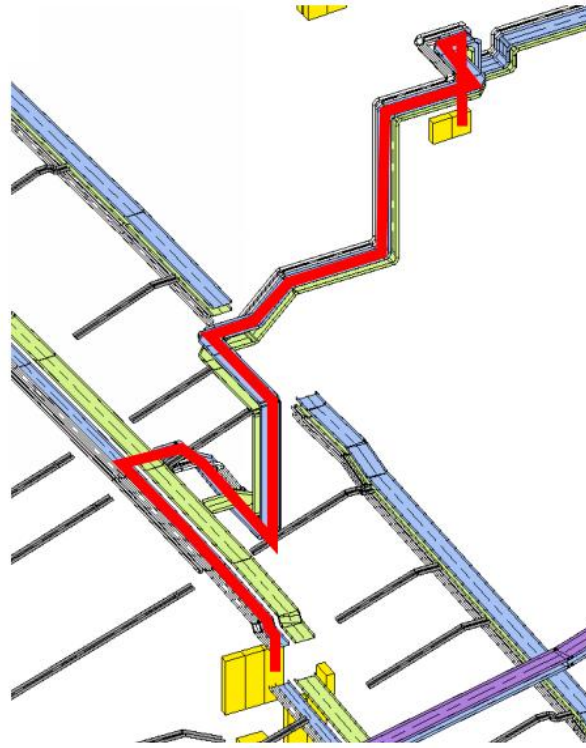


Fig. 6. Ruta entre dos cuadros eléctricos calculada por la herramienta. Fuente: Elaboración propia (2019)

Esta búsqueda conlleva una problemática añadida, debido a que los sistemas de bandejas eléctricas no siempre están totalmente conectados. Por este motivo la herramienta debe detectar posibles uniones entre bandejas que, aunque realmente no existan, si son susceptibles de ser utilizados.

Durante el proceso de desarrollo de esta herramienta, se vio también la posibilidad de asignar a cada bandeja todos los circuitos que la recorren. De este modo, teniendo la sección de cable calculada con nuestro programa de cálculo se puede realizar el cálculo de la sección mínima necesaria para cada uno de los tramos de bandeja existentes en el proyecto de un modo automático.

3.3. Herramienta de dimensionado automático de redes de aguas pluviales

3.3.1. Descripción del origen del problema

El dimensionado de redes de aguas pluviales, en la mayoría de los casos, se puede realizar mediante tablas. La relación entre el caudal y la pendiente de cada tramo de tubería, definen su tamaño. Modelando de un modo tradicional, en un primer paso se modelarían los recorridos de las redes, y una vez hechos estos, sería necesario dar otra vuelta dimensionando la misma.

3.3.2. Descripción de la solución

La herramienta desarrollada permite al usuario introducir los criterios de dimensionado a través de archivos EXCEL con la configuración mostrada en la figura 7.

	A	B	C
1	SLOPE		
2	0,5	--> 1:200	
3			
4	Q MIN (l/s)	Q MAX (l/s)	DN (mm)
5	0	2,9	100
6	2,9	4,8	125
7	4,8	9	150
8	9	16,7	200
9	16,7	26,5	225
10	26,5	31,6	250
11	31,6	56,8	300
12	56,8	999	400
13			
14			
15	SLOPE		
16	1	--> 1:100	
17			
18	Q MIN (l/s)	Q MAX (l/s)	DN (mm)
19	0	4,2	100
20	4,2	6,8	125
21	6,8	12,8	150
22	12,8	23,7	200
23	23,7	37,6	225
24	37,6	44,9	250
25	44,9	80,6	300
26	80,6	999	400
27			
28			
29	SLOPE		
30	1,5	--> 1:67	
31			
32	Q MIN (l/s)	Q MAX (l/s)	DN (mm)
33	0	5,1	100

Fig. 7. Tabla de configuración de tamaños de tuberías en relación a pendiente y caudal de agua. Fuente: Elaboración propia (2019)

Modelando la red, conectando los elementos terminales, estos introducirán el caudal de agua dentro de la misma. Llegados a este punto, tanto la información del caudal como de la pendiente de la tubería puede ser extraída del modelo. Esta herramienta, lee las tablas ya introducidas por el usuario y asigna a cada tramo de tubería su tamaño correcto. En la figura 8 se muestra una porción de red dimensionada con esta herramienta.

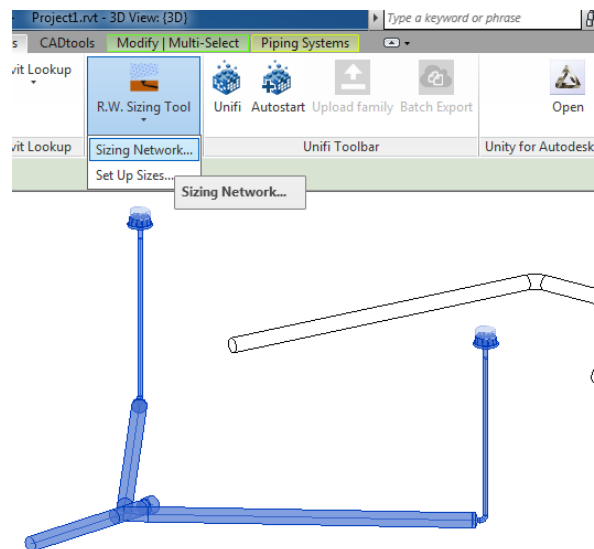


Fig. 8. Porción de una red de aguas pluviales dimensionada con la herramienta. Fuente: Elaboración propia (2019)

4. Conclusiones

A la hora de desarrollar proyectos de instalaciones de edificios utilizando las herramientas BIM que actualmente hay en el mercado, se observa que las limitaciones de estos softwares son tales que no permiten ningún ahorro en cuanto a productividad durante la elaboración del proyecto.

Siempre desde el punto de vista de las instalaciones, se comprueba que la automatización de procesos puede suponer un hecho diferencial y una solución a las limitaciones anteriormente descritas. Tal y como se ha podido comprobar con los distintos ejemplos que se han mostrado en la presente comunicación, la automatización de procesos en el entorno de la ingeniería de instalaciones no solo produce ahorros en los tiempos de producción, si no que también aporta fiabilidad en el traspaso de datos, vinculación con elementos interdisciplinarios y mejora en los tiempos de tomas de decisión inicial y de revisión de calidad.

Encontrar este tipo de herramientas orientadas exclusivamente a ingeniería de instalaciones es muy complicado y las existentes no son lo suficientemente flexibles para adaptarse a los flujos de trabajo. Por lo tanto, se estima necesario recurrir al desarrollo de herramientas propias con el fin de automatizar el mayor número de flujos de trabajo posible.

5. Referencias

[1] Herramientas desarrolladas mediante el lenguaje de programación C#. <<https://dotnet.microsoft.com>>

[2] AUTODESK REVIT. <<https://www.autodesk.es/products/REVIT>>

[3] Microsoft EXCEL. <<https://products.office.com/es-es/EXCEL>>

[4] DIALUX. <<https://www.dial.de/es/DIALUX>>

Proceso de calidad en BIM

Reina-Rojas, Andrea^a, Sarrocco, Matteo^b

^aBIM Coordinator.Parallel Digital (Roma,Italia). andrea.reinarojas@parallel.digital, ^bBIM Manager. Parallel Digital (Roma, Italia)

Abstract

In the last years, the digitization process in the construction sector has undergone a strong evolution, this create the requirement of take greater quality control in the process and in the final result.

To guarantee the correct data entry in the models, we make a regular control that allows us to impinge on: Quality analysis of data, Check of BIM standards, Check of modelling progress, Planning analysis, Bill of quantities analysis

We had developed a control and management methodology, creating a storical Common Data Environment (CDE) in cloud, through the data export with Dynamo for Revit and the visualization of dynamic dashboards online that alert us, the managers and coordinators of the possible inconsistencies.

Our workflow is the following: BIM and monitoring model objective setting, Regular tests, Analysis and result solving

Preparing regular reports we are able to obtain a monitoring of the models development and their possible problems, reaching the objective of a quality process.

Keywords: Quality, Dynamo, Dashboard, CDE, process, monitoring.

Resumen

En los últimos años, el proceso de digitalización en el sector de la construction ha tenido una fuerte evolución, esto crea la exigencia de tener un mayor control de la calidad ya sea del proceso que del resultado final.

Para garantizar la correcta inserción de la información en los modelos realizamos un control periódico que nos permite incidir en: Análisis de la calidad de la información, Control de los BIM estándares, Control del progreso de la modelación, Análisis de la planificación de obra, Análisis de la mediciones y el presupuesto.

Para ellos hemos desarrollado una metodología interna de control y gestión, creando un Common Data Environment (CDE) histórico en la nube, mediante la exportación con Dynamo para Revit y la visualización de paneles de control dinámicos online que nos alertan a los responsables de las posibles discrepancias.

Nuestro flujo de trabajo es el siguiente: Determinación de los objetivos BIM y monitorización de los modelos, Test periódicos, Análisis y resolución de los resultados

Preparando informes periódicos somos capaces de tener un seguimiento del crecimiento de los modelos y sus posibles problemas., alcanzando el objetivo de un proceso de calidad.

Palabras clave: Calidad, Dynamo, Panel de control, CDE, proceso, monitoreo.

Introducción

El progreso en la digitalización de la construcción ha llevado al usuario BIM a un crecimiento de conocimiento y a la gestión de procesos de una manera más madura. La proyectación con la metodología BIM lleva inevitablemente a gestionar una enorme cantidad de datos. El análisis de la información es tan importante como el mismo proyecto, es decir, si se estructuran los datos con los criterios adecuados, nos pueden dar el cuadro específico de la evolución del proyecto, por lo tanto es útil tanto para los proyectistas como para el mismo cliente. A este nivel de madurez de comprensión de los procesos BIM lo hemos llamado BIA (Building Information Analysis).

La visualización de los datos es un tema que está cada vez más presente en la vida cotidiana, basta pensar a los paneles de control dinámicos que nos ofrecen para la comprensión del tráfico de datos o de consumos energéticos.

Generalmente las imágenes tienen una elevada capacidad para sintetizar, permiten comunicar velozmente la información incluso a aquellos que no tienen relación con la temática. Un gráfico que representa el estado actual del modelo BIM de un proyecto es capaz de comunicar inmediatamente si los estándares están siendo respetados, forzando a quien lo visualiza a interpretar la información.

Parallel Digital ha desarrollado una metodología en relación a la creación de una base de datos para la lectura de modelos. Tal procedimiento incluye el uso de Dynamo para Revit para la extracción constante de datos, Google Spreadsheets para la creación de bases de datos internas y externas a los modelos Revit y por último Google Data Studio para la visualización y análisis de la información (Fig.1).



Fig. 1 - Workflow BIA (Building Information Analysis). Fuente: Parallel Digital (2019)

1. Estado del arte

La difusión de la proyectación BIM está creciendo exponencialmente, esta tendencia nos lleva a una interpretación del proceso siempre más madura.

Un proceso BIM posiciona en el centro del trabajo un modelo de datos. La visualización de los datos es determinante para una mayor calidad del trabajo. Basta pensar que una persona comprende la información visual 60.000 veces más velozmente respecto a la misma información usada como texto. Por lo tanto, la productividad aumenta si se utiliza información gráfica.

Por este motivo se ha procedido con una investigación sobre el análisis de la información y su visualización de los modelos BIM. El proceso de investigación ha llevado a desarrollar una metodología de creación de sistemas de modelos, métodos, procesos y herramientas que hacen posible la colección regular y organizada del patrimonio de datos de proyecto.

Las tecnologías en la nube, a su vez, han simplificado el intercambio de datos, ya que hacen visible y utilizable toda la información necesaria en tiempo real.

Los modelos de un proyecto se traspasan a diferentes bases de datos dentro de hojas de cálculo. Los datos extraídos se gestionan y manipulan en función de las exigencias de cada proyecto.

La información a gestionar es numerosa y puede ser utilizada en todas las fases de proyectación. Como en cada proceso BIM, en primer lugar se definen los objetivos; posteriormente se identifican las KPI (Key

performance Indicator, métricas que nos ayudan a identificar el rendimiento de una determinada acción o estrategia), utilizadas para el correcto control de la proyectación, y representación de los gráficos.

El análisis de datos del modelo BIM se puede realizar en cualquier fase, a continuación se enumeran algunas posibles soluciones:

- Anteproyecto
 - Estudio de las áreas
 - Cash flow (Flujo de caja)
- Proyecto básico
 - Cálculo de la superficie construida
 - Cálculo de la superficie útil
 - Relación iluminancia máxima mínima
 - Coordinación BIM
 - QA (Calidad de la información de proyecto y del modelado BIM)
- Proyecto de ejecución
 - Coordinación BIM
 - QA (Calidad de la información de proyecto y del modelado BIM)
 - Cronograma
 - Cash flow (Flujo de caja)
 - Seguridad y salud en obra
- Facility Management
 - Datos en general

En cada fase y cada proyecto es necesario desarrollar plantillas para la gestión de datos con el fin de alcanzar los objetivos de manera fluida.

2. Solución propuesta

Para realizar el análisis de los modelos se ha estudiado un método que, a través de la preparación de plantillas configuradas a priori, permite obtener en tiempo real la visualización de paneles de control dinámicos. Se ha estructurado un flujo de trabajo que utiliza los siguientes instrumentos:

1. Revit (Para el modelado e inserción de datos)
2. Dynamo (Para la exportación de datos)
3. Google Drive (Almacenamiento y entorno compartido)
4. Google Spreadsheets (Creación de bases de datos)
5. Google Data Studio (Creación de bases de datos compartidas)

El método de exportación de la información y de gestión de las bases de datos es siempre el mismo para cada fase de trabajo.

Es muy importante que se mantenga una correcta coordinación desde el punto de vista de la inserción de los datos y del uso de plantillas de exportación. Todo lo que se inserta en los modelos 3D será visible en la base de datos, y por lo tanto influirá en los gráficos.

Para la creación de las bases de datos se ha decidido utilizar Google Spreadsheet, aplicación de Google Drive que permite una elevada flexibilidad en las actividades aunque es limitada respecto al número de celdas. El funcionamiento en la nube de Google Spreadsheets permite acceder a la base de datos en cualquier momento y en cualquier lugar, lo que simplifica la posibilidad de conexión entre diferentes Hojas de Cálculo.

El primer paso a realizar es el de entender cuáles serán los datos o información que se visualizarán en los gráficos. La elección de los KPI es por lo tanto el punto fundamental del proceso, ya que vienen determinados los datos que se pretenden extraer de los modelos, los datos que los proyectistas deben gestionar e interpretar.

Una vez realizado el modelo BIM se procede al enlace entre modelos de trabajo y las Hojas de Cálculo de Google Spreadsheets, proceso gestionado mediante Dynamo for Revit. El Script de Dynamo se configura en tres grupos principales:

1. Selección de los elementos (Fig.2);
2. Conexión a Google Drive y selección de la Hoja de Spreadsheet donde almacenar los datos (Fig.3);
3. Exportación y escritura de los datos en las hojas seleccionadas (Fig.4).

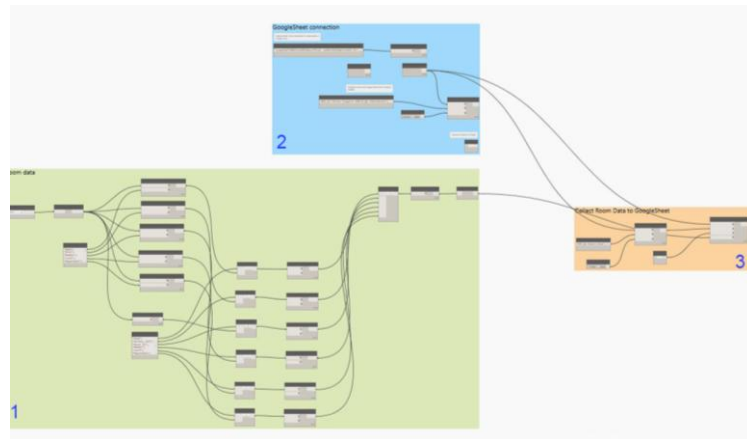


Fig. 2 - Esquema de procedimiento Dynamo. Fuente: Parallel Digital (2019)

La conexión entre con servicios de Google mediante Dynamo es posible a través del paquete Raindrops. Este paquete abre un canal de comunicación con los servicios de Google, que utilizando algunos nudos específicos autoriza y accede a la cuenta de Google Drive del usuario.

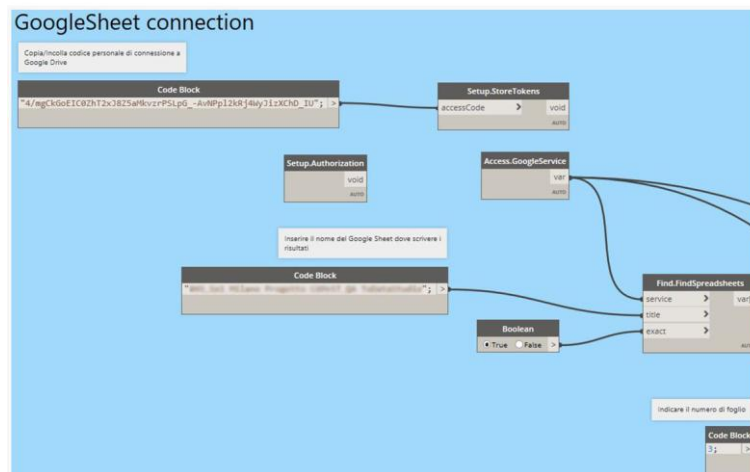


Fig. 3 - Connexion Dynamo - Google Spreadsheet. Fuente:Parallel Digital (2019)

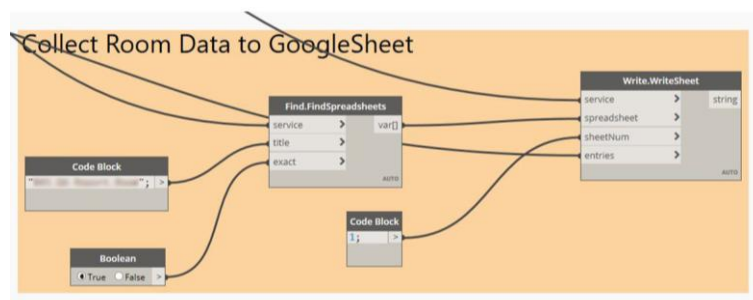


Fig. 4 - Exportación Room Data - Google Spreadsheet. Fuente: Parallel Digital (2019)

Una vez exportados los datos en las Hojas de Cálculo en Spreadsheet, es posible configurar una base de datos general, dicha base de datos se enlaza directamente con Google Data Studio para su visualización en forma de gráficos.

Han sido utilizadas dos funciones fundamentales al interno de Google Spreadsheets para la creación de las bases de datos:

$$= Importrange(spreadsheet_{key}, range_{string})(1)$$

$$= Query(A; B)(2)$$

(1): Importa un intervalo de celdas de una Hoja de Cálculo a otra

(2): Realiza una pregunta sobre unos valores específicos y realiza una base de datos única.

El uso de estas dos funciones permite el enlace de diferentes Hojas de Cálculo y la creación de una única base de datos que se puede asociar a Google Data Studio.

3. Ejemplo de aplicación del método

En nuestro caso ilustraremos el proceso simplificado sobre la gestión de las habitaciones de un proyecto en curso en el cual, cada vez que se activa una exportación de datos de un modelo, nuestra base de datos se sobrescribe. Este método se recomienda en casos donde no es necesario mantener un historial de datos. La intención es aquella de crear un Panel de Control interactivo sobre el estado de las áreas de un modelo, filtrable en base a los parámetros necesarios.

A través de Dynamo se seleccionan todas las habitaciones del modelo en cuestión (Fig.5). Las KPI o parámetros necesarios para el análisis de los datos son las siguientes:

- Habitaciones
- Áreas
- Revit ID
- Número de habitación
- Nivel
- Departamento

La exportación de estos parámetros se convertirá en nuestra base de datos que se enlazará a Google Data studio.

	A	B	C	D	E	F
1	Room	Surface (m²)	Revit ID	Number	Level	Department
2	Hall	97.416925	1663066	3	0 - Piano terra	Spazi Comuni
3	Sala polifunzionale	66.2089	1663071	1	0 - Piano terra	CAM
4	Sala polifunzionale	81.53312	1663074	2	0 - Piano terra	CAM
5	Sala riunioni	31.608	1663077	27	0 - Piano terra	Servizi territoriali
6	Sala riunioni	31.6194	1663083	19	0 - Piano terra	Servizi territoriali
7	Locale tecnico	13.68675	1663338	16	0 - Piano terra	Spazi Comuni
8	Bar	66.6164	1663341	4	0 - Piano terra	Spazi Comuni
9	Ripostiglio	5.9871	1663344	5	0 - Piano terra	Spazi Comuni
10	Deposito	8.4609	1663347	6	0 - Piano terra	Spazi Comuni
11	Uffici Colloqui	10.978667	1663391	23	0 - Piano terra	Servizi territoriali
12	Uffici Colloqui	10.841867	1663394	29	0 - Piano terra	Servizi territoriali
13	Distributivo	42.221	1663400	17	0 - Piano terra	Servizi territoriali
14	Distributivo	26.487697	1663403	7	0 - Piano terra	Spazi Comuni
15	Uffici custodi	11.799046	1663669	20	0 - Piano terra	Servizi territoriali
16	Sala polifunzionale	66.8238	1663697	31	0 - Piano terra	CAM
17	Spazi comuni aperti	646.719999	1663922	36	0 - Piano terra	Spazi comuni aperti
18	Patio	64	1663936	30	0 - Piano terra	Servizi territoriali spazio aperto
19	Uffici	30.5375	1704296	18	0 - Piano terra	Servizi territoriali
20	Deposito	2.799	1722986	12	0 - Piano terra	Spazi Comuni
21	Bagno disabili	3.492	1723039	8	0 - Piano terra	Spazi Comuni
22	Locale tecnico	2.529	1728191	13	0 - Piano terra	Spazi Comuni
23	Antibagno	3.834	1728364	32	0 - Piano terra	CAM
24	Bagno disabili	3.69	1728367	33	0 - Piano terra	CAM
25	Bagni uomo	7.47495	1728370	14	0 - Piano terra	Servizi territoriali
26	Bagni donna	7.76475	1728373	15	0 - Piano terra	Servizi territoriali
27	Ripostiglio	2.90625	1728376	11	0 - Piano terra	Spazi Comuni
28	Bagni donna	4.80695	1728379	10	0 - Piano terra	Spazi Comuni
29	Bagni uomo	4.761075	1728382	9	0 - Piano terra	Spazi Comuni
30	Uffici Colloqui	11.694167	1728476	28	0 - Piano terra	Servizi territoriali
31	Uffici Colloqui	10.978667	1728479	22	0 - Piano terra	Servizi territoriali
32	Uffici Colloqui	10.978667	1728482	21	0 - Piano terra	Servizi territoriali
33	Uffici Colloqui	10.978667	1728485	24	0 - Piano terra	Servizi territoriali
34	Uffici Colloqui	10.978667	1728488	25	0 - Piano terra	Servizi territoriali
35	Uffici Colloqui	13.040733	1728491	26	0 - Piano terra	Servizi territoriali
36	Locale tecnico	9.4419	1904093	14	0 - Piano terra	CAM

Fig. 5 - Base de datos de habitaciones. Fuente: Parallel Digital (2019)



Una vez conectada las bases de datos al informe de Data Studio, será posible repetir la operación cada vez que sea necesario tener los gráficos actualizados (Fig.6).

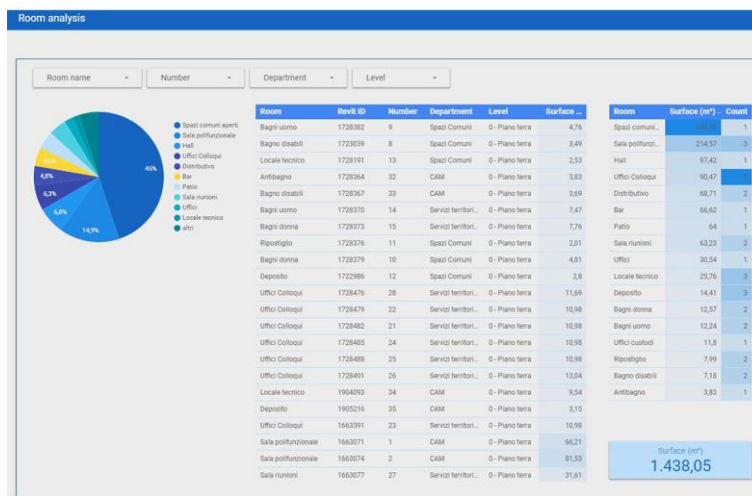


Fig. 6 - Análisis habitaciones. Fuente: Parallel Digital (2019)

4. Resultados conseguidos

La metodología propuesta permite mejorar la calidad de nuestro trabajo, nos facilita la verificación de la correcta modelación. Además permite presentar a los clientes el estado de evolución del proyecto con el fin de hacerles comprender mejor el trabajo realizado. Los informes interactivos se convierten en una herramienta de proyectación, ayudando en las decisiones de proyecto o indicando posibles incoherencias.

Como ya se ha indicado anteriormente, el método BIA se puede aplicar en cualquier fase de proyecto, y para diferentes objetivos.

Una de las aplicaciones dónde hemos analizado la información de los modelos es en el control de calidad de un proyecto, creando informes dinámicos en los que el cliente puede ver el progreso del modelo.

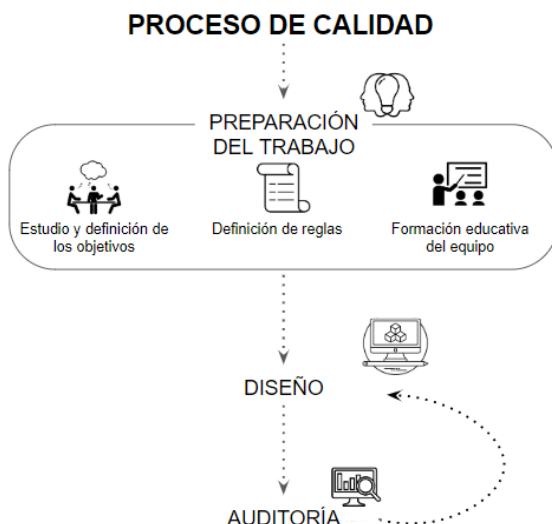


Fig. 7 – Flujo de trabajo proceso de calidad. Fuente: Parallel Digital (2019)

Nuestro caso de estudio es un proyecto situado en Milán, el objetivo del proyecto es el de integrarse en un master plan existente. El proyecto consta de dos volúmenes que cubrirán las funciones de centros polifuncionales y oficinas para Servicios Sociales.

Durante la evolución del proyecto hemos llevado a cabo un proceso de control y coordinación de calidad de los modelos Revit.

Siguiendo el flujo de trabajo indicado a continuación (Fig.7), una vez a la semana se realizaban informes dinámicos que permitían corregir los errores y mejorar la calidad de los modelos, mostrando al cliente la evolución del proyecto con total transparencia.

Siguiendo el flujo de trabajo indicado con anterioridad usando Revit, Dynamo, Google Spreadsheet, Google Data Studio.

En una primera fase de estudio, se han determinado los parámetros y el método de modelación necesarios para el cumplimiento de los objetivos preestablecidos.

Una vez alcanzado un volumen de modelación avanzado (50% del total del proyecto), procedemos a la primera exportación de datos del modelo usando Dynamo, los parámetros necesarios para la exportación en este caso son:

- Location (Para la correcta ubicación del proyecto en el mapa)
- Project Base Point (Para comprobar la correcta ubicación del proyecto respecto al punto de referencia y la coordinación con el resto de disciplinas)
- Project information: Todos los parámetros de sistema que especifiquen la información principal del proyecto (nombre del proyecto, código, dirección, nombre del cliente,...)
- Views: Número de vistas existentes en el modelo, nos indica de una manera aproximada el volumen de trabajo o si se modela de una manera ordenada.
- Model groups: Número de grupos existentes en el modelo
- Scope boxes: Nos indica el número de cajas de referencia en el modelo
- Not bounding rooms: Nos indica el número de habitaciones no cerradas en el modelo, si existe al menos una, debe ser eliminada.
- Family size < o > 1mb: nos indica el número de familias que superan 1 mb, en el caso de existir, se aconseja buscar la manera de reducir el peso de la familia en la medida de lo posible.
- Not named reference planes: Indica el número de planos de referencia sin nombrar, los que no tienen nombres serán borrados.
- Warnings: Indica el número de alertas del modelo y su evolución en el tiempo, el objetivo es el de reducirlos lo máximo posible.
- Linked cad and imported cad: Indica el número de documentos CAD enlazados o importados, los documentos enlazados pueden permanecer mientras sean necesarios, los documentos importados tienen que ser eliminados.
- Room: Todos los parámetros de sistema que nos indican la información principal de las habitaciones, permitiendo al proyectista y al cliente ver la evolución del proyecto.

Los datos se exportan directamente en la Hoja de Cálculo de Google Spreadsheet que está enlazada con un panel de control dinámico de Google Data Studio, obteniendo así un informe semanal interactivo (Fig. 8 y Fig.9).

En el caso específico de este proyecto, hemos incrustado en el documento del informe el modelo 3D mediante Autodesk A360, de esta manera el cliente podía ver la evolución también desde un punto de vista volumétrico.

Los resultados conseguidos han sido:

- Un mayor control del proceso por parte de todos los miembros del equipo, siendo conscientes en todo momento de la evolución y de las consecuencias de cada acción.
- Un modo gráfico para comunicar con el cliente, haciéndole entender la importancia y las ventajas de trabajar en un proceso BIM.

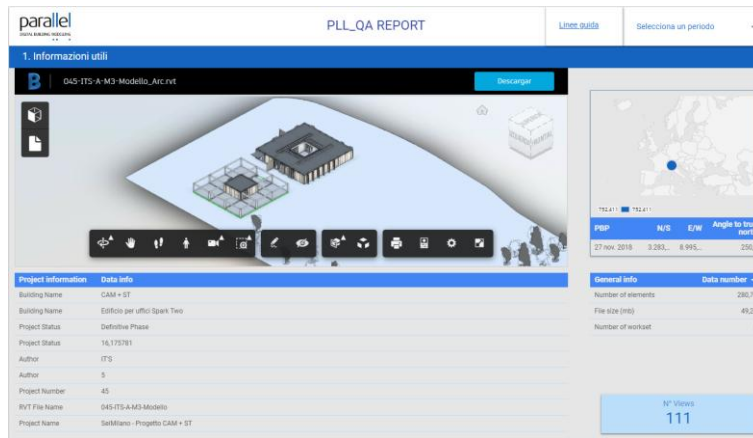


Fig. 8 – Informe Calidad. Fuente: Parallel Digital (2019)



Fig. 9– Informe Calidad. Fuente: Parallel Digital (2019)

5. Conclusiones

El usuario BIM, a lo largo de su vida profesional lleva a cabo una evolución que le lleva a la mejor comprensión de las herramientas que tiene a disposición. Herramientas que hemos tenido siempre a mano pero no hemos sabido comprender su potencial.

Esto nos lleva a pensar que no es una actualización de la metodología BIM, es un crecimiento intelectual del usuario que permite un uso más completo de la metodología, alcanzando así objetivos que facilitan la labor de cada Figura en mundo de la construcción.

En este caso, la visualización de los datos de un modelo a través de gráficos interactivos aporta mejoras en la calidad del trabajo. Se pueden enumerar una serie de beneficios:

- Rápida visualización y comprensión de un proyecto;
- Posibilidad de registrar en el tiempo el crecimiento de un modelo;
- Fiabilidad en la lectura de información;
- Capacidad de acceso a los datos en cualquier momento, desde cualquier dispositivo

6. Referencias

BRANCALE FEDERICA. Marketing Freaks. <<http://www.themarketingfreaks.com/2018/01/14-formule-excel-e-google-sheet-per-marketing-base-e-avanzato/>> [Consulta: 9 de Noviembre 2018]

DI GIUDA, G.M., MALTESE, S., RE CECCONI, F. y VILLA, V. (2017). “Regole di modellazione BIM, database e utilizzo” en Maltese, S., Re Cecconi, F. Il BIM per la gestione dei patrimoni immobiliari. Milano: Hoepli.

DI GIUDA, G.M., MALTESE, S., RE CECCONI, F. y VILLA, V. (2017). “Struttura dei modelli e libreria oggetti BIM” en Maltese, S., Paleari, F., Schievano, M. y Villa, V. Il BIM per la gestione dei patrimoni immobiliari. Milano: Hoepli

DIN2BIM. DIN2BIM. <<http://bim6d.es/en/portfolio/din2bim-2/>>

[Consulta: 3 de Noviembre 2018]

Del CAD al BIM: proceso de cambio de un estudio argentino y sus comitentes

Flah, Stella^a

^aArquitecta titular “Estudio Flah y Asociados”. Argentina. FADU. Universidad de Buenos Aires. stellalah@gmail.com. www.flahyasociados.com.ar

Abstract

The implementation of BIM in our Office was evolving in the last 15 years, reaching results that exceeded the expectations of the clients and our office. The purpose of this presentation is to tell the experience of our architecture office and its Methodology to achieve the unavoidable change to the BIM system. The resistance to change of Committees, Construction Companies and Consultancies, forced the office to find a communication language to implement the BIM system.

For this the office was organized internally with a team of 6 architects working collaboratively. For communication with the work environment in the office, it was kept up-to-date by incorporating the latest versions of all the programs and technologies supporting the BIM. The change of System is in constant evolution.

The benefits of the BIM system communicated to the work environment have changed the history of our office and its Committees.

Keywords: *Communication, Methodology, Argentina, Collaborative Work, Updating, Evolution, Engineering, Team, Client, Virtual Reality.*

Resumen

La Implementación del BIM en el Estudio fue evolucionando en los últimos 15 años, llegando a obtener resultados que superaron las expectativas de Comitentes y Estudio. El propósito de esta presentación es contar la experiencia del Estudio de arquitectura y su Metodología para lograr el insoslayable cambio al sistema BIM. La resistencia al cambio de Comitentes, Empresas Constructoras y Asesorías, obligó al estudio a encontrar un lenguaje de comunicación para implementar el sistema BIM.

Las nuevas maneras de comunicar el modelo BIM, con la capacidad de recorrerlo y modificarlo en tiempo real se impone con contundencia, despertando un profundo interés en los distintos asesores, inversores, desarrolladores, diseñadores y futuros usuarios. Para la comunicación con el entorno de trabajo el Estudio se mantuvo actualizado incorporando las últimas versiones de todos los programas y tecnologías de apoyo al BIM. El cambio de Sistema está en evolución constante en todas las áreas de trabajo.

Los beneficios del sistema BIM comunicados al entorno de trabajo han cambiado la historia del Estudio y sus Comitentes.

Palabras clave: *Comunicación, Metodología, Argentina, Trabajo Colaborativo, Actualización, Evolución, Ingenierías, Equipo, Comitente, Realidad Virtual.*

Introducción

Somos un Estudio dedicado a proyecto y dirección de obra desde 1970, con el agregado de desarrollos de proyectos y documentaciones ejecutivas en los últimos 6 años.

A mediados de los años 80 incorporamos el Cad, pero la gran evolución tecnológica comenzó a fines de los 90 cuando recibimos un encargo de relevar 4.000 edificios educativos en la provincia de Buenos Aires y la posterior ejecución de proyectos para 120 escuelas.

La escala de estos trabajos nos obligó a generar un sistema computarizado de relevamiento de datos y de comunicación (antecedente prehistórico de nuestro desarrollo BIM).

Siempre consideramos importantísimo la visualización 3D en nuestros proyectos, lo que nos llevó a utilizar distintos plugins y programas para visualizar Cad en 3D.

En 2006 el Revit se incorporó al Estudio, al principio como un modelador Cad que maravillosamente nos levantaba el 3D en tiempo real.

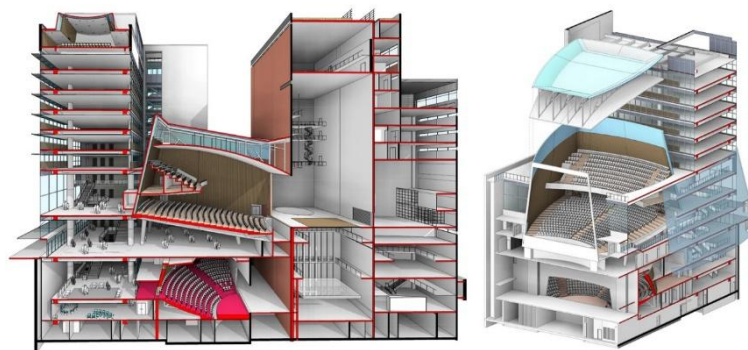


Fig. 1 Modelo BIM Teatro San Martín

Al profundizar en el programa y comprender las capacidades del modelo como base de datos y comunicador de los mismos, el cambio del Cad al BIM entró en un camino sin retorno que seguimos perfeccionando a diario.

1. Desarrollo del BIM

El trabajo del Estudio en la actualidad consiste en:

- Diseñar utilizando todas las herramientas informáticas (Revit + Cad + Navisworks + Photoshop + Enscape + Lumion + 3Dmax + Camtasia)
- Estudio energético (Revit)
- Modelar obras con sistema BIM (Revit + Enscape)
- Modelar las ingenierías que intervienen en la obras (Revit + Enscape)
- Modelar la estructura de las obras (Revit + Enscape)
- Coordinar ingenierías y modelo (Naviswork + Enscape)
- Documentar (Revit + Enscape)
- Comunicar los modelos BIM (Enscape + Realidad virtual inmersiva, Oculus)

Nuestro aporte consiste en el desarrollo de:

- Diseño conceptual
- Diseño ejecutivo
- Planos Licitatorios
- Planos Ejecutivos
- Imágenes de venta

- Videos y 360° para todos los ítems anteriores

En la práctica diaria, lo licitatorio y lo ejecutivo comparten el mismo nivel de resolución.

La incorporación del BIM tiene en nuestro caso dos áreas diferenciadas:

- 1.1. El desarrollo interno del estudio
- 1.2. La comunicación con el exterior

1.1. El desarrollo interno del estudio

1.1.1. Cambios en los procesos de diseño y comunicación

El sistema BIM en nuestro proceso de diseño, documentación y control de obra lleva 12 años de constante evolución. Además del cambio en la optimización de la producción, los protocolos internos (BIM exige disciplina para manejar tanta información codificada), a diario desarrollamos nuevas lecturas del modelo actualizando e incorporando softwares para mejorar el proceso de diseño y la comunicación de los proyectos.

Desde las primeras obras el lenguaje del estudio se enriqueció, agregando a los tradicionales planos de replanteos ejecutivos imágenes 3D inteligentes.

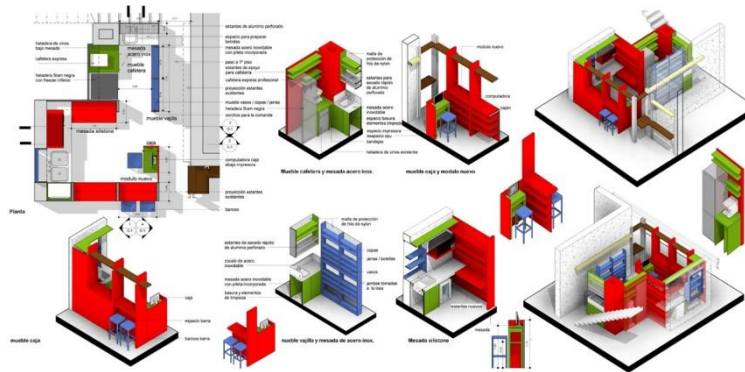


Fig. 2 Documentación modelo BIM – Cocina Bar – Restaurant

1.1.2. Aprendizaje en el cambio del Cad al BIM

Tuve varios años de formación BIM, hasta decidir cambiar la manera de trabajar en mi Estudio. En las primeras obras BIM la metodología de trabajo en obras de menor envergadura era la siguiente: Modelaba y documentaba en forma personal, no utilizaba Cad, toda la comunicación era a través planos PDF surgidos del modelo.

En estas obras comprendí:

- a) El significado del modelo como herramienta de diseño.
- b) La velocidad con que producen planos en todas las etapas de la obra.
- c) La facilidad para comunicar la arquitectura a los distintos actores.
- d) La rapidez y certeza en la obtención de cómputos y presupuestos.

En las primeras obras BIM la metodología de trabajo en obras de mayor envergadura era la siguiente:

El Comitente principal exigía en sus pliegos el uso del Cad, con estrictos protocolos de presentación. Usar Revit no estaba aceptado. Cad era condición de contrato.

Modelaba en Revit, extraía del modelo plantas, cortes y vistas en Cad, el equipo del Estudio completaba la documentación en Cad usando de base lo que surgía del modelo, con la consiguiente pérdida de conexión entre modelo y documentación.

Para lograr introducir BIM a los Comitentes, incorporaba imágenes 3D en las presentaciones finales.

- b) Eliminación del error humano en la gestión de cambios.
- c) Interacción de todos los actores del proceso de la construcción.

Esto fue produciendo un vuelco superador en la productividad y en la calidad de la construcción de las obras.

1.1.4. Colaboración con las diversas disciplinas

Todas las disciplinas en nuestro medio trabajan en Cad, para que cada asesor proyecte su instalación tenemos como norma pasar las actualizaciones del modelo a Cad semanalmente.

No todos los asesores utilizan las últimas versiones de plantas, cortes y vistas enviadas por el Estudio, con los problemas que acarrea las divergencias que se producen al trabajar con versiones anteriores.

Hemos intentado tener un lugar en la nube donde subimos la última versión Cad del modelo, pero tampoco funciona ágilmente.

En el momento en que recibimos la entrega de las ingenierías en Cad, las mismas se modelan en el Estudio.

Las consultas con las distintas ingenierías son constantes durante esta etapa, la respuesta de las asesorías es muy buena, cuando ven sus instalaciones en 3D con la detección de interferencias marcadas en el modelo.

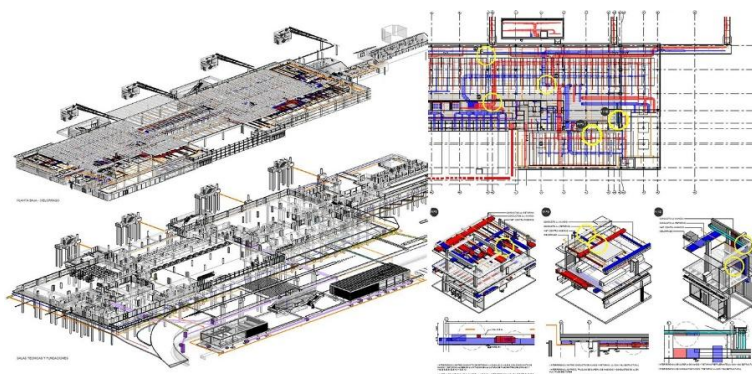


Fig.5 Documentación modelo BIM –Aeropuerto Internacional de Jujuy – Argentina

Intentamos que utilicen Navisworks para tener informes de interferencias y visualizar la instalación, pero los resultados no son muy favorables.

Con el Comitente estos informes terminan siendo laminas con los problemas a resolver resaltados.

1.1.5. Detalles constructivos

Los detalles constructivos surgen del modelo, se toman collautes del sector a mostrar, sea un área o un escantillón, se organizan las laminas con las escalas correspondientes y se completan los detalles no modelados en 2D, siempre usando herramientas de Revit.

En contadas ocasiones, cuando hay un detalle muy específico de un asesor preparamos legends con detalles traídos del Cad de las ingenierías.

1.1.6. Mantenimiento

Actualmente algunas empresas de nuestro medio solicitan el “as built” con la idea de utilizarlo para la puesta en régimen y mantenimiento de la obra.

En las obras propias del Estudio que se encuentran en etapa de hormigón, vamos a tener el modelo “as built” pero aun no puedo contar como terminara la experiencia.

1.1.7. Trabajo colaborativo en el diseño

Un arquitecto coordinador - modelador y varios arquitectos modeladores de Revit trabajando sobre el modelo (usando centrales, linkeados y worksets) compartiendo organizadamente sus capacidades de diseño, ha dado como resultado un equipo capaz de desarrollar un modelo enriquecido por los aportes individuales y las decisiones colectivas consensuadas en las distintas etapas del proceso de modelado. Se obtiene así un resultado final superador, que va mejorando en cada obra.

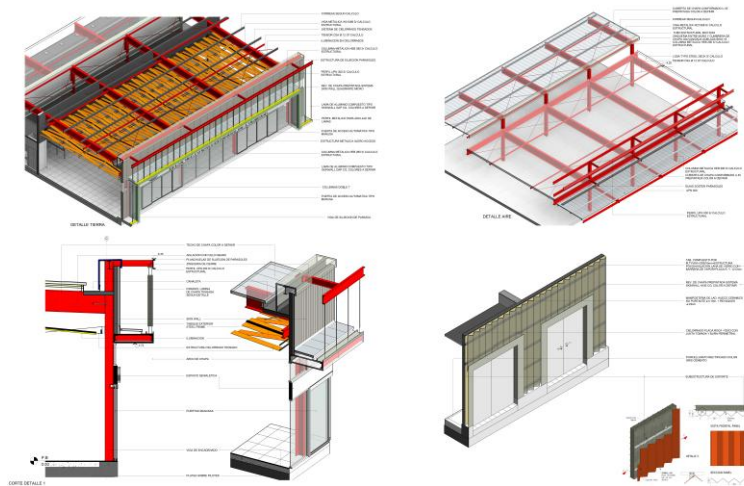


Fig.6 Documentación modelo BIM –Aeropuerto Internacional de Formosa – Argentina

1.2. La comunicación con el exterior

En nuestro país el BIM recién está tomando una mínima presencia como alternativa de diseño y construcción.

Actualmente son pocas Empresas Constructoras y Comitentes que prestan cierta atención al sistema BIM, esperando obtener un ahorro durante la construcción y en el posterior mantenimiento de los edificios.

Los primeros años fueron muy difíciles, el reinado del Cad (que sigue con fuerte presencia en nuestro medio) nos limitó en todos los aspectos.



Fig. 7 Documentación BIM – Aeropuerto Internacional de San Juan

Nos obligó a trabajar de manera mixta, el modelo comandaba al Cad hasta sacar los .dwg de plantas vistas y cortes. A partir de ese momento, la documentación se desconectaba del modelo con los problemas que esto generaba.

Lentamente, con mucho cuidado, incorporábamos a la documentación, imágenes surgidas del modelo. Esto irritaba a algunos y llamaba la atención de otros (ver el modelo 3D de un baño, un encuentro de columnas y vigas complejo o una escalera en un plano de detalle de sector no estaba dentro del protocolo).

En cuanto podíamos, mostrábamos el modelo en reuniones de cualquier tema, compartiendo sus capacidades como fuente de información (base de datos) para agilizar la comunicación, eliminar el error humano, gestionar cambios fácilmente, etc.

En la actualidad nuestra estrategia evolucionó, transmitimos Capacidad, Pasión, Integración y Empatía, a partir de un concepto utilizado tanto internamente (Equipo de trabajo) como hacia el exterior (El Comitente y las asesorías) que es la Seducción.

1.2.1. La Seducción

Es el acto que consiste en inducir y persuadir a alguien con el fin de modificar su opinión o hacerle adoptar un determinado comportamiento o actitud, la clave es la atracción. (Wikipedia)

Tomado este concepto no de un modo pueril sino poniendo a disposición, compartiendo y mostrando todas las ventajas tecnológicas que ofrece el mundo BIM.

Seducir con el BIM exige un esfuerzo adicional, hay que trabajar mucho más de lo necesario que para cumplir con un BEP, pero el esfuerzo de los últimos años y los resultados obtenidos, está cambiando la lectura de nuestros Comitentes, algunos rápidamente otros más lentamente.

1.2.2. ¿Qué es el trabajo adicional de seducción?

Básicamente consiste en que en cada reunión de coordinación el Equipo se presenta con todos los elementos disponibles, computadoras, realidad virtual inmersiva con oculus, planos impresos, imágenes de las partes conflictivas, recorridos para que puedan visualizar el modelo, etc. Todo con el objetivo de seducir para que el modelo sea utilizado para la definición de las distintas partes de la obra.



Fig. 8 Documentación BIM – Aeropuerto Internacional de Córdoba

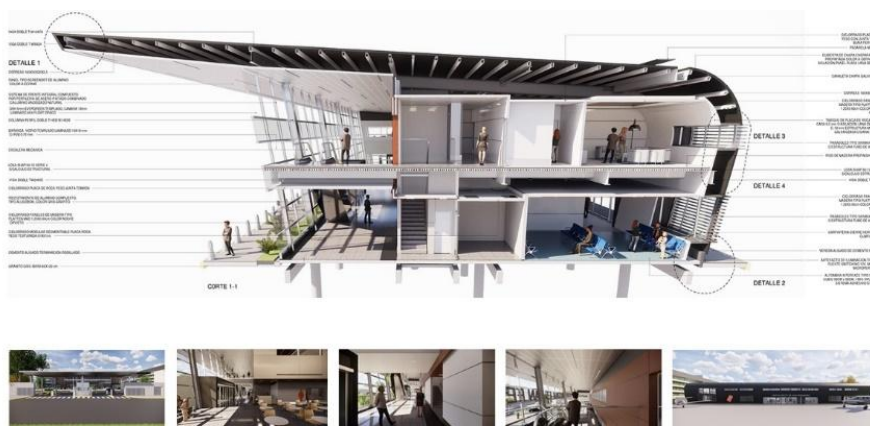


Fig. 9 Documentación BIM – Aeropuerto Internacional de San Fernando

También modelamos las ingenierías que invariablemente son entregadas en cad por parte de las asesorías, y preparamos imágenes y recorridos de Navisworks y Revit para analizar las interferencias.

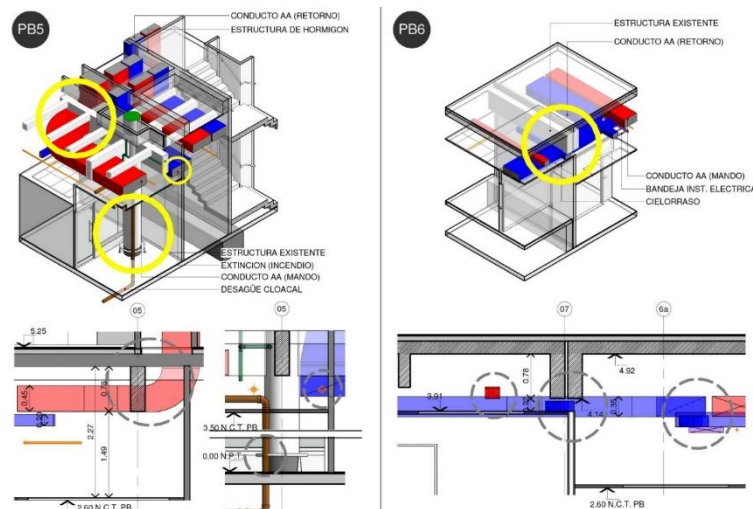


Fig. 10 Detección interferencias de Ingenierías – Aeropuerto Internacional de Jujuy

En un principio resultaba difícil captar la atención de la información preparada. Actualmente utilizando todos los recursos tecnológicos (realidad virtual inmersiva y recorridos en tiempo real) logramos reproducir las imágenes en una pantalla y usamos el modelo como referente único para las discusiones de diseño de arquitectura y las de coordinación con las ingenierías.

Pese a todo lo expresado, no todos nuestros comitentes aceptan el BIM como la respuesta a la construcción moderna.

Nuestra última incorporación está logrando excelentes resultados con asesores y Comitentes. Utilizamos un renderizador en tiempo real (Enscape) que trabaja sobre Revit y realidad virtual inmersiva con Oculus.

Esto provocó una reacción ponderable en nuestros clientes. Nuestros asesores, llamativamente reaccionaron más al recorrido inmersivo con oculus que a la detección de interferencias con Navisworks. Por lo que ahora pueden detectar y observar las interferencias en videos de recorridos, imágenes renderizadas y coordinar interferencias en tiempo real.



Fig. 11 Arquitectura e Ingenierías – Aeropuerto Internacional de Córdoba

2. Metodología

Lo principal es la reunión general de modeladores, en donde se analiza el proyecto para subdividirlo en áreas de diseño lógicas.

En este momento se decide cuantos linkeados va a tener el modelo final, que worksets va a tener cada archivo linkeado y quienes van a modelar las distintas partes de los linkeados, usando los worksets acordados y asignados.

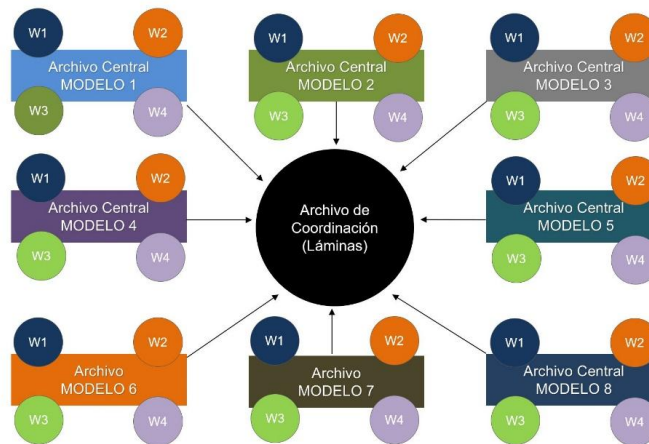


Fig. 12 Esquema de Coordinación de archivos

Todos los modelos componentes del archivo final son linkeados al modelo de coordinación del cual surgirán las láminas de documentación, imágenes, recorridos, videos, recorridos 360°, etc. Lo que asegura la coordinación del modelo en todas sus instancias.

2.1. Descripción

Varios modelos centrales de partes del proyecto + Modelos simples alojados en el server:

- Modelo de coordinación → Archivos Linkeados.
- Imágenes
- Láminas
- Documentación
- Videos
- Recorridos 360°

A este modelo de coordinación también se linkean las ingenierías, pasando a ser el modelo federado.

El modelo federado concentra todos los modelos parciales y las ingenierías, desde este archivo se verifican los avances e interferencias.

Además es en éste archivo donde se genera toda la documentación del proyecto, es decir, láminas de plantas, vistas, cortes, planillas de cómputos, detalles constructivos, etc.

También se generan perspectivas, axonometrías o videos de recorridos que permiten tomar decisiones de proyecto o presentaciones del mismo.

2.1.1. Linkeados

Criterios para definición de modelos linkeados:

- Tamaño de los archivos / no más de 100 megas
- Sectores del modelo en distintos niveles
- Varios edificios que componen el modelo
- Varias disciplinas (ingenierías)

El modelo de coordinación está compuesto por archivos linkeados que tienen ordenadas sus partes componentes en worksets consensuados en equipo.

Ejemplo de modelos linkeados en un archivo de coordinación donde se visualiza la totalidad del proyecto:

2.1.2. Worksets o Subproyectos

Un ejemplo:



Fig. 13 Organización de archivos para linkear

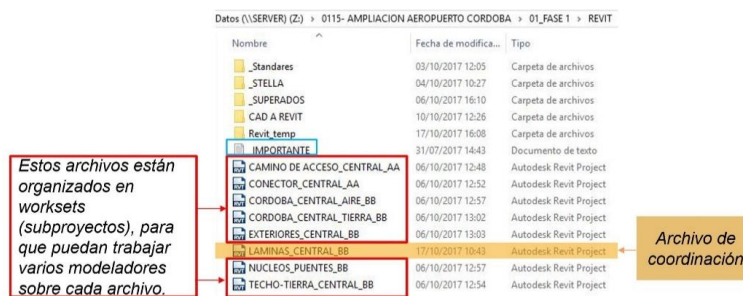


Fig. 14 Worksets en el modelo

3. Conclusiones

En nuestro medio el BIM no está generalizado, cualquier herramienta que logre captar la atención del ámbito de la construcción, seduciéndolo con el objetivo de interesarlo en el nuevo sistema de construcción BIM, es sobrevalorada por mi Estudio.

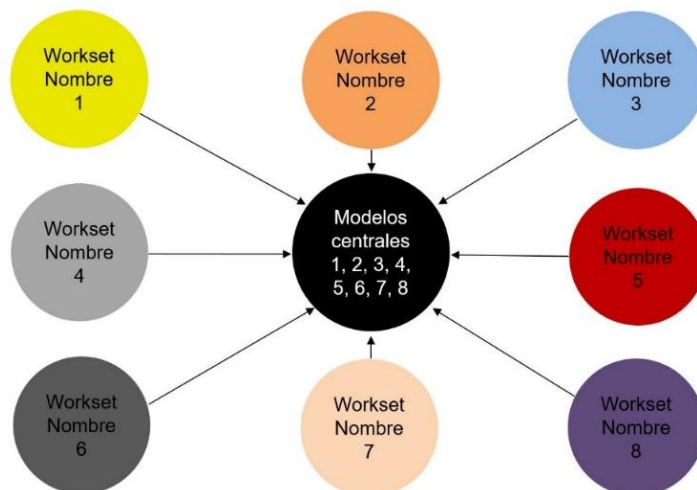


Fig. 15 Cuadro de Worksets en el modelo

La incorporación de las últimas tecnologías acerca el BIM a todos los actores de un proyecto de construcción.

La renderización del modelo, con la capacidad de recorrerlo y modificarlo en tiempo real llega a los distintos asesores, inversores, desarrolladores, diseñadores y futuros usuarios de la obra con contundencia cuando

el medio no está tecnificado. Pudiendo gracias a esta tecnología focalizar las visualizaciones en las necesidades de cada protagonista del proyecto, con la consiguiente simplificación de la comunicación y comprensión de un modelo y sus alcances.

Cuando el proyecto es plenamente comunicado, los distintos actores de la obra se comprometen positivamente con el resultado final, usando de referente al modelo BIM.

Las simulaciones permiten prever el comportamiento energético del futuro edificio optimizando su uso futuro (todas las resistencias de nuestro medio son económicas, si es más caro el DVH va vidrio simple y que el futuro comprador resuelva el tema).

Se avanza rápidamente con el trabajo colaborativo en la construcción hacia una participación superadora gracias al trabajo en equipo.

4. Referencias

Bimforum Argentina

Fundacion laboral de la construcción

Lucrecia Real (publicaciones varias)

Luciano Gorosito (publicaciones varias)

Building Smart Spanish Chapter.

Trabajo colaborativo (estudio Flah en BIM FADU)

Phil Read (Enscape)

Kaj Burival (Enscape)

EUBIM 2019

Congreso Internacional BIM 8º Encuentro de Usuarios BIM
BIM INTERNATIONAL CONFERENCE



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

