

# EUBIM 2020

Congreso Internacional BIM **9º** Encuentro de Usuarios BIM  
**BIM INTERNATIONAL CONFERENCE**

## **LIBRO DE ACTAS** **Masters of BIM**

Organizadores:

Entidades Participantes:



[www.EUBIM.com](http://www.EUBIM.com)



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA

**GURV**



---

**EUBIM 2020**

**Congreso internacional BIM  
9º Encuentro de usuarios BIM**

---

Valencia, 21, 22 y 23 de mayo de 2020

*Congresos UPV*

*EUBIM 2020. Congreso Internacional BIM / 9º 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, 2020  
[www.lalibreria.upv.es](http://www.lalibreria.upv.es) / Ref.: 6618\_01\_01\_01

ISBN: 978-84-9048-892-8



EUBIM 2020. Congreso Internacional BIM / 9º 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/EUBIM2020>

## PRESENTACIÓN

### EUBIM 2020: MASTERS OF BIM

Buscando la inspiración para este artículo editorial que todos los años introduce el Libro de Actas de nuestro congreso, el Comité Organizador de EUBIM hizo una lluvia de ideas (online, por supuesto) sobre los temas que debería recoger. Para nosotros es importante porque es el único espacio de todo el trabajo organizativo que realizamos donde expresamos nuestra opinión y análisis coral, de conjunto, consensuado.

Una premisa quedó clara desde el inicio: no íbamos a hablar del virus SARS-CoV-2 ni de la Covid 19, que nos ha obligado a suspender el congreso de este 2020.

La primera idea fue buscar nuestra inspiración en las fotos de los eventos anteriores. Craso y maravilloso error al mismo tiempo. Volver a verlas fue toparnos ante la evidencia de lo felices que éramos sin ser conscientes de ello. Echar la vista atrás nos ha permitido reconocernos con tantos amigos a lo largo de estos años, con tanta buena gente entre asistentes, patrocinadores, autores de comunicaciones, comité científico, etc. que genera aún más tristeza saber que no vamos a tener la oportunidad de volver a encontrarnos con ellas y ellos en esta edición. Pero también ha servido para reafirmar nuestro compromiso y voluntad en seguir trabajando para mantener el nivel de nuestro congreso donde lo han situado tantos esfuerzos y grandes aportaciones de todas las personas que conformamos el universo EUBIMmers.

Esa multitud de recuerdos en forma de fotografías, vídeos, historias, anécdotas, etc. nos llevaron al siguiente punto en nuestra lluvia de ideas: preguntarnos cómo iba a ser EUBIM 2021. A qué nuevos desafíos nos íbamos a tener que enfrentar en la “nueva normalidad” o como queramos denominarla. Qué íbamos a poder organizar de lo que veníamos haciendo hasta ahora y qué deberíamos replantearnos. Es evidente que esta situación en la que nos encontramos marca un antes y después. El progresivo retorno, con todo el grado de incertidumbre que ahora mismo acumulamos, a nuestras vidas anteriores, sabemos que no va a ser igual. Y, además, esta situación coincidirá con nuestro 10º aniversario. Así que nos hemos puesto ya a pensar en EUBIM 2021 y cómo queremos que sea. Todos los años nos pasa lo mismo. A una o varias semanas vista del congreso, ya abrimos la carpeta del siguiente año donde volcamos toda la experiencia y aprendizaje del evento que estamos a punto de sacar a la luz. Nos gusta, disfrutamos con lo que hacemos y con hacerlo juntos y eso se nos nota.

Y ahí, en ese preciso punto y en ese precioso instante, la inteligencia colectiva se sincroniza y empieza a producir una maravillosa sinfonía interpretada por solistas que deciden realizar una jam session conjunta. Y empieza a fluir la reflexión, el conocimiento del medio, el dominio de la materia, la experiencia real y el virtuosismo de cada miembro (quien se encarga de escribir esto en nombre de todo el equipo os puede asegurar que suena a música celestial y es un auténtico deleite para la inteligencia y los sentidos ver cómo se produce la magia, cómo se empieza a conformar la idea, a construirla con cada aportación, a perfilarla y definirla... es un in crescendo sublime y un auténtico privilegio poder ser testigo y partícipe).

La crisis financiera del 2008 nos borró a todos y a todo. Poco a poco hemos ido recuperándonos como sector, no sin sufrimiento, esfuerzo y pérdidas irreparables. Sin embargo, pareciera que el resurgir de la construcción en estos últimos años estaba reproduciendo patrones similares a los anteriores a la crisis. No tanto en la frenética carrera de inversiones inmobiliarias (afortunadamente), pero sí en volver a reproducir procedimientos de trabajo, de contratación, de filosofía empresarial, de trato, seguir repitiendo una y otra vez el modelo tradicional de funcionamiento, ese que todos los sesudos y exhaustivos estudios realizados demuestran que falla, que reproduce errores sistémicos proyecto tras proyecto. Es como si nada hubiese

pasado, como si recuperarse de aquel descalabro solo haya sido un paréntesis temporal para volver a replicar el mismo modelo de negocio.

Y en esas estábamos cuando, de repente, llegó un virus (¡ay, no queríamos hablar de él, pero no hay más remedio!) que todo lo paralizó. Y nos tuvimos que recluir en nuestras casas e intentar seguir trabajando y produciendo en la medida de lo posible. Y las débiles y obsoletas estructuras organizacionales del trabajo presencial y poco cooperativo empezaron a hacer aguas. Y, de esta manera, se evidenció que nuestro sector (la parte técnica, la que nosotros hacemos posible) no se había preocupado de la gestión de la información ni había políticas empresariales en ese sentido. La mayor fuente de riqueza del s.XXI nosotros la tenemos olvidada, descuidada, desatendida. Sin infraestructura ni estructura. Dispersa. A criterio individual de quien la maneja. Y, claro, así poco se podía hacer fuera del entorno de trabajo presencial. Esta ha sido una prueba de estrés que nuestro sector no ha superado. Se habrá parcheado, resuelto a duras penas y con muchos vacíos, pero en líneas generales, no estábamos preparados (como otros muchos sectores económicos) ni hemos podido reinventarnos y adaptarnos a las circunstancias (como sí han hecho otros muchos sectores).

Sin embargo, como en todos los apocalipsis, hay especies que sobreviven por su capacidad para la adaptación al nuevo medio. Especies que, seguramente sin saberlo, su *modus operandi* y filosofía de trabajo les estaba preparando para esta nueva realidad. Fundamentalmente porque esa filosofía de trabajo exige una estructuración de la información con la que trabajan bien organizada, compartida, colaborativa y alojada en espacios en la nube o en servidores a los que conectar en remoto desde cualquier ubicación. Los EUBIMmers, si restringimos el análisis al modelo organizacional del trabajo productivo, han superado esta prueba con nota. Trabajar con equipos humanos deslocalizados, por objetivos frente a la presencialidad, con la infraestructura necesaria para afrontar esta situación (insistimos, no porque se esperase sino porque es su forma de trabajo natural), de forma colaborativa, equitativa y solidaria. Apenas han notado el cambio en las condiciones de desarrollo de su actividad. Todo está donde tenía que estar, accesible, estructurado y listo para seguir donde se dejó la jornada anterior a la orden de confinamiento.

Esta situación ha forzado, como nada hasta ahora lo había hecho, el impulso a la digitalización de procesos. Se está desarrollando casi toda la actividad que es posible realizar online de este modo. Y creemos que muchos de los procesos que ahora se han implementado con urgencia y necesidad, han llegado para quedarse. Superada esta fase, se mejorarán y ampliarán, pero ya no van a desaparecer. De hecho, regresar a la situación anterior sería percibido por la sociedad como un retroceso. Especialmente en el ámbito de la administración pública y la atención a la ciudadanía.

Confiamos en que estos avances también tengan su repercusión en el sector de la construcción. Que las organizaciones, empresas, pequeños y grandes despachos de arquitectura e ingeniería, hayan aprendido la importancia de la información con la que trabajan en su día a día. Que preparen un buen plan de acción para actualizarse, modernizarse y poner en valor uno de los activos más importantes que tienen junto al de las personas que lo hacen posible. No aprender de esta situación y volver a reproducir el modelo tradicional una vez superada esta etapa, nos hará retroceder aún más si cabe como sector productivo. Llevamos años hablando, evangelizando y mostrando los beneficios que BIM puede aportar a la construcción. Y, a pesar de las tristes circunstancias actuales, resulta que este virus ha aportado una evidencia más a favor de nuestros argumentos.

El equipo de EUBIM seguiremos trabajando con la misma ilusión para favorecer, desde nuestra humilde posición, el avance y difusión de la metodología BIM y todo el cambio de paradigma que conlleva. Desde nuestras respectivas casas, online, o de forma presencial y retomando el contacto humano, que tanto echamos de menos, la sinfonía seguirá sonando porque nuestros instrumentos están afinados y nuestra cultura del trabajo nos había preparado, sin saberlo, para afrontar esta situación. Lo único para lo que no estábamos preparados era para enfrentarnos a la evidencia de que este año no íbamos a poder celebrar

nuestro encuentro. Ese fue un duro golpe. Pero el vínculo que se ha establecido entre nosotros es más fuerte que el aislamiento, la distancia y la desazón que nos pueda invadir a veces. Eso sin hablar de las múltiples muestras de apoyo, solidaridad, comprensión y estímulo que los EUBIMmers nos han hecho llegar. Desde los autores de comunicaciones que han querido mantener sus trabajos a pesar de no celebrarse el congreso, los inscritos que teníamos antes del estado de alarma y que no se dieron de baja ni cuando fue declarada, los patrocinadores que mantuvieron su compromiso por si contemplábamos la posibilidad de posponerlo en vez de anularlo, el Comité Científico que continuó haciendo su trabajo de revisión o todo el personal de la Universitat Politècnica de València que puso en marcha toda su capacidad de trabajo a nuestro servicio.

Queremos que las últimas líneas de nuestra editorial sean de sincero agradecimiento para todos ellos, para todas las personas que os unís a esta banda y hacéis posible que la melodía sea coral, compartida, multitudinaria y, sin embargo, afinada y a la vez, muy personal. Gracias. Sabéis que nos tenéis ya trabajando para el 2021, para nuestro 10º aniversario, para ese momento en que por fin podamos reunirnos y expresar a viva voz y en directo: Yo soy EUBIMmer.

Cuidaos mucho,

El comité organizador de EUBIM

## 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 M<sup>a</sup> Fran Bretones.

## COMITÉ CIENTÍFICO

- Jesús Alfaro González - Universidad de Castilla–La Mancha
- Alberto Cerdán Castillo - Consultor BIM
- Eloi Coloma Picó - Universitat Politècnica de Catalunya
- Gonçal Costa Jutglar - La Salle BES
- Jesús De Paz Sierra - Universidad de Cantabria
- Ernesto Faubel Cubells - Universitat Politècnica de València
- Ángel José Fernández Álvarez - Universidade da Coruña
- Begoña Fuentes Giner - Universitat Politècnica de València
- Jaume Gimeno Serrano - Universitat Politècnica de Catalunya
- Beatriz Inglés Gosálbez - Universidad Europea de Madrid
- Isabel Jordán Palomar - Consultora BIM
- Óscar Liébana Carrasco - Consultor BIM
- Norena Natalia Martín Dorta - Universidad de La Laguna
- Inmaculada Oliver Faubel - Universitat Politècnica de València
- Luis Pallarés Rubio - Universitat Politècnica de València
- Eugenio Pellicer Armiñana - Universitat Politècnica de València
- Juan Luis Pérez Ordóñez - Universidade da Coruña
- Miquel Rodríguez 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, 2018 y 2019), 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 SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE NORMATIVA PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN SOFTWARE DE MODELADO BIM  
García-Dópido, Inmaculada; Chorro-Domínguez, Francisco Javier; Marín-Miranda, María José; Martín-Castizo, Manuel.....Pág.15
- 1.2 A DIGITAL WORKFLOW FOR BUILDING ASSESSMENT AND RENOVATION  
Di Giuda, Giuseppe Martino; Seghezzi, Elena; Schievano, Marco; Paleari, Francesco.....Pág.23
- 1.3 HERRAMIENTA DE INTERCAMBIO DE DATOS ENTRE SOFTWARE DE MODELADO BIM Y SOFTWARE DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA  
Chorro-Domínguez, Francisco Javier; García-Dópido, Inmaculada; Marín-Miranda, María José; Martín-Castizo, Manuel.....Pág.32
- 1.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE SIMULACIONES ENERGÉTICAS REALIZADAS EN BIM CON ENERGYPLUS  
Bienvenido-Huertas, José David; Pérez-Ordóñez, Juan Luis; Seara-Paz, Sindy.....Pág.42
- 1.5 PROTOCOLO HBIM PARA LA RESTITUCIÓN HISTÓRICA DEL PATRIMONIO CULTURAL Y ARQUITECTÓNICO: RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DEL FORO ROMANO DE SAGUNTO  
Cos-Gayón\_López, Fernando; Linares\_Jáquez, Yira; Cordon\_Llácer, Joan.....Pág.50
- 1.6 SIMULACIÓN DE EDIFICIOS RESIDENCIALES: EL PROYECTO SPHERE H2020 820805 - QUÉ NOS PUEDE APORTAR EN LA MEJORA DEL DISEÑO Y LA EXPLOTACIÓN DEL EDIFICIO  
Vicente-Legazpi, Pablo; Loscos, Eduard .....Pág.59
- 1.7 MACHINE LEARNING PARA LA COLOCACIÓN DESATENDIDA DE OBJETOS EN MODELOS BIM  
Abellán-Alemán, José María; Núñez-Calzado, Pedro Enrique; Antúnez-Rodríguez, Manuel; Jiménez-de Lope, José María; Martínez-Gómez, David.....Pág.67
- 1.8 METODOLOGÍA HBIM PARA LA CARACTERIZACIÓN DE DIFERENTES INTERVENCIONES POR ÉPOCA EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO: APLICACIÓN EN EL TEATRO ROMANO DE SAGUNTO  
Cos-Gayón\_López, Fernando; Sfeir, Lucas; Cordon\_Llácer, Joan.....Pág.78
- 1.9 DATA CLASSIFICATION IN BUILDING DATA PROJECTS: AN INFORMATION-BASED APPROACH TO BIM PROJECTS IN FRANCE  
Gordo-Gregorio, Paula; Guéna, François .....Pág.86
- 1.10 AN INNOVATIVE DATA-BASED APPROACH FOR GRADUAL INTEGRATION OF BIM IN DESIGN TENDERING  
Di Giuda, Giuseppe Martino; Locatelli, Mirko; Pattini, Giulia y Pellegrini, Laura.....Pág.99

## 2. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

- 2.1 BIMBOT- (INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL DISEÑO CON BIM)  
Frías, César; Crespo, Beatriz; Alonso, Pablo; Peña, José María; Muelas, Santiago;  
Almeida, Lorena; Pérez, Álvaro; Cruz, Lorena; Molina, Borja; Fernández, Miguel; Sánchez, Érika;  
Cobos, Inmaculada; Fillat, Isabel.....Pág.106
- 2.2 LA REALIDAD VIRTUAL COMO DIMENSIÓN DEL BIM. APLICACIONES REALES AL PROYECTO  
Y EXPLOTACIÓN DE CARRETERAS  
Alcobendas, Julio; Casado, Sergio; Martínez-Ibáñez, Víctor; Aranda Domingo, José Ángel....Pág.116
- 2.3 EL PAPEL DEL FM EN LA FASE DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DEL PROYECTO  
García Montesinos, Francisco Javier.....Pág.126

## 3. EXPERIENCIAS REALES CON BIM

- 3.1 OPTIMIZACIÓN DE MODELOS BIM MEDIANTE EL PROCESO DEL CONTROL DE CALIDAD  
Moreno-Sánchez, Sara; Marcos-Fernández, Sarai;.....Pág.137
- 3.2 CDE EXTENDIDO. IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTA EN LA NUBE PARA LA GESTIÓN  
MASIVA DE BIM360 EN UNA PROMOTORA RESIDENCIAL  
Liébana Carrasco, Óscar; Guerra Barroso, Iván; Liébana Carrasco, César.....Pág.147
- 3.3 GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE MODELOS BIM DE CARRETERAS A PARTIR DE DATOS DE  
INVENTARIO EXISTENTE  
Moya Sala, Joaquim; Jardí Margalef, Agustí.....Pág.158
- 3.4 DIGITALIZACIÓN DE LA SUBESTACIÓN DEL EMBALSE DE BELESAR  
Abellán-Alemán, José María; Vázquez-Rodríguez, José Antonio; Miquel-López, José Carlos;  
Cano-Alderete, Amparo; Perales-Portillo, Germán; Martínez-García, Pedro Antonio; Buendía-  
Peláez, Juan Ignacio; Sánchez-Juncal, Evelio; Carballo-Solla, Rogelio.....Pág.169
- 3.5 KUBIK, LA CONSTRUCCIÓN DE UN “DIGITAL TWIN” MEDIANTE METODOLOGÍA BIM  
San Mateos-Carreon, Rosa; Varela-Acevedo, Agustín, Maiza-Anton, Iñaki; Olaizola-Martija,  
José Manuel.....Pág.180
- 3.6 INDUSTRIALIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN CON BIM EN LOS PROCESOS DE MONTAJE DE  
INSTALACIONES DE TUBERÍAS  
Soria-Zurdo, M<sup>a</sup>-Lorena; Policarpio-Queralt, Jesús.....Pág.190
- 3.7 EXPERIENCIA REAL BIM PARA UNA REFORMA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA  
INTERNACIONAL EN SENER  
Sola-Jerez, Marc; Para-Ayuso, Gloria, Carcelero-Ibáñez, Bibiana.....Pág.203

## FORMACIÓN E INVESTIGACIÓN EN BIM



## SISTEMA DE INTEGRACIÓN DE NORMATIVA PARA EL CONTROL DE LA DEMANDA ENERGÉTICA EN SOFTWARE DE MODELADO BIM

**García-Dópido, Inmaculada<sup>a</sup>; Chorro-Domínguez, Francisco Javier<sup>a</sup>; Marín-Miranda, María José<sup>a</sup>; Martín-Castizo, Manuel<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción (Intromac)-Departamento de tecnologías y construcción sostenible, Cáceres (España), inmaculadadopido@unex.es

---

### Abstract

*Currently, the reduction of energy consumption has become one of the main goals in building design. For this purpose, Spanish Technical Building Code establishes the Basic Document HE1 in which a building must be in the limited values proposed in order to obtain minimum quality values in the field of energy saving.*

*The main Building Information Modeling (BIM) programs offer energy simulation tools with several integration levels, nevertheless, the workflow for energy testing requires an exchange of information between different platforms. Unfortunately, this process is unable to maintain the information consequently it generates losses and incompatibility at this time.*

*In this work, it has been development a new system for ascertainment integrated in the BIM Revit software. For this purpose, it has been used a set of Python algorithms which provide a simulation of the thermal properties into the building envelope in comparison to limited official values.*

*This application allows real-time execution from the early stages of design, offering an user-friendly and intuitive interface. In its decision making, the results achieved provide an efficient tool for the initial analysis of the project.*

**Keywords:** BIM, energy efficiency, CTE, Python, Revit.

---

### Resumen

*En la actualidad la reducción del consumo energético se ha convertido en uno de los objetivos principales en el diseño de edificios. Para ello, el Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico DB HE1 establece los valores límite que debe cumplir una edificación a efectos de obtener unos valores mínimos de calidad en el campo de ahorro energético.*

*Los principales programas de modelado BIM ofrecen herramientas de simulación energética con distintos niveles de integración, no obstante, el flujo de trabajo para la comprobación energética actualmente precisa un intercambio de información entre distintas plataformas generando pérdidas de información e incompatibilidad entre procesos.*

*En este trabajo se ha desarrollado un nuevo sistema de comprobación de normativa integrado en el software BIM Revit. Mediante el uso de algoritmos desarrollados en Python se realiza una simulación de las propiedades térmicas de la envolvente del edificio comparándose con la normativa vigente. Esta aplicación permite la ejecución a tiempo a real desde las fases iniciales de diseño, ofreciendo una interfaz gráfica intuitiva y de fácil manejo. Los resultados obtenidos proporcionan una herramienta eficiente para el análisis inicial del proyecto con el fin ayudar en la toma de decisiones.*

**Palabras clave:** BIM, demanda energética, normativa, CTE, Python, Revit.

---

## **Introducción**

El sector residencial en España, con un parque superior a 17 millones de viviendas permanentemente habitadas, supone un 17% del consumo final de energía y un 25% de la demanda de consumo eléctrico, cifras que han ido incrementando en los últimos años debido al aumento tanto del número de viviendas como a cambios en las demandas frente a la tendencia a la baja del sector industrial (De Arriba Segurado & García Barquero, 2018).

Analizando el reparto de consumos en función de los usos, los sistemas de calefacción suponen más de un 40% de la demanda de energía por parte de la vivienda, valores que superan el 60% de media en la unión europea. Esta demanda de energía está relacionada con las condiciones térmicas de la envolvente del edificio, por lo que una mejora de las mismas afecta de forma directa al consumo de energía de la edificación (De Arriba Segurado & García Barquero, 2018).

Por ello, con el fin de controlar la demanda energética de los edificios, tanto de nueva construcción como para los casos de intervenciones en edificios existentes, el Código Técnico de la Edificación establece en uno de sus documentos básicos las condiciones que deberá tener la envolvente térmica en función de la zona climática en la que se encuentre la edificación (Código Técnico de la Edificación, 2006).

Con el fin de determinar las condiciones de la envolvente y comprobar la demanda respecto a los valores máximos o límite que establece la normativa, los técnicos disponen de distintos software reconocidos oficialmente que permiten realizar simulaciones energéticas de los edificios a partir de los datos geométricos y constructivos.

En las últimas décadas, el desarrollo de la metodología BIM (Building Information Modeling) en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) representa una nueva forma de diseñar y gestionar los proyectos (Azuar, 2011). Esta metodología abarca todo el ciclo de vida del edificio, permitiendo incorporar distintos tipos de información al modelo virtual, desde información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costes (5D), de sostenibilidad (6D) y de mantenimiento (7D) (Sánchez Ortega, 2016).

La sexta dimensión (6D) se basa en la realización de simulaciones energéticas, con el fin de estudiar todas las posibles alternativas hasta lograr una solución óptima. Actualmente, los principales software de modelado integran herramientas BIM para la simulación energética, permitiendo comprobar la demanda de los edificios durante el proceso de diseño. En el caso del software de modelado Autodesk Revit, integra en su entorno la herramienta Green Building Studio que, si bien permite realizar dichas verificaciones, no se adapta a la legislación estatal española siendo necesario el intercambio de información entre distintos software para realizar comprobaciones.

Para facilitar el intercambio de información entre distintas plataformas BIM, en el año 1994 se crea el estándar IFC, que permite la interoperabilidad entre sistemas (Alcides Jacoski & Machado Hoffmeister, 2018). Sin embargo, este proceso genera pérdidas de información e incompatibilidades con las herramientas de simulación no integradas en el entorno del software de modelado que, en la mayoría de las ocasiones, se traducen en un incremento del tiempo de desarrollo del proyecto.

Esta investigación ofrece un nuevo sistema de integración de normativa dentro del software de modelado BIM teniendo en cuenta la complejidad actual en los procesos de intercambio de información. En consecuencia, se propone una herramienta de comprobación integrada en el entorno de Autodesk Revit y adaptada a la legislación estatal que permite controlar los parámetros energéticos desde las primeras fases del diseño arquitectónico.

### **1. Metodología**

La metodología utilizada permite integrar, desde la fase de diseño arquitectónico, la comprobación de los parámetros energéticos de la envolvente de los edificios respecto los valores de referencia de la normativa a través de una herramienta integrada en el software de modelado BIM Autodesk Revit.

Dado que el cálculo de la demanda energética supone la realización de simulaciones en unas condiciones operacionales definidas y dichas operaciones no son integrables en fases iniciales, el objeto de esta

herramienta es permitir la comparación de los parámetros de la envolvente desde las primeras fases entre el edificio objeto de estudio y los valores de referencia.

Este sistema permite la utilización tanto de los parámetros arquitectónicos como constructivos de la envolvente térmica desde las fases iniciales del proyecto obteniendo un modelo optimizado antes de proceder a su intercambio con los programas oficiales de certificación, en los cuáles se podrá certificar si el edificio cumple con las demandas de energía establecidas.

### 1.1. Normativa

Para controlar la demanda energética de los edificios, la normativa (Código Técnico de la Edificación, 2006) establece unos valores límite de los parámetros de las envolventes que varían en función del uso de los edificios y de la zona climática en la que se ubiquen. Para los casos de edificios de uso residencial privado, establece unos valores límite de demanda energética tanto de calefacción como de refrigeración que varían en función de la zona climática y de la superficie útil y, para los casos de edificios de otros usos, establece el porcentaje de ahorro de la demanda energética respecto a un edificio de referencia.

Para que el edificio se adapte a los límites de demanda establecidos, la normativa aporta unos valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente que, si bien no garantizan el cumplimiento de la exigencia, permiten que las soluciones constructivas del proyecto se aproximen al cumplimiento de la demanda.

De esta manera establece, tanto para edificios de uso residencial como para edificios de otros usos, unos valores característicos de transmitancias que dependen de la zona climática y, en el caso de los huecos de la orientación.

### 1.2. Nuevo sistema de integración de normativa

El sistema desarrollado permite comparar los valores de transmitancia de los distintos elementos de la envolvente respecto a los valores de referencia que establece la normativa, obteniéndose como resultado el porcentaje de desviación respecto a los valores establecidos para el edificio de referencia (Apéndice D, Documento Básico HE 1, 2020) y para las soluciones constructivas en uso residencial (Apéndice E Documento Básico HE 1, 2019).

Tanto el cálculo de los valores de transmitancia de los distintos elementos como el porcentaje de desviación respecto a los valores límite forma parte del nuevo sistema desarrollado utilizando algoritmos en Python, a partir de los valores de referencia del catálogo de elementos constructivos y de los criterios establecidos en el Código Técnico.

#### 1.2.1. Transmitancia de muros

El Código Técnico de la Edificación establece la transmitancia térmica de los muros a partir de la resistencia térmica total del elemento constructivo, la cual viene dada por el sumatorio de los valores de resistencia térmica de las distintas capas del elemento y las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior. Dichos valores de resistencia dependen del espesor de la capa y de la conductividad térmica del material que la compone, excepto para las cámaras de aire, cuyos valores dependen del espesor y el tipo de ventilación (Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía, 2019).

La transmitancia es calculada con los valores y procedimientos indicados, utilizando los parámetros pertinentes dentro de los algoritmos de programación desarrollados, tal y como se muestra en el pseudocódigo de la tabla 1.

La comparación de los valores de cálculo respecto a la transmitancia límite permite comprobar si la solución constructiva adoptada se aproxima a la solución para el cumplimiento de la demanda. Dado que los valores de transmitancia límite establecidos son valores orientativos para el pre-dimensionado constructivo, la

herramienta nos permite comprobar el porcentaje de desviación de la transmitancia del elemento respecto al límite.

En consecuencia, se realizan tres comprobaciones con un parámetro asociado a cada uno de ellos: desviación con respecto al edificio de referencia (Apéndice D, Documento Básico HE 1, 2020) desviación con respecto a los valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente para los casos de soluciones constructivas en uso residencial (Apéndice E Documento Básico HE 1, 2019) y cumplimiento de la limitación por descompensación (Código Técnico de la Edificación, 2006).

Para el cálculo de desviación con respecto al edificio de referencia se parte de los valores definidos en la normativa recogidos en el Apéndice D del Código Técnico, asociados en el caso de los muros de fachada a la zona climática en la que está ubicado el edificio. Esta comprobación se realiza como se muestra en los puntos 3 y 6 del pseudocódigo.

Para determinar la desviación respecto a los valores orientativos de los parámetros característicos de la envolvente para soluciones constructivas en uso residencial, el apéndice E no establece unos valores límite, sino unos valores recomendados para obtener un edificio eficiente adaptado a la normativa, que serán de nuevo determinados a partir de la zona climática. A partir de estos valores puede calcularse la desviación respecto a los valores orientativos como se indica en los puntos 4 y 6 del pseudocódigo.

Por otro lado, para los casos de edificios de uso residencial privado, la normativa establece un valor límite de descompensación de los distintos elementos de la envolvente, por lo que en este caso comprobamos directamente si los valores de transmitancia de la solución constructiva cumplen o no la limitación de descompensación establecida, tal y como se describe en los apartados 5 y 6 del pseudocódigo.

Estos datos se han incluido como parámetros generales del proyecto, de modo que con una herramienta programada en lenguaje Python mediante la extensión Dynamo se comprueba tanto numéricamente la desviación respecto a los valores límite.

Tanto el cálculo de los valores de transmitancia de los distintos elementos como el porcentaje de desviación respecto a los valores límite forman parte del nuevo sistema desarrollado utilizando algoritmos en Python, a partir de los valores de referencia del catálogo de elementos constructivos y de los criterios establecidos en el Código Técnico.

Tabla 1. Pseudocódigo del nuevo sistema de comprobación de muros. Fuente: Elaboración propia (2020)

```

1. Entradas: ZonaClimatica,Envolvente[1...n],Resistenciatermica(R) [1...n]
2. Cálculo de transmitancia:
   for i in elementos_muros[1...n]:
       Transmitanciacalculada_CTE[i] =1/(Resistenciatermica(R)[i]
       [1...n]+Rse(0.13)+Rsi(0.04))
3. Cálculo Transmitancia límite edificio de referencia:
   Transmitancialimite_ER = tablas_normativa (ZonaClimatica)
4. Cálculo Tansmitancia límite del apéndice E:
   Transmitancialimite_AE = tablas_normativa (ZonaClimatica)
5. Cálculo limitación por descompensación
   Limitaciondescompensación= tablas_normativa(ZonaClimatica)
6. if Envlovente[1...n]='S'
   Desviaciónrespecto_ER[1...n]=
       Transmitanciacalculada_CTE[1...n]/Transmitancialimite_ER
   Desviaciónvalores_orientativos[1...n]=
       Transmitanciacalculada_CTE[1...n]/Transmitancialimite_AE

   if Transmitanciacalculada_CTE[1...n]< Limitaciondescompensación
       Limitación_descompensación = 'Cumple'
   else
       Limitación_descompensación = 'No cumple'
7. Salida: Desviación respecto_ER[1...n],
   Desviaciónvalores_orientativos[1...n], Limitación_descompensación[1...n],
   Transmitanciacalculada_CTE[1...n].

```

### 1.2.2. Transmitancia de huecos

En los huecos es preciso comprobar respecto a los valores límite tanto la transmitancia como el factor solar modificado.

La transmitancia viene determinada por el valor de la parte opaca y de la zona acristalada, la cual se obtiene con los parámetros introducidos en el modelo como se indica en el pseudocódigo de la tabla 2.

En este caso, para la comparación de estos valores calculados respecto a los valores límite es necesario determinar la zona climática, la orientación de cada uno de los huecos, el tanto por ciento de huecos en cada orientación y el porcentaje de huecos respecto a la superficie útil, puesto que los valores límite se establecen en base a estos criterios en la normativa. Puesto que el software permite orientar los edificios, mediante programación se asigna de forma automática dicha orientación a cada uno de los elementos del modelo, es decir, tanto a huecos como a muros como puede observarse en el punto 2 y 3 de la tabla 2.

A través del desarrollo de los nuevos algoritmos se integran en el modelo los valores límite establecidos en el Anejo D, obtenidos a partir de la orientación y el porcentaje de huecos respecto a la parte ciega. Estos aspectos pueden observarse en los puntos 6 y 7 de la tabla 2.

En el caso de los valores de referencia del Apéndice E, además de la orientación, se tiene en cuenta el porcentaje de huecos con respecto a la superficie útil de la vivienda, dato que se obtiene a partir de la creación de planos de área. Los valores a aplicar se definen entre unos rangos del 10% al 15% de porcentaje de huecos, por lo que se realiza una interpolación entre los datos de proyecto y los establecidos en las tablas del documento, tal como se describen en el punto 5 de la tabla 2.

En este caso, no se ha integrado la comprobación del factor solar modificado de los huecos puesto que para ello, es preciso definir los niveles de carga interna. Siendo una comprobación de los valores a nivel indicativo para integrar en las fases previas de proyecto, la inclusión de esta información, que supone un cálculo de la densidad de las fuentes internas en W/m<sup>2</sup>, quedaría fuera del objeto de este estudio.

Tabla 2. Pseudocódigo del nuevo sistema de comprobación de huecos. Fuente: Elaboración propia (2020)

---

```

1. Entradas: ZonaClimatica,Envolvente[1...n],Transmitancia Vidrio(TV) [1...n], Area
vidrio (AV) [1...n], Tranmitancia marco (TM) [1...n], Area del marco (AM) [1...n],
2. Cálculo de orientacion:
  for i in elementos_ventanas[1...n]:
    orientacion[i] =rotacion(ángulo a norte real, punto base del modelo)
  for i in elementos_muros[1...n]:
    orientacion[i] =rotacion(ángulo a norte real, punto base del modelo)
3. Cálculo del porcentaje de huecos:
  for j i in [N,NE,E,SE,S,SW,W,NW]
    porcentaje_huecos [j] =
AreaVentanas(orientacionj)/(Area_ventanas(orientacionj)+Area_muros(orientacionj)
4. Cálculo de transmitancia:
  for i in elementos_ventanas[1...n]:
    Transmitanciacalculada_CTE[i] =(AV[i] *TV[i] +AM[i] *TM[i])/(AV[i] +TM[i])
5. Cálculo Transmitancia límite edificio de referencia:
  Transmitancialimite_ER = tablas_normativa (ZonaClimatica, porcentaje_huecos)
6. Cálculo Transmitancia límite del apéndice E:
  Transmitancialimite_AE = tablas_normativa (ZonaClimatica)
7. Cálculo limitación por descompensación
  Limitaciondescompensación= tablas_normativa(ZonaClimatica)
8. if Envolvente [1...n]=Sí
  Desviaciónrespecto_ER[1...n]=
    Transmitanciacalculada_CTE[1...n]/Transmitancialimite_ER
  Desviaciónvalores_orientativos[1...n]=
    Transmitanciacalculada_CTE[1...n]/Transmitancialimite_AE
  if Transmitanciacalculada_CTE[1...n]< Limitaciondescompensación
    Limitación_descompensación = 'Cumple'
  else
    Limitación_descompensación = 'No cumple'
9. Salida: Desviación respecto_ER[1...n], Desviaciónvalores_orientativos[1...n],
Limitación_descompensación[1...n], Transmitanciacalculada_CTE[1...n].

```

---

## 2. Resultados

Con el fin de realizar una comprobación del nuevo sistema desarrollado se ha propuesto como caso de estudio una vivienda unifamiliar de una planta con sistemas constructivos tradicionales. Los cerramientos verticales están compuestos por fábrica de ladrillo con cámara y aislamiento de poliestireno extruido de diferentes grosores y las carpinterías empleadas son de aluminio con distintas composiciones de vidrio y marco.

En dicho sistema se ha optado por la utilización de valores de conductividad y transmitancia heterogéneos en el modelo, asociados a distintos niveles de aislamiento, para poder comprobar los resultados. Mediante la herramienta de cálculo se visualizan dentro del propio programa, utilizando tablas de planificación y plantillas de visualización con codificación cromática, los resultados obtenidos de forma rápida y precisa.

La tabla de comprobación de transmitancia de muros, representada en la figura 1, ofrece los valores de transmitancia calculada según las indicaciones de la normativa, así como los valores de desviación respecto a los valores límite establecidos asociados a cada elemento del modelo. Se han codificado cromáticamente las celdas, apareciendo en color verde los valores que cumplen, en color naranja aquellos parámetros que no son de obligatorio cumplimiento y nos aportan un valor informativo de desviación y finalmente, en color rojo aquellos elementos que no cumplen con alguna limitación normativa.

A	B	C	D	E	F	G
Familia y tipo	Función	Envoltante	Transmitancia CTE	Desviación respecto ER	Desviación valores orientativo	Limitación descompensación
<b>Planta Baja</b>						
Muro básico: Cerramiento	Exterior	<input checked="" type="checkbox"/>	0.285	39%	79%	CUMPLE
Muro básico: Cerramiento	Exterior	<input checked="" type="checkbox"/>	0.833	114%	231%	NO CUMPLE
Muro básico: Cerramiento	Exterior	<input checked="" type="checkbox"/>	0.285	39%	79%	CUMPLE
Muro básico: Cerramiento	Exterior	<input checked="" type="checkbox"/>	0.285	39%	79%	CUMPLE
Muro básico: Cerramiento	Exterior	<input checked="" type="checkbox"/>	0.285	39%	79%	CUMPLE
Muro básico: Cerramiento	Exterior	<input checked="" type="checkbox"/>	0.285	39%	79%	CUMPLE
Muro básico: Cerramiento	Exterior	<input checked="" type="checkbox"/>	0.285	39%	79%	CUMPLE
Muro básico: Cerramiento	Exterior	<input checked="" type="checkbox"/>	0.285	39%	79%	CUMPLE
Muro básico: Cerramiento	Exterior	<input checked="" type="checkbox"/>	0.285	39%	79%	CUMPLE
Muro básico: Cerramiento	Exterior	<input checked="" type="checkbox"/>	0.285	39%	79%	CUMPLE

Fig. 1 Tabla de planificación de resultados de transmitancia de muros. Fuente: Elaboración propia (2020)

Para la comprobación de los valores asociados a los huecos, la figura 2 representa gráficamente la tabla de planificación donde se muestran los resultados de estos elementos. Al igual que el caso anterior, este sistema proporciona una codificación por colores para determinar los elementos que se encuentran fuera de rango.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Tipo	Modelo	Envoltante	Persiana	U marco	U vidrio	Permeabilidad	U hueco	Edificio referencia	Valores límite	Lim. descompensación	Lim. permeabilidad
<b>Planta Baja</b>											
1500 x 3150mm	V03	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.4	5.7	32	5.012	147%	418%	NO CUMPLE	NO CUMPLE
1500 x 3150mm	V03	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.4	5.7	32	5.012	114%	264%	NO CUMPLE	NO CUMPLE
2500 x 3150mm	V01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.7	2.1	12.5	2.073	71%	109%	CUMPLE	CUMPLE
2500 x 3150mm	V01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.7	2.1	12.5	2.073	71%	109%	CUMPLE	CUMPLE
2500 x 3150mm	V01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.7	2.1	12.5	2.073	71%	109%	CUMPLE	CUMPLE
2500 x 3150mm	V01	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.7	2.1	12.5	2.073	71%	173%	CUMPLE	CUMPLE
3150 x 2500mm	V02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5.7	4.5	12.5	4.585	158%	241%	NO CUMPLE	CUMPLE
3150 x 2500mm	V02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5.7	4.5	12.5	4.585	158%	241%	NO CUMPLE	CUMPLE
3150 x 2500mm	V02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5.7	4.5	12.5	4.585	158%	241%	NO CUMPLE	CUMPLE
3150 x 2500mm	V02	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5.7	4.5	12.5	4.585	158%	241%	NO CUMPLE	CUMPLE
1250 x 800mm	V05	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.2	2.8	9	2.429	71%	202%	CUMPLE	CUMPLE
2400 x 800mm	V04	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.2	2.8	9	2.492	73%	208%	CUMPLE	CUMPLE

Fig. 2 Tabla de planificación de resultados de transmitancia de huecos. Fuente: Elaboración propia (2020)

Adicionalmente a las tablas de planificación que ofrecen toda la información numérica, el sistema utiliza vistas 3D para proporcionar los resultados. Estas vistas ofrecen un sistema potente de análisis en el cual se han aplicado los mismos sistemas de codificación visual por color que en las tablas de planificación. La figura 3 muestra los resultados utilizando este sistema.

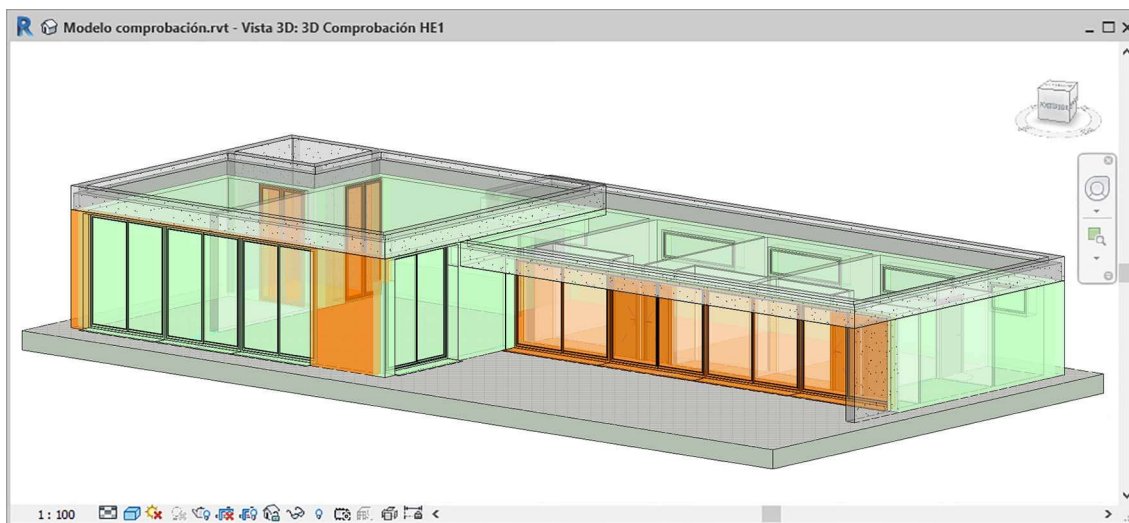


Fig. 3 Representación visual de los resultados sobre vista 3D. Fuente: Elaboración propia (2020)

### 3. Conclusiones y líneas futuras

En este trabajo se ha desarrollado un nuevo sistema de integración de normativa para el control de la demanda energética en software de modelado BIM. La incorporación de esta herramienta en el propio software de modelado BIM permite la realización de comprobaciones durante las fases de diseño, optimizando las prestaciones térmicas de los elementos que conforman la envolvente del edificio de una forma rápida y sencilla. Estos procesos han sido desarrollados utilizando algoritmos de programación adaptados a la normativa donde el alto nivel de personalización ofrece una gran versatilidad de adaptación a las necesidades tanto del proyecto como de cumplimiento normativo.

Como línea futura de trabajo se propone el desarrollo de herramientas que complementen el sistema enfocadas la comprobación de otros elementos de la envolvente, como suelos y cubiertas, de forma que se pueda realizar una evaluación completa del modelo, así como la integración de los algoritmos desarrollados en un complemento cargable en el software de modelado al cual pueda accederse a través de un repositorio.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado por el fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y por la Junta de Extremadura en el marco del proyecto VI Plan Regional del Investigación concedido al Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción (Intromac) a través del proyecto BIMEx "Herramientas para el desarrollo y mantenimiento de construcciones con metodología BIM en Extremadura con referencia IB 18094.

### Referencias

- ALCIDES JACOSKI, C., & MACHADO HOFFMEISTER, L. (2018). "Potential use of bim for automated updating" en Brazilian Journal of Operations & Production Management, 35-43.
- AZUAR, S. (2011). "Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry" en Leadership and Management in Engineering.

DE ARRIBA SEGURADO, P., & GARCÍA BARQUERO, C. (2018). Tendencias y Políticas de Eficiencia Energética en España. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo de 2006, Código Técnico de la Edificación. BOE 28 de marzo 2006.

España. Código Técnico de Edificación, Documento Básico HE 1, apéndice D. 29 de junio de 2018.

España. Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE 1, Apéndice E. 29 de junio de 2018.

España. Código Técnico de Edificación, Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía. Febrero 2015.

SÁNCHEZ ORTEGA, A. EspacioBIM. <<https://www.espaciobim.com/bim-3d-4d-5d-6d-7d>> [Consulta: 3 de febrero 2020]



## A DIGITAL WORKFLOW FOR BUILDING ASSESSMENT AND RENOVATION

Di Giuda, Giuseppe Martino<sup>a</sup>; Seghezzi, Elena<sup>a</sup>; Schievano, Marco<sup>a</sup>; Paleari, Francesco<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of Architecture, built environment and construction engineering, [giuseppe.digiuda@polimi.it](mailto:giuseppe.digiuda@polimi.it)

### Abstract

*This paper presents a methodology for digitalization and assessment of existing building stocks. This research is developed for the municipality of Melzo, as part of a research programme that regards the digitalization of the municipality's buildings, to evaluate their performance, state of conservation, and to provide cost-related analyses of potential interventions. The proposed approach is structured on BIM models created from building surveys, followed by a simplified energy behaviors assessment, and an evaluation of potential improvements, both on building envelope, and energy building systems.*

*Compliance to regulatory requirements in terms of fire safety, energy performance, indoor comfort, accessibility layout is verified in a semi-automated way based on BIM models. The analyses of costs in a Life Cycle perspective helps building owners to establish a hierarchy of interventions on building asset. The proposed workflow can be adapted to different building types.*

**Keywords:** Building renovation, Life Cycle Cost, digital twin, building asset management.

### Resumen

*Este documento presenta una metodología para la digitalización y evaluación de edificios existentes. Esta investigación se desarrolla para el municipio de Melzo, en el marco de un programa de investigación sobre la digitalización de los edificios del municipio, para evaluar su eficiencia, estado de conservación y proporcionar análisis de costes de las posibles intervenciones. El enfoque propuesto está estructurado en modelos BIM creados a partir de encuestas de construcción, seguidas de una evaluación simplificada de los comportamientos energéticos y de una evaluación de las posibles mejoras, tanto en la envolvente del edificio como en los sistemas de construcción de energía.*

*El cumplimiento de los requisitos reglamentarios en materia de seguridad contra incendios, eficiencia energética, confort interior y accesibilidad se verifica de forma semiautomática en base a los modelos BIM. El análisis de los costes desde la perspectiva del ciclo de vida ayuda a los propietarios de edificios a establecer una jerarquía de intervenciones sobre los activos del edificio. El flujo de trabajo propuesto puede adaptarse a diferentes tipos de edificios.*

**Palabras clave:** Renovación de edificios, coste del ciclo de vida, gemelo digital, gestión de patrimonio inmobiliario.

## **Introduction**

Existing buildings stocks play a fundamental role in current research nowadays, as they account for the most part of energy consumptions and CO<sub>2</sub> production (Ravetz 2008), and as the Operation & Maintenance phase is the one that has a stronger impact in economic terms on the overall service life of a building (Cabeza, Rincón, Vilariño, Pérez, & Castell 2014). The theme of building renovation plays a primary role in European and national agenda, due to its relevance to reach the goals of decarbonisation.

When considering existing buildings, literature is mainly focusing on building renovations, including energy performance evaluations (REF), prototypes and materials for building retrofit (Sanhudo et al. 2018), or cost/benefits approaches. A methodology for the evaluation of large building stocks that includes not only building renovation, but also facility management is lacking. The goal of the research here presented is the setting of a BIM-based methodology to evaluate and manage existing building stocks.

### **1. State of the Art**

The main research area related to the use of BIM for existing building regards building renovation and sustainability. Some explorations regarding the application of collaborative methodologies to asset and facility management can be found (Ayman, Alwan, & McIntyre 2020; Boje, Guerriero, Kubicki, & Rezgui 2020; Lu, Xie, Heaton, Parlikad, & Schooling 2020), underlining that research interest is rising.

Research lines regarding the application of BIM for existing building can be divided in:

- BIM for operation and maintenance; data-driven methods to plan and manage maintenance operations of buildings, building systems and equipment (Pärn, Edwards, & Sing 2017; Volk, Stengel, & Schultmann 2014);
- BIM for energy retrofitting, integrating BIM workflows with energy simulation tools and exploring alternatives (Habibi 2017; Sanhudo et al. 2018);
- BIM for post-occupancy evaluation and monitoring, providing evaluations of internal comfort and quality (Coates, Arayici, & Ozturk 2012; Roberts, Edwards, Hosseini, Mateo-Garcia, & Owusu-Manu 2019).

This multiplicity of research lines follows the complexity of asset management (Becerik-Gerber, Jazizadeh, Li, & Calis 2012); though providing a wide and detailed starting point, the lack of resources exploring strategies for asset management based on digital methods (including BIM) can be underlined (Munir, Kiviniemi, Jones, & Finnegan 2020).

Evaluation methods based on BIM regard energy-related aspects linked to existing green building tools, and are addressing specific case-study buildings (Ilter & Ergen 2015). A wider application that refers to building stocks and that does not limit the evaluation to energy retrofitting could provide interesting developments. Furthermore, the collaborative process undelaying research activities should be detailed and clarified in order to facilitate the handover of information and procedures, especially in public sector.

Both Public administrations and private owners of large building stocks needs to develop tools and procedures for the management of their assets. Public administrations have in this sense very strict budget limitations, resulting in a stronger need of planning and managing their facilities (Carbonari, Corneli, Di Giuda, Ridolfi, & Villa 2019). The use of BIM could represent a crucial improvement, helping to structure and define an enhanced asset management.

Currently, the most part of building documentation (related to construction, maintenance, facility management, and other aspects) is still paper-based and not integrated in digital asset management tools or procedures. The digitalization of public building asset is encouraged by current legislative frameworks, and could result in an optimization of asset facility operations.

Public Administrations (PAs) have wide building assets, but in many cases, they do not have proper tools to optimize its management. Digitalization mainly appears as a cost- and time-consuming activity that would

require deep changes in consolidated processes of Administrations. Nonetheless, the shift to digitalization would provide relevant advantages, shown in the following table.

Table 1. Main barriers and drivers to digitalization of building assets for PAs

Barriers	Drivers
Cost onerousness	Progressive decrease of cost and time investments
Time consuming activity	Increase in quality of building management
Lack of tools to properly manage digital processes	Reduction of costs of maintenance of existing buildings
Lack of expertise of Public Administrators	Legislative requirements

The scope of this research is the setting of a methodology for building assets digitalization and management. This paper presents the general approach, with first applications to case study buildings of the Municipality of Melzo, a medium-size town in Lombardy near Milan. Based on an evaluation of buildings conditions, the goal of the work is the setting of an evaluation method to understand the current state of buildings, to establish renovation needs and priorities, and to explore alternatives for building retrofitting.

## 2. Methodology

The provided process is under development in accordance with the Municipality of Melzo, and is therefore based on its needs and requests, as it is part of a research project for the digitalization of Public Administrations. It has been applied to a first set of buildings to prove its reliability and to balance between usability and robustness. This approach has been tailored on the Municipality requests, but can be replied on different Clients, modifying the evaluations and the weight of the scores.

The Municipality has expressed the need of a simplified approach to evaluate potential interventions on its building stock. The requirements of the Municipality included (i) the evaluation of current state of the buildings, in terms of energy performance, fire safety, and compliance to legislative requirements, (ii) the development of BIM models to be used as base for these evaluations, and (iii) as repository for building documents, and (iv) a cost/benefit evaluation of potential renovations on the building.

The method does not provide an exact evaluation of energy behavior, as this approach is intended to be applied in early stages. In this sense, the usability of the approach has been preferred to avoid overburdening the model. The energy evaluation provided is useful to define in early steps potential renovations, and to compare energy performances of different buildings of the analyzed stock (Chaves, Tzortzopoulos, Formoso, & Biotto 2017).

In accordance with the Municipality, the methodology's phases are presented in Table 2, together with techniques and tools that can be used to reach each phase's objective.

Table 2. Research phases

1. Building survey and documents collecting	<p>This first phase is necessary to provide the complete state of the building. Building survey can be carried out by means of basic tools, or through more sophisticated methods, e.g. laser scanning (Cabeza, Rincón, Vilariño, Pérez, Castell, et al. 2014).</p> <p>Documents collected about the building include authorizations and permits, reports, projects drawings...</p>
---	---

2. BIM modelling	A BIM model based on the guidelines should be carried out (DI GIUDA, Giana, Schievano, & Paleari 2020). The model should include all the relevant information in terms of architecture, building systems, and structures.
3. Legislative requirements evaluation	Depending on the building use, different requirements should be satisfied, including fire regulations, space layouts, use of specific materials, etc.(Choi, Choi, & Kim 2014)
4. Creation of a database	A database including all the collected documents is associated with the BIM model of the building. This operation can be carried out through simple tools (e.g. Excel), or through the creation of a proper Document Management System (DI GIUDA, Giana, Schievano, & Paleari 2019).
5. Energy evaluation	<p>An evaluation of the building current energy performance is provided, including the envelope and the building systems.</p> <p>Depending on the administration requirements, basic evaluations or refined simulations can be carried out (Chong, Lee, &amp; Wang 2017) .</p>
6. Evaluation of the building conditions	Through the analysis of legislative compliance, and energy behavior, it is possible to set a multi-criteria grid to evaluate the building asset, in order to establish priority of interventions (Nielsen, Jensen, Larsen, & Nissen 2016).

---

The first step of the proposed approach is the definition of BIM guidelines for the creation of models. This aspect is relevant for different reasons: firstly, as the building models are created by the research group, but will be managed and then created by the administration, it is particularly relevant to set a standard. In addition, it is vital that PAs are able to cope with their models, to interact with them, interrogate them, and manage them, as the future processes of maintenance will be set on digital building models. This is particularly true considering that, in accordance to legislative framework, the use of BIM is progressively becoming compulsory.

The first activity for the creation of BIM models is the survey of the building. Building survey can be carried out manually, or through laser scanning, depending on building typology, available budget, and time constraints. In the proposed cases, building survey has been carried out manually, but more sophisticated survey techniques will be explored for the following case study buildings.

BIM models are then created, based on the guidelines; relevant information and a An energy evaluation tool, based on simplified models, is set to evaluate the current performance of the building stock.

Building validation is based on semi-automated verification of legislative requirements, entirely based on BIM models previously created: this step is necessary as it provides an evaluation of the quality and the compliance of buildings to current legislative framework, depending on their use.

The creation of a grid allows to give each building a score that express its need for refurbishment, depending on the non-compliance of requirements and therefore the urge for intervention. These scores combined with weights chosen by the Client allows to establish a multi-criteria methodology to evaluate the building asset and the priority of intervention.

Outputs deriving from the proposed method are presented in Table 3.

Table 3. Outputs of the proposed method

Phase	Output
1. Building survey and documents collecting	-
2. BIM modelling	BIM guidelines
3. Legislative requirements evaluation	Evaluation reports
4. Creation of a database	Building digital dossier
5. Energy evaluation	Simplified energy model
6. Evaluation of the building conditions	Building score

### 3. Model creation and guidelines definition

Advanced BIM clients have developed their own standards for data management and information modelling. In this sense, the creation of proprietary guidelines is useful for clients to guarantee that project information requirements are driven by specific organizational requirement, as for ISO 19650.

BIM guidelines facilitate the implementation of BIM methodologies in projects and processes of institutions. The definition of requirements of the Municipality is the first step to create guidelines for BIM; in this phase, the inclusion in the process of facility managers is crucial, as they can help in properly define requirements for Operations & Maintenance phases (Pärn et al. 2017).

Three guidelines have been developed for Melzo Municipality, for new buildings, for interventions on existing buildings, and for maintenance operations. These guidelines had as starting point the analysis of procedures and data workflows of the municipality; a first analysis of the building asset was conducted to identify general features to be included in the guidelines. A detailed building survey is then performed, following the rules set in the guidelines. Once the guidelines were set, BIM models of the building were developed, based on a Product Breakdown Structure (PBS) to identify all objects and components; the codification of objects has been developed based on existing procedures and standards. A BIM Library is created for architecture, structures and building systems.

The first phase of the research project involves seven buildings of the Municipality, with different uses and different ages (a canteen, the city hall, a primary school, a kindergarten, a bocce court, a cultural center hosted in an historical building, and a secondary school).

These models are used as a base for documents collection, energy data extraction, and further potential analyses (e.g., Post-Occupancy Evaluations).

#### 4. Building evaluation

The building evaluation of the asset is carried out through a grid that includes six main aspects, divided in sub-criteria, summarized in the following table and in following paragraphs. Sub-criteria are furtherly divided in more specific aspects.

Table 4. Evaluation criteria

Criteria	Subcriteria	Evaluation method
State of conservation	1. Building envelope conservation 2. Internal elements conservation 3. Building services conservation	Qualitative
Structural stability	4. Vertical structures 5. Horizontal structures	Qualitative
Energy efficiency	6. Envelope 7. Building services	Quantitative
Fire safety	8. Building site 9. Construction features 10. Specific risk areas 11. Evacuation routes 12. Active protection systems	Quantitative
Accessibility	13. General layout and distributions 14. Rooms 15. General requirements	Quantitative
Documentation availability	16. General data (cadastral information) 17. Construction permits 18. Reports 19. Certifications (e.g, materials and products certifications, energy certification, building services declarations of conformity) 20. Maintenance 21. Drawings	Quantitative

For each criterion, a qualitative or quantitative evaluation should be provided, based on the BIM models. The only exception is the state of conservation, which has been evaluated through direct observation of the existing elements.

The complete evaluation of structural stability should be based on the survey of all structural elements, through specimens and materials analyses. In this case, considering the application of this method to early stages of design, this aspect is limited to the evaluation of the state of conservation of structural elements (columns, walls, slabs, beams).

Once all the schemes have been completed, it will be possible to give each building a “score” depending on its performance in all the defined criteria.

All documents related to the building (building permits, certifications, drawings) have been collected from the archives of the Municipality, digitalized, collected in a database through Microsoft Access, and connected through the plugin DBLink to the BIM models.

##### 4.1 Energy efficiency diagnosis

As previously stated, a complete evaluation of the energy performance of buildings is out of scope of this research; nonetheless, a detailed energy analysis can be included in the proposed methodology when required. The approach can be described as a deductive method, based on consumptions, surface/volume ratio, and energy needs. Building services are evaluated as a black-box meaning that only their efficiency  $\eta$ , based on production, distribution, control, and emission is taken into account (Evangelisti, Battista, Guattari, Basilicata, & Vollaro 2014).

This allows a description of the real building energy behavior. Based on this, it is possible to evaluate the potential improvements in energy behavior related to renovation interventions. Energy consumption of the building, obtained from documents and bills, is the starting point to define its losses, and therefore potential improvements in both the building features (passive approach), and in building services use (active approach). Ventilation losses are evaluated based on the use of the buildings and air change requirements. The part of consumptions deriving from the envelope (transmission loss) can be approximately defined subtracting ventilation losses from energy consumptions. Transmission loss are necessary to define current features of the building envelope. The proposed approach can be described as an energy diagnosis, rather than an energy modelling, due to two main reasons: in first place, this approach keeps into account the actual use of building services, and on the other hand, allows some primary considerations in terms of retrofit interventions, that should be detailed in following steps.

For each building, based on energy diagnosis a hierarchy of actions to be carried out is defined, including:

- Change in the use of the building services;
- Interventions on the envelope (external insulation, roof insulation);
- Windows replacement;
- Internal insulation.

At current state of development of the research, the energy diagnosis model has been defined and tested on three building.

#### 4.2 Fire safety and accessibility

Fire safety is a complex issue, that regards several features of the building; usually, the intervention and the interpretation of a human being is required to check fire safety compliance (Strug & Ślusarczyk 2017)(Choi et al. 2014)(Choi et al. 2014)(Choi et al. 2014)(Choi et al. 2014). Furthermore, the legislative framework is wide and complex, and depends on the use of the building. For this reason, a specific chart for each building typology has been set, taking into account general features of the building, technological features of its components (fire resistance, geometrical layout, etc.).

For each of the features, a score has been defined in terms of compliance with the existing legislation.

Accessibility involves the absence of architectural barriers; similarly to fire safety, it is a complex context, including several legislative references and taking into account different features of the building and of its surroundings.

To provide an evaluation of fire safety and accessibility compliance, legislative requirements have been translated into machine-readable rules, incorporated in a Dynamo node, that combines information from the model and from the excel grid. The node automatically fills the excel grid with the results of the comparison between the requirement and the building features contained in the BIM model.

#### 4.3 Further steps

The setting of a structured approach based on BIM models increases the quality of the evaluation, and its reliability. Data are extracted from the model to perform the evaluations required, and can be stored and managed in a proper way through the entire Life Cycle of the building.

If the evaluated building does not comply with legislative requirements (e.g., fire escape routes have an inadequate dimension), it is possible to simulate the intervention in the BIM model and to see its efficiency.

Considering the score obtained for the buildings, it is possible to define a hierarchy of intervention, based on the weight given to each criteria. Costs are being included in the process, in order to evaluate potential intervention strategies and their effect on the building evaluation.

## 5. Outcomes

The digitalization of building stock is a complex and long-term operation that could result in relevant improvements in terms of cost-efficiency, quality, and asset management efficiency of the assets. This path should be carefully defined in order to properly incorporate the requirements of the client. BIM models will provide a valuable context to structure analysis and explore interventions on the existing building stock. The workflow here presented is an example of an ongoing process of digitalization of a Municipality's building stock. The setting of a collaborative workflow helped in better understanding the requests and needs of the client, and the careful management of information during the whole process will help the handover. The client has constantly been updated during the work, through dossiers and presentations, and training meetings have been planned to facilitate the proper understanding of all the steps.

The use of BIM as a base for all the activities is proving to be particularly valuable as it results in better communication among the multiplicity of actors involved in renovation activities. The constant collaboration with the Municipality has stimulated their engagement in the process, as benefits deriving from a digital approach are immediately visible.

Efforts have been made to balance the reliability of the method and its robustness; some simplifications avoid its overburdening. The proposed process provides a useful evaluation tool to be used to support early stage of design decisions; considering the relevance of information, decisions can be based on data rather than on previous experience, and measurement of the effectiveness of intervention is immediately available.. This strategy can help Public Administration with large building stock to properly allocate their resources. As previously stated, this process is being developed with a specific Municipality, and is therefore tailored on its requirements. Nonetheless, this approach can be extended to other Public clients and can fit their goals and needs, as evaluation criteria are flexible and can be modified. Also, their weights can change to better fit the needs of the client. In addition to the evaluation of the building asset and of renovation interventions, the creation and constant updating of BIM models of the Municipality's building assets allows the performing of FM performance measurement tools, that will be part of successive research phases.

The shift to digitalization of building asset requires long-term strategies and planned processes, but results in valuable and countable benefits. BIM methods allow digital handover of information, overcoming the limits of paper-based, non-collaborative activities, and making data accessible and increasing the efficiency of the entire process.

## References

- AYMAN, R., ALWAN, Z., & MCINTYRE, L. (2020). "BIM for sustainable project delivery: review paper and future development areas" en *Architectural Science Review*, 63(1), pp. 15–33.
- BECERIK-GERBER, B., JAZIZADEH, F., LI, N., & CALIS, G. (2012). "Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management" en *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(3), pp. 431–442.
- BOJE, C., GUERRIERO, A., KUBICKI, S., & REZGUI, Y. (2020). "Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research" en *Automation in Construction*, 114.
- CABEZA, L. F., RINCÓN, L., VILARIÑO, V., PÉREZ, G., & CASTELL, A. (2014). "Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review" en *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, pp. 394–416.
- CARBONARI, A., CORNELI, A., DI GIUDA, G. M., RIDOLFI, L., & VILLA, V. (2019). "A decision support system for multi-criteria assessment of large building stocks" en *Journal of Civil Engineering and Management*, 25(5), pp. 477–494.
- CHAVES, F. J., TZORTZOPOULOS, P., FORMOSO, C. T., & BIOTTO, C. N. (2017). "Building information modelling to cut disruption in housing retrofit" en *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*, 170(6), pp. 322–333.
- CHOI, J., CHOI, J., & KIM, I. (2014). "Development of BIM-based evacuation regulation checking system for high-rise and complex buildings" en *Automation in Construction*, 46, pp. 38–49.



- CHONG, H. Y., LEE, C. Y., & WANG, X. (2017). "A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability" en *Journal of Cleaner Production*, 142, pp. 4114–4126.
- COATES, P., ARAYICI, Y., & OZTURK, Z. (2012). "New Concepts of Post Occupancy Evaluation (POE) Utilizing BIM Benchmarking Techniques and Sensing Devices" en *Sustainability in Energy and Buildings* pp. 319–329.
- DI GIUDA, G. M., GIANA, P. E., SCHIEVANO, M., & PALEARI, F. (2019). "A Collaborative Approach for AEC Industry Digital Transformation: A Case Study, the School of Liscate" en Della Torre, S., Bocciarelli, M., Daglio, L., Neri, R. *Buildings for Education*. Springer International Publishing, pp. 175–184.
- DI GIUDA, G. M., GIANA, P. E., SCHIEVANO, M., & PALEARI, F. (2020). "Guidelines to Integrate BIM for Asset and Facility Management of a Public University" en Daniotti, B., Gianinetto, M., Della Torre, S. *Digital Transformation of the Design, Construction and Management Processes of the Built Environment*. Springer International Publishing, pp. 309–318.
- EVANGELISTI, L., BATTISTA, G., GUATTARI, C., BASILICATA, C., & VOLLARO, R. de L. (2014). "Analysis of two models for evaluating the energy performance of different buildings" en *Sustainability (Switzerland)* , 6(8), pp. 5311–5321.
- HABIBI, S. (2017). "The promise of BIM for improving building performance" en *Energy and Buildings*, 153, pp. 525–548.
- ILTER, D., & ERGEN, E. (2015). "BIM for building refurbishment and maintenance: current status and research directions" en *Structural Survey*, 33(3), pp. 228–256.
- LU, Q., XIE, X., HEATON, J., PARLIKAD, A. K., & SCHOOLING, J. (2020). "From BIM Towards Digital Twin: Strategy and Future Development for Smart Asset Management" En *Service Oriented, Holonic and Multi-agent Manufacturing Systems for Industry of the Future - Proceedings of SOHOMA 2019*. Springer Nature. pp. 392–404.
- MUNIR, M., KIVINIEMI, A., JONES, S., & FINNEGAN, S. (2020). "BIM-based operational information requirements for asset owners" en *Architectural Engineering and Design Management*, 16(2), pp. 100–114.
- NIELSEN, A. N., JENSEN, R. L., LARSEN, T. S., & NISSEN, S. B. (2016). "Early stage decision support for sustainable building renovation - A review" en *Building and Environment*, 103, pp. 165–181.
- PÄRN, E. A., EDWARDS, D. J., & SING, M. C. P. (2017). "The building information modelling trajectory in facilities management: A review" en *Automation in Construction*, 75, pp. 45–55.
- RAVETZ, J. (2008). "State of the stock-What do we know about existing buildings and their future prospects?" en *Energy Policy*, 36(12), pp. 4462–4470.
- ROBERTS, C. J., EDWARDS, D. J., HOSSEINI, M. R., MATEO-GARCIA, M., & OWUSU-MANU, D.-G. (2019). "Post-occupancy evaluation: a review of literature" en *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(9), pp. 2084–2106.
- SANHUDO, L., RAMOS, N. M. M., POÇAS MARTINS, J., ALMEIDA, R. M. S. F., BARREIRA, E., SIMÕES, M. L., & CARDOSO, V. (2018). "Building information modeling for energy retrofitting – A review" en *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89(March), pp. 249–260.
- STRUG, B., & ŚLUSARCZYK, G. (2017). "Reasoning about accessibility for disabled using building graph models based on BIM/IFC" en *Visualization in Engineering*, 5(1).
- VOLK, R., STENGEL, J., & SCHULTMANN, F. (2014). "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings - Literature review and future needs" en *Automation in Construction*, 38, pp. 109–127.

## HERRAMIENTA DE INTERCAMBIO DE DATOS ENTRE SOFTWARE DE MODELADO BIM Y SOFTWARE DE SIMULACIÓN ENERGÉTICA

**Chorro-Domínguez, Francisco Javier<sup>a</sup>; García-Dópido, Inmaculada<sup>a</sup>; Marín-Miranda, María José<sup>a</sup>; Martín-Castizo, Manuel<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>Instituto tecnológico de rocas ornamentales y materiales de construcción (Intromac)-Departamento de tecnologías y construcción sostenible, Cáceres (España), fjchorro@unex.es

---

### Abstract

*Currently, there are several energy simulation programs that have been officially recognized by Spanish government. In order to test the energy demand, it would be necessary to know in detail the geometric and building information of the project.*

*On the other hand, the global standard used in Building Information Modeling (BIM) is Industry Foundation Classes (IFC). Indeed, it has been designed for data exchange in the building field. But during process, the official programs are not able to completely understand non-geometric information, losing data during the exchange.*

*Consequently, this work provides a complementary tool for the energy simulation programs which include the non-geometric information. Autodesk Revit is has been used as a BIM modelling program. The developed tool provides a set of Python classification algorithms associated with the layers of the envelope building and its orientation. This information is obtained from the physical and thermal data of the materials in the BIM model and is composed by the necessary information for the officially energy simulation programs.*

*The proposed system provides the transmittance results for each element according to established techniques in the official Spanish regulations. This data set is reported in the program's interface and in the external report.*

**Keywords:** BIM, energy efficiency, CTE, Python, Revit.

---

### Resumen

*En la actualidad existen diversos programas de simulación energética reconocidos oficialmente que precisan información geométrica y constructiva para el estudio de la demanda energética.*

*El sistema de intercambio de datos a los programas de simulación energética desde un software de modelado Building Information Modeling (BIM) se realiza comúnmente a través del estándar más utilizado Industry Foundation Classes (IFC). Este proceso presenta problemas en la integración de la información no geométrica perdiéndose datos durante el intercambio.*

*Este trabajo proporciona una herramienta complementaria de intercambio de información no geométrica para los programas de simulación energética vigentes. A partir de los datos físicos y térmicos de los materiales del modelo BIM se realiza una clasificación mediante Python asociada a cada una de las capas de la envolvente y a su orientación. Esta herramienta extrae la información necesaria para los programas oficiales de simulación energética y se realiza dentro del propio programa de modelado BIM, en este caso Autodesk Revit. El complemento realiza los cálculos de la transmitancia de cada uno de los elementos según los métodos establecidos en la normativa existente, ofreciendo la salida de datos tanto en la propia interfaz del programa como en una hoja de datos externa.*

**Palabras clave:** BIM, demanda energética, normativa, CTE, Python, Revit.

---

## Introducción

En los últimos años, la irrupción de nuevas tecnologías ha supuesto un desarrollo importante en la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC). El concepto de “Building Information Modeling” (BIM) ha sido una revolución para el diseño y la gestión de proyectos de arquitectura, al permitir el trabajo colaborativo entre los distintos agentes que intervienen en el proceso constructivo, así como la integración en un modelo tridimensional no sólo de información geométrica (3D), sino de información relacionada con tiempos (4D), costes (5D), sostenibilidad (6D) y mantenimiento (7D) (Bryde, Broquetas, & Volm, 2013).

Para integrar esta información adicional en un modelo geométrico, los principales softwares de modelado BIM disponen de complementos. En el caso del análisis energético de los edificios (6D), las herramientas Green Building Studio de la casa Autodesk para el programa Revit, o VIP-CORE de ArchiCad permiten realizar simulaciones energéticas.

Estas herramientas de análisis energético no han sido reconocidas oficialmente como métodos de cálculo para la certificación energética de edificios en España, al no adaptarse a los requisitos y procedimientos de cálculo que establece el Código Técnico de la Edificación. Actualmente, para realizar una simulación energética en base a la legislación vigente existen diferentes programas reconocidos (Gobierno de España, Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2020) entre los que se encuentran CE3X, la herramienta unificada Lider-Calener (HULC), Cypetherm HE Plus y SG Save.

La integración de la eficiencia energética dentro de la metodología BIM adaptada a la normativa estatal, supone la necesidad de intercambio de información entre los programas de modelado y los reconocidos de manera oficial para la simulación energética de los edificios. El estándar para el intercambio de información entre distintas plataformas BIM se realiza a través del formato IFC “Industry Foundation Classes” (Alcides Jacoski & Machado Hoffmeister, 2018), que permite la inclusión de información geométrica y no geométrica con el fin de proporcionar coordinación entre los modelos de construcción y reutilización de datos para análisis y simulaciones (Thein, 2011).

No obstante, la transferencia de datos utilizando este estándar supone, en muchas ocasiones, pérdidas de información que dificultan la adecuada interoperabilidad entre los programas, debido a la incompatibilidad con este formato o a la pérdida de información durante el intercambio, suponiendo un incremento del tiempo de ejecución de los proyectos (Costa, Margalef, & Valderrama, 2015).

Esta investigación, basándose en los problemas actuales de interoperabilidad entre las distintas plataformas de modelado BIM y los software de simulación energética y, con el fin de solventar las pérdidas de información producidas durante el proceso de intercambio de datos, desarrolla un complemento integrado en el entorno de Autodesk Revit, por ser uno de los software de modelado BIM más implantados en el mercado (G. Gómez Muñoz, 2017), que extrae los parámetros necesarios del modelo para facilitar su introducción en los programas de simulación energética reconocidos.

## 1. Metodología

La metodología desarrollada permite extraer del modelo BIM los parámetros necesarios para la realización de la simulación energética con los programas oficialmente reconocidos, facilitando el intercambio de información entre el software de modelado Autodesk Revit y estos programas, permitiendo coordinar la información entre las distintas herramientas para evitar errores y duplicidades.

Mediante el uso de herramientas de programación se obtienen, de forma automática y ordenada, tanto los datos generales y arquitectónicos como los parámetros constructivos de la envolvente térmica del edificio del modelo BIM, ofreciendo un método simplificado para la introducción de estos datos en las herramientas de certificación energética.

### 1.1. Datos requeridos por los softwares oficialmente reconocidos

Los programas de simulación energética determinan la demanda del edificio objeto de estudio y lo califican respecto a unos valores límite establecidos en el Documento Básico HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación.

Para el cálculo de la demanda tal y como se establece en la normativa, se precisan una serie de parámetros para la definición constructiva de los elementos de la envolvente térmica. En el caso de los cerramientos opacos es necesario conocer la densidad ( $\rho$ ) y el calor específico ( $C_p$ ), así como los valores de espesor ( $e$ ) y conductividad térmica ( $\lambda$ ) de cada una de las capas que lo componen para obtener los valores de resistencia térmica ( $R$ ) y transmitancia ( $U$ ). Para la parte semitransparente, se requieren los parámetros de transmitancia del acristalamiento ( $U_{H,v}$ ) y del marco ( $U_{H,m}$ ), factor solar del acristalamiento ( $g_{\pm}$ ), absorptividad del marco ( $\alpha$ ), corrector del factor solar, corrector de la transmitancia para elementos de protección y permeabilidad al aire de las carpinterías.

La comparación de la demanda calculada con la demanda límite del edificio de referencia requiere de una serie de datos generales y funcionales tales como tipo de obra, ubicación y tipo de edificio, así como los parámetros geométricos de forma, dimensiones y orientación para los cerramientos opacos y, en el caso de los huecos, además de lo anterior, retranqueos, voladizos, salientes laterales y elementos de control solar.

En la tabla 1 se indican los principales parámetros requeridos por los softwares reconocidos oficialmente de mayor difusión -CE3X, HULC, Cypetherm y SG Save-, donde se aprecian las principales diferencias en la entrada de datos entre el procedimiento simplificado de CE3X frente al resto de programas que incluyen un modelado de la geometría.

Tabla 1. Listado de parámetros necesarios a utilizar en herramientas oficiales de cálculo energético. Fuente: Elaboración propia (2020)

Parámetros (datos generales y edificio)	CE3X	HULC	Cypetherm	SG Save	Parámetros (elementos constructivos)	CE3X	HULC	Cypetherm	SG Save
Tipo de obra					Superficie (fachadas, tabiquería, suelos, forjados entre pisos, cubiertas)				
Uso del edificio					Orientación (fachadas, huecos)				
Situación del edificio					Espesor (fachadas, tabiquería, suelos, forjados entre pisos, cubiertas)				
Altitud/Latitud/Longitud					Densidad (fachadas, tabiquería, suelos, forjado entre pisos, cubiertas)				
Orientación del edificio					Calor específico (fachadas, tabiquería, suelos con contacto con el terreno, forjados entre pisos, cubiertas)				
Superficie útil habitable					Transmitancia térmica (fachadas, tabiquería, suelos, forjado entre pisos, cubiertas, huecos)				
Altura libre de planta					Masa/m <sup>2</sup> (fachadas, suelos con contacto con el aire exterior, forjados entre pisos, cubiertas)				
Número de plantas habitables					Coefficiente de absorción (huecos)				

### 1.2. Extracción de datos para el estudio energético de modelos BIM

A partir del análisis de los datos de entrada descritos en la tabla 1, se determinan los parámetros que se han de extraer del software de modelado BIM, clasificándolos en datos generales, parámetros para la definición del edificio y parámetros relacionados con los elementos constructivos.

Para la extracción de estos datos es preciso establecer procedimientos específicos en función de la disponibilidad de éstos dentro del modelo, teniendo en cuenta que algunos están disponibles de forma directa en el software, otros han de ser procesados para su obtención e incluso existen parámetros que no están contemplados de forma nativa. Además, con el fin de unificar los datos de salida del modelo BIM con las entradas en los programas de simulación energética se determinan las unidades asociadas a cada uno de esos parámetros (tabla 2).

Tabla 2. Listado de parámetros de la nueva herramienta de intercambio. Fuente: Elaboración propia (2020)

Parámetros	Unidades	Programa
<b>Datos Generales</b>		
Tipo de obra	-	CYPE/SG SAVE
Uso del edificio	-	CE3X/HULC/CYPE/SG SAVE
Comunidad Autónoma/Provincia/Municipio	-	CE3X/HULC/CYPE/SG SAVE
Altitud/Latitud/Longitud	m/º/º	CYPE
<b>Definición de edificio</b>		
Orientación del edificio	N,S,E,W,NW,NE,SW,SE	HULC/CYPE
Superficie útil habitable	m <sup>2</sup>	CE3X
Altura libre de planta	m	CE3X/SG SAVE
Número de plantas habitables	-	CE3X
<b>Elementos Constructivos</b>		
<b>Fachadas/Suelos/Cubiertas</b>		
Superficie	m <sup>2</sup>	CE3X/HULC/SG SAVE
Orientación	N,S,E,W,NW,NE,SW,SE	CE3X/HULC/CYPE/SG SAVE
Espesor	cm	HULC/CYPE/SG SAVE
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	HULC/CYPE/SG SAVE
Conductividad térmica	W/m·k	CE3X/HULC/CYPE/SG SAVE
Calor específico	J/kg·°C	HULC/CYPE/SG SAVE
Transmitancia térmica	W/(m <sup>2</sup> ·K)	CE3X/HULC/CYPE/SG SAVE
Masa/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	CE3X/HULC/SG SAVE
Coefficiente de absorción	-	HULC/CYPE/SG SAVE

El acceso a estos datos hace necesario el uso de herramientas adicionales integrables en el programa de modelado. En el caso de Revit, el complemento Dynamo permite interactuar con el software añadiendo funcionalidades adicionales a las establecidas por defecto, no obstante, sigue sin permitir el acceso y la operación con numerosos valores, necesarios en los programas reconocidos para la certificación energética.

El lenguaje de programación Python, caracterizado por ser un lenguaje de código abierto orientado a objetos, siendo utilizado principalmente en aplicaciones de Big Data e inteligencia artificial, puede integrarse en Autodesk Revit mediante la herramienta Dynamo, lo que ha permitido el desarrollo de un complemento para extraer tanto los datos generales y de definición del edificio, como los datos constructivos de los distintos elementos que conforman la envolvente térmica.

### 1.2.1. Datos generales y definición del edificio

Los datos generales y de definición del edificio son parámetros que el usuario introduce al comienzo del proyecto no siendo precisa la misma información para todos los programas de certificación energética, como puede observarse en la tabla 2. La herramienta desarrollada clasifica toda la información demandada a partir de los datos introducidos en el propio modelo, permitiendo una consulta unificada sin necesidad de

realización de consultas externas. Para ello, se ha desarrollado un algoritmo que, a partir de los datos introducidos por el usuario en una tabla de planificación creada para este fin, incluye el contenido de dicha tabla en los datos generales asociados al proyecto dentro de la estructura establecida por Autodesk Revit. Este proceso queda indicado de forma esquemática en la tabla 3.

Tabla 3. Pseudocódigo de la estructura desarrollada para los datos generales. Fuente: Elaboración propia (2020)

```

1. Entradas: Datos_Generales (1...n)].
2. Lectura de datos de entrada:
datos_Generales.GetTabData[1...n], PT.GetSectionData[1...n]
3. Asociación a la estructura interna del
programa(GeneralInformation):
Collector =
FilteredElementCollector(doc).GeneralInformation[1...n]
4. Asociación de nuevos parámetros a la estructura interna [1...n]:
for i in range (0,n):
collector[i]=datos_generales [i]
5. Salida: collector.nombredelproyecto, collector.orientacion,
collector.dirección, collector.fecha, collector.tipodeobra ...
    
```

Al mismo tiempo, la herramienta exporta esta información a una hoja de cálculo, generándose de forma automática un documento con los datos de generales para su posterior utilización en otros procesos.

### 1.2.2. Datos constructivos

El modelo de un edificio en metodología BIM permite incluir toda la información constructiva de los elementos que lo componen, comprendiendo tanto la información geométrica como la asociada a los materiales empleados. No obstante, el acceso a los parámetros asociados a estos elementos (tabla 2) para su traslado a los programas de eficiencia energética, resulta un proceso largo y tedioso.

Para obtener estos datos es preciso, a partir de la selección del elemento constructivo, acceder a las propiedades de tipo, a continuación, a la estructura interna para, posteriormente, analizar cada una de las capas disponibles (figura 1). Este proceso debe repetirse con cada uno de los elementos del modelo para poder completar la información requerida por los programas de eficiencia energética.

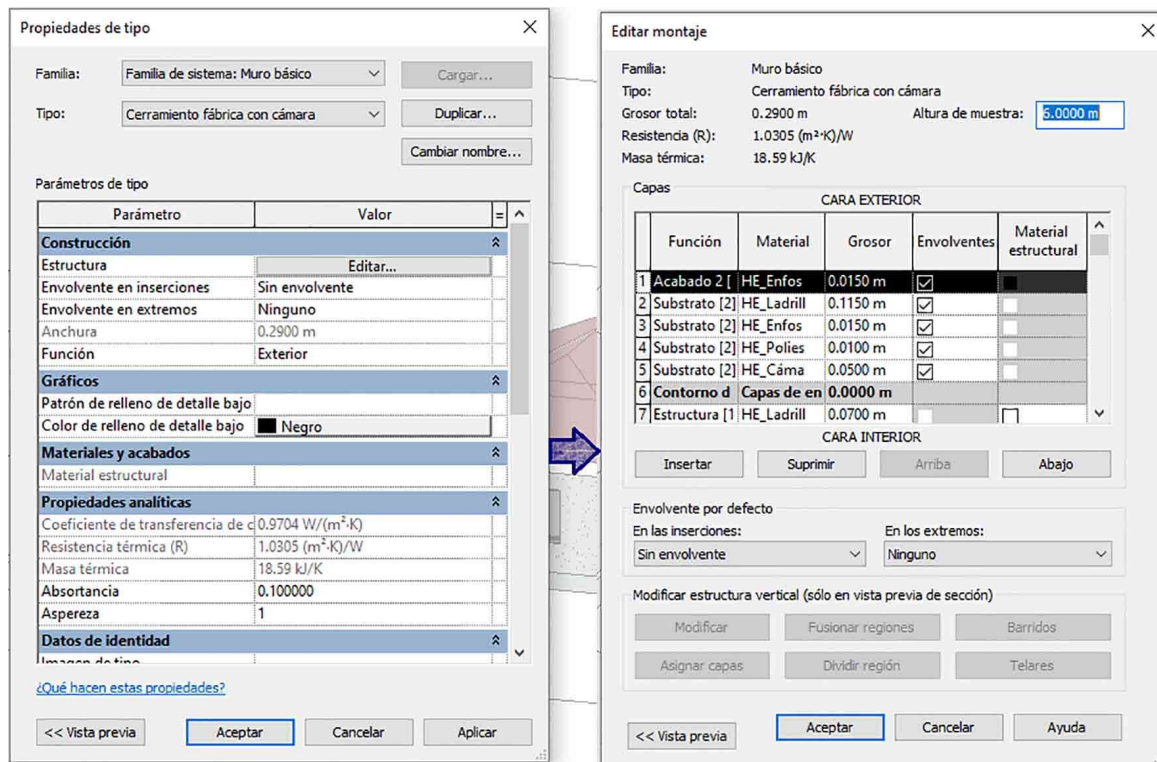


Fig. 1 Acceso a las capas del modelo. Fuente: Propia (2020)

Para simplificar este proceso, la herramienta propuesta desarrolla un sistema automatizado que realiza estas operaciones con un tiempo óptimo de ejecución y una salida organizada de los datos.

Con el fin de proporcionar una explicación organizada de las pautas llevadas a cabo en el algoritmo desarrollado se muestran todos los pasos y estructuras en el pseudocódigo de la tabla 4. Los tiempos de ejecución también han sido incluidos en la herramienta con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de la misma.

Tabla 4. Pseudocódigo de la estructura desarrollada para datos constructivos. Fuente: Elaboración propia (2020)

---

```

1. Entradas: Autodesk Revit Parámetro Tipo (PT [1...n]),
   Autodesk Revit Parámetro Función (PF [1...n]).
2. Lectura de datos de entrada: PT.GetSectionData[1...n],
   PT.GetSectionData[1...n]
3. Asociación a propiedades de tipo:
   LY = PT.GetCompoundStructure[1...n]
4. Asociación de materiales de capa(LY) dentro de cada uno de
   los datos de entrada [1...n]:
   for j in range (0,len(PT)):
     for i in range (0,len(LY)):
       capas=j.capas[i],
       conductividad= j.conductividad[i],
       densidad = j.densidad[i]
       calorespecifico = j.calorespecifico[i]
       anchura = j.anchura[i]
       masa =  $\sum_{i=0}^{len(LY)}$  densidad[i] * anchura[i]
5. Salida: PT [1...n].masa, PT [1...n].conductividad[1... LY], PT
   [1...n].densidad[1... LY], PT [1...n].calorespecifico[1... LY], PT
   [1...n].anchura[1... LY]

```

---

Estos algoritmos específicos han sido programados en lenguaje Python, integrándose en Revit mediante la herramienta Dynamo.

## 2. Resultados experimentales

### 2.1. Requisitos del sistema

Para la realización de las pruebas experimentales y, con el fin de evaluar el sistema desarrollado, se ha utilizado un entorno hardware compuesto por un procesador AMD Ryzen 3 2200G con Radeon Vega Graphics 3.50 GHz y 8.00 GB de memoria RAM.

Para el desarrollo se han utilizado las versiones 2019 y 2020 de Autodesk Revit como programa de modelado. Los algoritmos han sido desarrollados en el lenguaje de programación Python en la plataforma de desarrollo Dynamo, en su versión 2.0.3, siendo compatible con todas las posteriores a esta.

### 2.2. Modelo caso de estudio

El edificio objeto es una vivienda unifamiliar de una planta de altura compuesta por dos núcleos principales, contando con cerramientos de fábrica de ladrillo, aislamiento, cámara de aire y hoja interior cerámica, con revestimiento exterior de mortero de cemento e interior de yeso. Los suelos están compuestos por una solera de hormigón sobre encachado de grava, aislamiento, cama de arena, pasta de agarre y pavimento cerámico. Cuenta con cubiertas planas invertidas sobre losa de hormigón y revestimiento cerámico. En el caso de las carpinterías, se han dispuesto aperturas correderas y abatibles, con marcos de aluminio y vidrios con cámara (figuras 2 y 3).

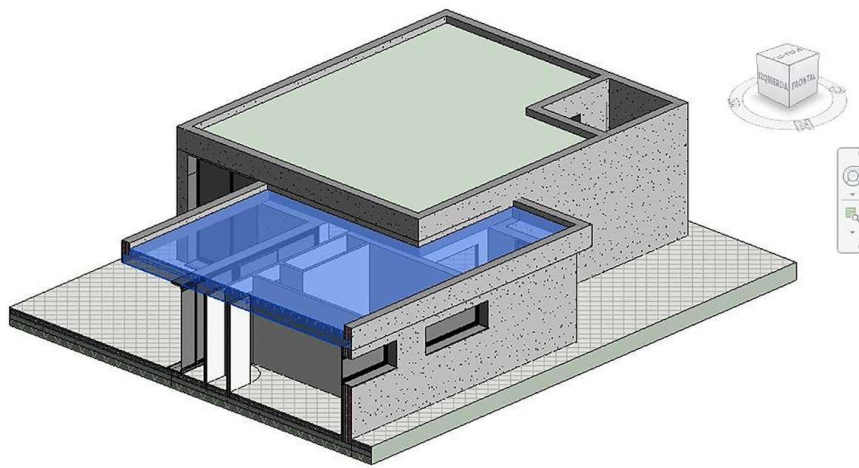
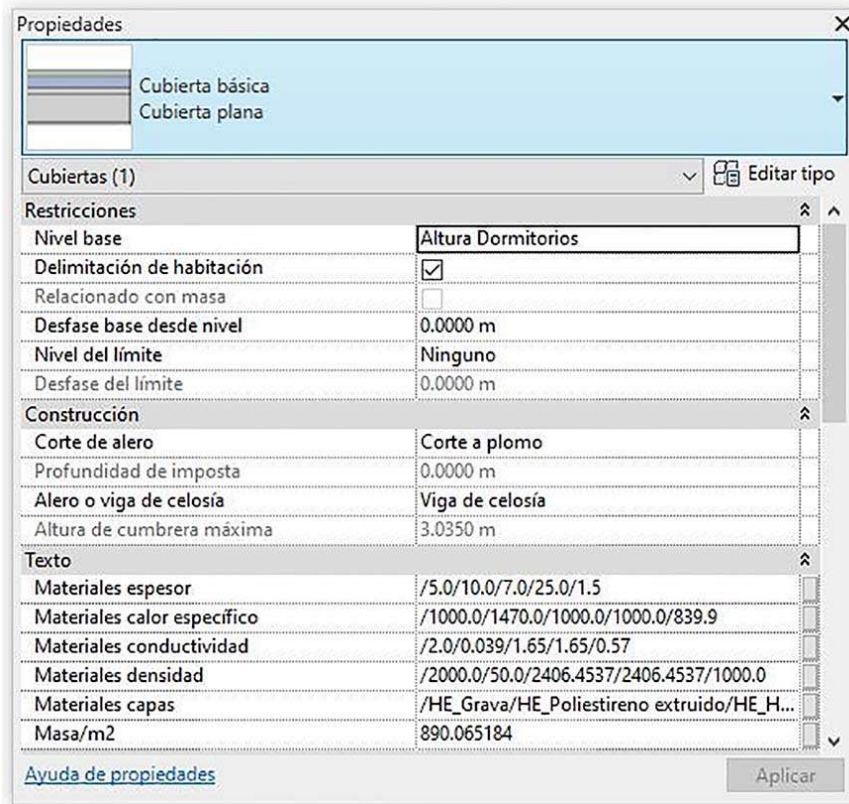


Fig. 2 y 3. Modelo BIM. Fuente: Propia (2020)

Para definir los sistemas constructivos de la envolvente del edificio se han aplicado a los materiales empleados los parámetros físicos y térmicos recogidos en el catálogo de elementos constructivos del CTE, publicados por el ministerio de vivienda y redactado por el Instituto Eduardo Torroja, de forma que los valores sean equivalentes a los empleados por los programas reconocidos para determinación de la demanda energética de los edificios, para lo cual se ha creado un biblioteca de materiales con dichos parámetros (figura 4).



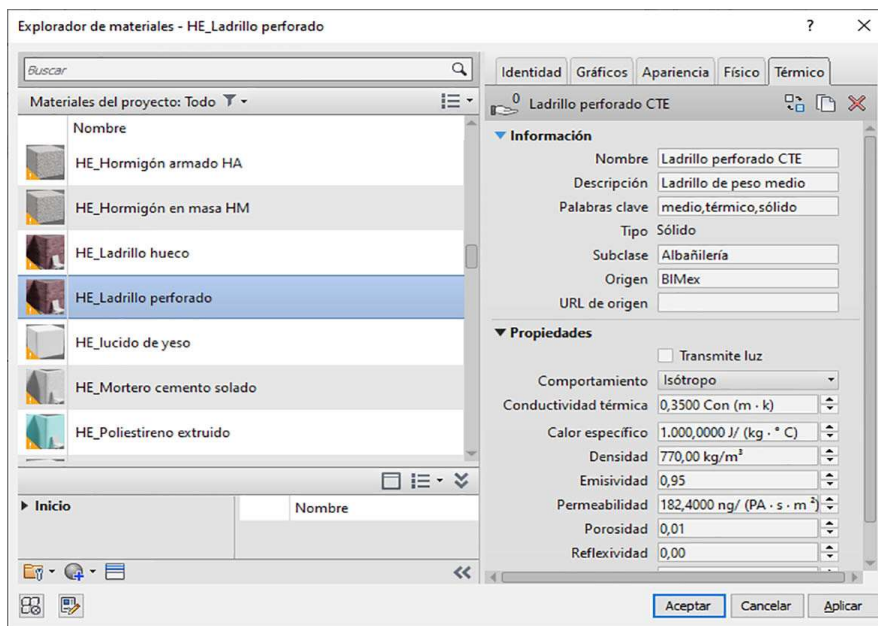


Fig. 4. Biblioteca materiales adaptada CTE. Fuente: Propia (2020)

Los métodos de cálculo de las transmitancias de cada elemento se han adaptado igualmente a los recogidos en la normativa, desarrollando algoritmos específicos que siguen los procedimientos oficiales, aplicando los valores de resistencia térmica superficial ( $R_{se}$  y  $R_{si}$ ), que no son tenidos en cuenta de forma nativa por el software Revit.

De esta manera, obtenemos un modelo BIM con toda la información tanto general como constructiva, necesaria para la realización de los cálculos de demanda energética de acuerdo con la normativa.

### 2.3. Resultados y análisis

A partir de este modelo BIM, que cuenta tanto con los parámetros generales, como con los constructivos adaptados a la normativa de eficiencia energética, es posible obtener toda la información necesaria para su exportación a programas reconocidos para la calificación energética de edificios.

Estos datos son mostrados dentro del propio software Revit mediante tablas de planificación creadas para tal fin, clasificadas en datos generales y constructivas según su función: muros, cubiertas y suelos.

En la figura 5 se observa la tabla de salida de dato de cubiertas, incluyendo información tanto del elemento como de cada una de las capas que lo componen.

Modelo comprobación.rvt - Tabla de planificación: Datos cubiertas							
<Datos cubiertas>							
A	B	H	I	J	K	L	M
Familia y tipo	Espesor	Coefficiente de tran	Cámara de aire	Aislamiento	Área	Resistencia térmica (R)	Masa/m2
Cubierta básica: Cubierta plana	0.49 m	0.3560 W/(m²·K)	No	No	120 m²	2.8094 (m²·K)/W	890.065184
Cubierta básica: Cubierta plana salón	0.45 m	0.5606 W/(m²·K)	No	No	82 m²	1.7837 (m²·K)/W	888.065184

Modelo comprobación.rvt - Tabla de planificación: Datos cubiertas						
<Datos cubiertas>						
A	B	C	D	E	F	G
Familia y tipo	Espesor	Materiales espesor	Materiales calor es	Materiales capas	Materiales conducti	Materiales densida
Cubierta básica: Cubierta plana	0.49 m	/5.0/10.0/7.0/25.0/1	/1000.0/1470.0/100	/HE_Grava/HE_Poli	/2.0/0.039/1.65/1.6	/2000.0/50.0/2406.
Cubierta básica: Cubierta plana salón	0.45 m	/5.0/6.0/7.0/25.0/1	/1000.0/1470.0/100	/HE_Grava/HE_Poli	/2.0/0.039/1.65/1.6	/2000.0/50.0/2406.

Fig. 5 Resultados obtenidos para cubiertas. Fuente: Propia (2020)

Adicionalmente, con el objeto de facilitar el flujo de trabajo entre el software de modelado y los de certificación, se genera de forma automática una hoja de cálculo que permite acceder a todos los datos asociados a los elementos (figura 6).

	A	B	C	D	E
	Material	Anchura (cm)	Densidad (kg/m3)	Conductividad Con (m*k)	Calor Especifico (J/kg*°C)
2	HE_Grava	5	2000	2	1000
3	HE_Poliestireno extruido	10	50	0,039	1470
4	HE_Hormigón en masa HM	7	2406,4537	1,65	1000
5	HE_Hormigón armado HA	25	2406,4537	1,65	1000
6	HE_lucido de yeso	1,5	1000	0,57	839,9
7					
8					
9					
10					
11					

Fig. 6 Parámetros de cubiertas en hoja de cálculo. Fuente: Elaboración propia (2020)

Por otro lado, se ha controlado el tiempo de ejecución de la nueva herramienta. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**5 se reportan los tiempos de ejecución en segundos. Los resultados se muestran para las capas de suelo, cubiertas y muros, obteniéndose en todos los casos tiempos inferiores al segundo.

Tabla 5. Tiempo de ejecución de la herramienta desarrollada. Fuente: Elaboración propia (2020)

Capas suelo	Capas cubiertas	Capas muros
0.333 s	0.261 s	0.527 s

### 3. Conclusiones y líneas futuras

En este trabajo se ha desarrollado una nueva herramienta integrable en Autodesk Revit que facilita la extracción de los datos de la envolvente térmica de un modelo BIM para su integración en los diferentes softwares oficiales de certificación energética. Para ello, se han utilizado una serie de algoritmos programados en Python, los cuales ofrecen la posibilidad de extraer esta información.

En este contexto, es importante remarcar que el proceso ofrece un tiempo de ejecución óptimo expresando los datos tanto dentro del sistema de modelado como de forma externa. Esta herramienta tiene la ventaja de extraer toda la información adaptada al Código Técnico de la Edificación de forma automática y visual, sin necesidad de acceder a ningún sub-apartado del programa evitando los errores que puedan ser cometidos durante el proceso.

Como líneas futuras, se dispone de la posibilidad de subdividir la herramienta en base al programa de certificación seleccionado por el usuario, de modo que los valores de salida se adapten específicamente a los datos de entrada solicitados, así como la integración de los algoritmos en un complemento cargable en el software de modelado, al cual pueda accederse a través de un repositorio virtual. Este planteamiento ofrecería un sistema más limpio y concreto para la necesidad real del sistema creado.

### Agradecimientos

Este trabajo ha sido cofinanciado por el fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) y por la Junta de Extremadura en el marco del proyecto VI Plan Regional del Investigación concedido al Instituto Tecnológico de Rocas Ornamentales y Materiales de Construcción (Intromac) a través del proyecto BIMEx "Herramientas para el desarrollo y mantenimiento de construcciones con metodología BIM en Extremadura con referencia IB 18094.

## Referencias

ALCIDES JACOSKI, C., & Machado Hoffmeister, L. (2018). "Potential use of bim for automated updating" en Brazilian Journal of Operations & Production Management, 35-43.

BRYDE, D., BROQUETAS, M., & VOLM, J. (2013). "The project benefits of bulding information modelling (BIM)" en International journal of project management, 971-980.

COSTA, G., MARGALEF, A., & VALDERRAMA, J. (2015). "Mejoras para la automatización de procesos en la importación de modelos en IFC" en Spanish Journal of Bulding Information Modeling, 10-18.

GOBIERNO DE ESPAÑA. (2020). Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. <<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>> [Consulta: 3 de febrero de 2020]

THEIN, V. (2011). "Industry foundation classes (IFC). BIM interoperability through a vendor-independent file format" en Bentley Sustaining Infrastructure, USA.

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE SIMULACIONES ENERGÉTICAS REALIZADAS EN BIM CON ENERGYPLUS

**Bienvenido-Huertas, José David<sup>a</sup>; Pérez-Ordóñez, Juan Luis<sup>b</sup>; Seara-Paz, Sindy<sup>c</sup>**

<sup>a</sup>Departamento de Expresión Gráfica e Ingeniería en la Edificación, Universidad de Sevilla, España, jbienvenido@us.es, <sup>b</sup>Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de la Coruña, España, jlperez@udc.es,

<sup>c</sup>Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de la Coruña, España, gumersinda.spaz@udc.es

---

### Abstract

*The building energy analysis is essential to reduce their energy consumption. In this sense, projects developed with BIM methodologies should have adequate tools to assess the energy efficiency of the designed building. Currently, some BIM softwares include energy assessment tools, such as ArchiCAD with the EcoDesigner tool. However, there is not enough analysis about the representation of the obtained results with this tool. For this reason, this research analyzes the deviation between the energy simulations performed with ArchiCAD with those performed in one of the most advanced energy modelling engines: EnergyPlus. To do this, a case study modeled on both ArchiCAD and DesignBuilder (EnergyPlus graphic interface) was used. The results reflected the deviation between the energy analysis of ArchiCAD and of EnergyPlus.*

**Keywords:** energy simulation, BIM, ArchiCAD, EnergyPlus.

---

### Resumen

El análisis energético de los edificios es fundamental para reducir el consumo energético de los mismos. En este sentido, los proyectos desarrollados con metodologías BIM deben de disponer de herramientas adecuadas para evaluar el rendimiento energético del edificio diseñado. En la actualidad, algunas plataformas BIM incluyen herramientas de evaluación energética, tales como ArchiCAD con la herramienta EcoDesigner. Sin embargo, no se dispone de un análisis suficiente acerca de la representatividad de los resultados obtenidos con esta herramienta. Por este motivo, esta investigación analiza el grado de desviación existente entre las simulaciones energéticas realizadas con ArchiCAD con las realizadas en uno de los motores de cálculo energético más avanzados: EnergyPlus. Para ello, se dispuso de un caso de estudio modelado tanto en ArchiCAD como en DesignBuilder (interfaz gráfica de EnergyPlus). Los resultados reflejaron la desviación existente entre el análisis energética de ArchiCAD y el de EnergyPlus.

**Palabras clave:** simulación energética, BIM, ArchiCAD, EnergyPlus.

---

## Introducción

La degradación ambiental del planeta está provocando que las condiciones de habitabilidad sean cada vez más extremas y las expectativas de mejora ambiental están lejos de alcanzarse. En este sentido, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (en inglés, IPCC) ha reflejado en numerosos estudios las posibles combinaciones de escenarios futuros a lo largo del siglo XXI y sus consecuencias para la vida en el planeta (IPCC, 2007). Esta situación es debida a las elevadas emisiones de gases de efecto invernadero. Dentro de los principales factores que desencadenan estas emisiones, el elevado consumo energético proveniente de fuentes no renovables es uno de los más importantes. El rápido crecimiento económico en países en vías de desarrollo y la progresiva mejora de la calidad de vida en los países desarrollados están generando cada vez un mayor consumo energético (Allouhi et al., 2015). Este acelerado crecimiento en el consumo energético se ha visto reflejado en numerosos sectores entre los que se incluye la edificación. Esto es debido al mal rendimiento energético que presenta la mayor parte de edificios existentes (Lowe, 2007; Park & Kim, 2017). En este sentido, en el caso de la Unión Europea, los edificios fueron responsables del 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y del 40% del consumo total de la energía en el continente (Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential, 2006; European Environment Agency, 2018). Ante esta circunstancia, la Unión Europea ha establecido reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 90% para el año 2050 y, para ello, será necesario garantizar que los edificios tengan la categoría de edificios de consumo energético casi nulo.

En este punto, los proyectos de edificios nuevos deben ser abordados para poder garantizar su óptimo rendimiento energético. Para ello, la metodología BIM podría integrar un análisis energético adecuado (Garrido-Iglesias et al., 2019). En este sentido, softwares de BIM, como ArchiCAD, incluyen herramientas de análisis energético que permitan integrar la evaluación del rendimiento energético del edificio proyectado en las diferentes etapas de evolución del mismo en la fase de proyecto. Sin embargo, a pesar de este potencial, no se dispone de un conocimiento exacto de la fiabilidad de estas simulaciones, mientras que, con otras herramientas o motores energético, como EnergyPlus, si se dispone de un mayor conocimiento. Debido a las limitaciones que suelen existir en las opciones de exportación del modelo del edificio a estas otras herramientas, resulta necesario conocer con exactitud la fiabilidad de las simulaciones energéticas obtenidas en ArchiCAD.

### 1. Objetivo

El objetivo de la presente comunicación es el análisis comparativo entre las simulaciones energéticas realizadas en las plataformas BIM con respecto a otras herramientas de análisis energético de mayor reconocimiento a nivel profesional y científico. Para ello, se comparó las desviaciones existentes entre las simulaciones energéticas realizadas con ArchiCAD (a través del motor de cálculo energético VIP de Strusoft) con las realizadas en uno de los motores de cálculo energético más avanzados: EnergyPlus.

### 2. Metodología

#### 2.1. Caso de estudio

Tal y como se ha comentado anteriormente, en este estudio se pretendía analizar las variaciones en la demanda energética obtenida a través de la herramienta de análisis energético de ArchiCAD y EnergyPlus. Para ello, se utilizó un proyecto de vivienda unifamiliar (véase Figuras 1 y 2). Esta tipología de caso de estudio está inspirada en otras investigaciones existentes en la materia (Rodrigues et al., 2019; Rossi & Rocco, 2014). Las características constructivas de los elementos de la envolvente del edificio vienen incluidas en la Tabla 1. El acristalamiento de las ventanas es doble con una transmitancia térmica de  $2,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  y el marco es metálico con rotura de puente térmico y un valor de transmitancia térmica de  $2,42 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . La puerta de la entrada es de madera y tiene un valor de transmitancia térmica de  $3,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .



Fig. 1. Plantas del caso de estudio analizado. Fuente: Elaboración propia (2020).



Fig. 2. Perspectiva tridimensional del caso de estudio analizado. Fuente: Elaboración propia (2020).

Tabla 1. Propiedades termofísicas de la fachada y de la cubierta. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Capas	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/(mK))	Capacidad de calor (J/(kgK))	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )
Fachada	Revestimiento	0,01	0,57	1000	1300
	Ladrillo perforado	0,12	0,70	1000	900
	Aislamiento EPS	0,05	0,039	840	40
	Ladrillo hueco	0,07	0,80	1000	700
	Enlucido	0,01	0,57	1000	1300
Cubiertas	Grava	0,03	1,40	1900	2200
	Membrana – Aislamiento lluvia	0,01	0,17	900	1390
	Aislamiento EPS	0,12	0,039	840	40
	Membrana – Barrera de vapor	0,01	0,50	1800	980
	Hormigón armado	0,20	2,50	1000	2500
	Enlucido	0,02	0,57	1000	1300

Con respecto al perfil de cargas se utilizó el perfil residencial definido en el CTE (versión del año 2013) para simulaciones energéticas. En la Tabla 2 se presenta la contribución porcentual horaria de cada carga. La carga sensible en fines de semana correspondiente al 100% de ocupación era de 2.15 W/m<sup>2</sup> y la carga latente era de 1.36 W/m<sup>2</sup>. Durante la semana la carga sensible y latente de ocupación variaron desde el 100% en período nocturno hasta 0.54 W/m<sup>2</sup> y 0.34 W/m<sup>2</sup> (período de 8 a 15 horas) y hasta 1.08 W/m<sup>2</sup> y 0.68 W/m<sup>2</sup> (período de 16 a 23 horas), respectivamente. La carga de iluminación y de equipos fue variable a lo largo del día siendo el 100% (4.40 W/m<sup>2</sup>) de 20 a 23 horas (Royal Decree 314/2006. Approving the Spanish Technical Building Code, 2013). Con respecto a las temperaturas de consigna, también se utilizó el perfil de temperaturas de consigna estáticas definidos en el CTE (véase Tabla 3). Asimismo, los patrones de ventilación de la vivienda siguieron lo establecido en el perfil de simulación reglamentario: en el periodo de verano, se considera una ventilación natural entre la 1 y las 8 horas de 4 renovaciones horas, mientras que en el resto de los periodos de funcionamiento (calefacción y refrigeración) y en el resto de horas se considera el numero de renovaciones hora obtenidas por el documento de salubridad del CTE.

Tabla 2. Distribución horaria de las cargas en el caso de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Cargas (W/m <sup>2</sup> )		Horario de cargas						
		1:00-7:00	8:00	9:00-15:00	16:00-18:00	19:00	20:00-23:00	0:00
Carga sensible	Días laborables	2,15	0,54	0,54	1,08	1,08	1,08	2,15
	Fin de semana	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Carga latente	Días laborables	1,36	0,34	0,34	0,68	0,68	0,68	1,36
	Fin de semana	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Iluminación	Todos los días	0,44	1,32	1,32	1,32	2,20	4,40	2,20
Equipamiento	Todos los días	0,44	1,32	1,32	1,32	2,20	4,40	2,20

Tabla 3. Temperaturas de consigna utilizadas. Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Temperatura de consigna (°C)								
	Enero - mayo			Junio – septiembre			Octubre - diciembre		
	24-7	8-15	16-23	24-7	8-15	16-23	24-7	8-15	16-23
Refrigeración	-	-	-	27	-	25	27	-	25
Calefacción	17	20	20	-	-	-	17	20	20

## 2.2. Zonas climáticas analizadas

España es un país con una amplia variedad de zonas climáticas. Con el objetivo de establecer limitaciones de eficiencia energética entre las diferentes regiones, el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE) establece un procedimiento de clasificación de las diferentes regiones. Este método utiliza el concepto de severidad climática de verano (*SCV*) y de invierno (*SCI*):

$$SCV = 2.990 \cdot 10^{-3} \cdot DD_V - 1.1597 \cdot 10^{-7} \cdot DD_V^2 - 1.713 \cdot 10^{-1} \quad (1)$$

$$SCI = 3.546 \cdot 10^{-4} \cdot DD_I - 4.043 \cdot 10^{-1} \cdot \frac{n}{N} + 8.394 \cdot 10^{-8} \cdot DD_{WI}^2 - 7.325 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{n}{N}\right)^2 - 1.137 \cdot 10^{-1} \quad (2)$$

Donde  $DD_V$  [°C] es la suma de los grados-día de verano en base 20 para los meses que van desde junio a septiembre;  $\frac{n}{N}$  [adimensional] es el cociente entre el número de horas de sol y el número de horas de sol máxima, sumadas cada una de ellas por separado para los meses que van desde octubre a mayo; and  $DD_I$  [°C] es la suma de los grados-día de invierno en base 20 para los meses que van desde octubre a mayo.

La clasificación de cada región se realiza en función del valor de *SCV* y *SCI* obtenido. Para *SCV* se asigna un número entre 1 y 4, y para *SCI* se asigna una letra entre A and E, y (véase Tabla 4). La combinación de las dos clases determina el tipo de clima y las limitaciones de la ciudad en la que se encuentra el edificio. En el estudio se analizó el rendimiento del caso de estudio en dos ciudades con características climáticas

diferentes (véase Tabla 5): (i) la zona climática B4, en la que se ubica la ciudad de Sevilla; y (ii) la zona climática D3, en la que se ubica la ciudad de Madrid.

Para la realización de las simulaciones fue necesario obtener los archivos EnergyPlus weather (EPW) de las 2 ciudades seleccionadas. Esto se realizó a través del software METEONORM (METEONORM, 2019). METEONORM es un software constituido por 8325 estaciones meteorológicas y que permite generar archivos EPW en cualquier localización mediante interpolaciones entre las estaciones meteorológicas. El período de temperatura considerado para la generación de los EPW fue 2000-2009 y el periodo de radiación fue 1991-2010.

Tabla 4. Clasificación climática de SCV y SCI. Fuente: Elaboración propia.

Clasificación de <i>SCV</i>		Clasificación de <i>SCI</i>	
Clase	Valor	Clase	Valor
1	$SCV \leq 0,50$	A	$0 \leq SCI \leq 0,23$
2	$0,50 < SCV \leq 0,83$	B	$0,23 < SCI \leq 0,50$
3	$0,83 < SCV \leq 1,38$	C	$0,50 < SCI \leq 0,93$
4	$SCV > 1,38$	D	$0,93 < SCI \leq 1,51$
		E	$SCI > 1,51$

Tabla 5. Ciudades seleccionadas para el estudio. Fuente: propia.

Ciudad	Longitud	Latitud	Altitud	Zona climática
Madrid	-3,72	40,00	180	D3
Sevilla	-6,92	37,25	11	B4

### 2.3. Modelado en software de cálculo energético

Como se ha comentado anteriormente, el entorno para la realización de las simulaciones con VIP fue ArchiCAD y el entorno para utilizar EnergyPlus fue DesignBuilder. La versión de ArchiCAD utilizada fue la versión 22 y la de DesignBuilder fue la versión 6.1. El modelado fue realizado en primer lugar en ArchiCAD. Una vez se realizó el modelado del edificio, se procedió a utilizar las opciones de exportación del modelo diseñado al formato Green Building XML (gbXML) mediante el menú de Revisión del Modelo Energético de ArchiCAD. Una vez generado el archivo gbXML, fue posible importar el modelo del edificio en DesignBuilder, con lo que ya se dispuso del caso de estudio modelado en los dos softwares (véase Fig 3). Es importante tener en cuenta que esta importación fue solo a efectos de la geometría del edificio, por lo que los datos de actividad, de los sistemas de climatización y de las características térmicas de la envolvente tuvieron que ser introducidos siguiendo las metodologías específicas de cada software. En este sentido, la metodología de implantación de los perfiles siguió los pasos establecidos en la investigación de Garrido-Iglesias et al. (2019). Con respecto a la definición de los perfiles de actividad en DesignBuilder, se definieron mediante las plantillas de Actividad, de Iluminación y de HVAC (véase Fig. 4). Es importante destacar que, gracias a las opciones de configuración de los dos softwares, se puede definir con exactitud los parámetros horarios del perfil operacional. Es importante destacar que tanto en ArchiCAD como en DesignBuilder se definen de manera conjunta las ganancias de calor sensible y latente debidas a ocupación.

El análisis energético se centró en comparar los valores de demanda energética obtenidos (calefacción, refrigeración y total) con los dos motores de cálculo energético.



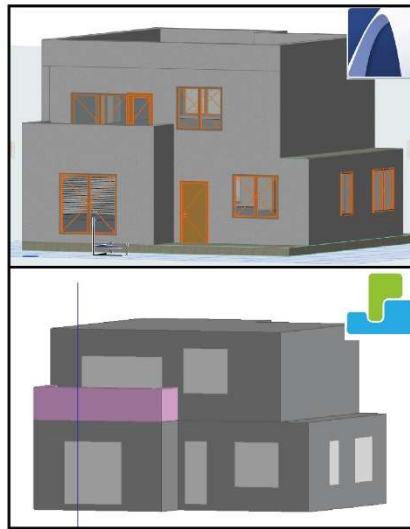


Fig. 3. Visualizaciones 3D del modelo del caso de estudio en los dos softwares. Fuente: Elaboración propia (2020).

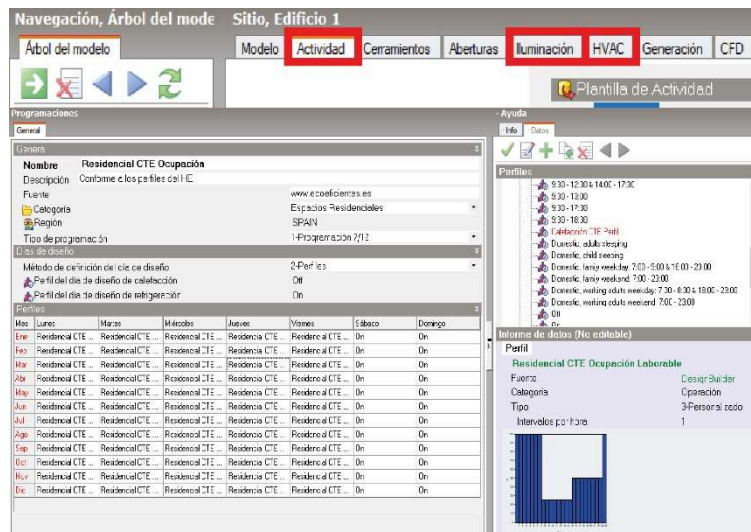


Fig. 4. Ejemplo de las opciones de configuración de los perfiles de utilización en DesignBuilder. Fuente: Elaboración propia (2020).

### 3. Resultados y discusión

Una vez modelado y configurado el caso de estudio en ArchiCAD y en DesignBuilder, se procedió a la realización de las simulaciones con los dos programas. En este sentido, conviene destacar que las opciones de exportación de los resultados son diferentes (véase Fig. 5): mientras que en ArchiCAD se genera un informe que resume los principales aspectos de la simulación (con una mayor predominancia de resultados anuales), con DesignBuilder se pueden llegar a visualizar datos en diferentes escalas (anual, mensual, diaria, horaria y subhoraria) y con la posibilidad de exportar los datos en formato Excel. Por este motivo, se decidió que la comparación de la demanda energética se realizaría a nivel anual. Es conveniente destacar que este aspecto limita la comparación de otros parámetros de las simulaciones, como las ganancias de calor existentes en las diferentes estancias del caso de estudio.

Una vez realizada las simulaciones se procedió al análisis de los resultados (véase Fig. 6). El análisis reflejó como los resultados obtenidos con las dos simulaciones fueron diferentes. Tal y como se puede apreciar en la Fig. 5, los resultados obtenidos a través del motor VIP de Strusoft se caracterizaron por incrementar los valores de demanda energética de refrigeración con respecto a las simulaciones de EnergyPlus, y viceversa para la demanda energética de calefacción. Con respecto a la demanda energética total, se detectó que dependiendo del archivo EPW utilizado (es decir, si la simulación energética se realizó con las condiciones

climáticas de Madrid o de Sevilla) varió la tendencia de los resultados: en Madrid, la simulación realizada con VIP obtuvo un menor valor, y en Sevilla ocurrió lo contrario. Esto es un reflejo de la otra tendencia detectada de los resultados, ya que la simulación del caso de estudio en las dos ciudades generó tendencias diferentes en los resultados obtenidos con los dos motores de cálculo energético. Así pues, mientras que en las simulaciones realizadas con el EPW de Madrid la variación absoluta de la demanda energética osciló entre 2,44 y 9,30 kWh/m<sup>2</sup>año, y en Sevilla las variaciones fueron más bajas (entre 1,23 y 3,65 kWh/m<sup>2</sup>año).

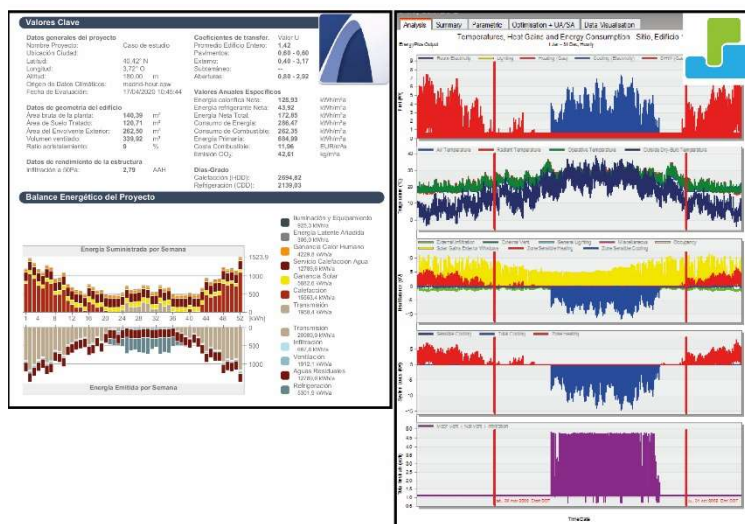


Fig. 5. Opciones de visualización y exportación de los resultados con ArchiCAD (figura de la izquierda) y con DesignBuilder (figura de la derecha). Fuente: Elaboración propia (2020).

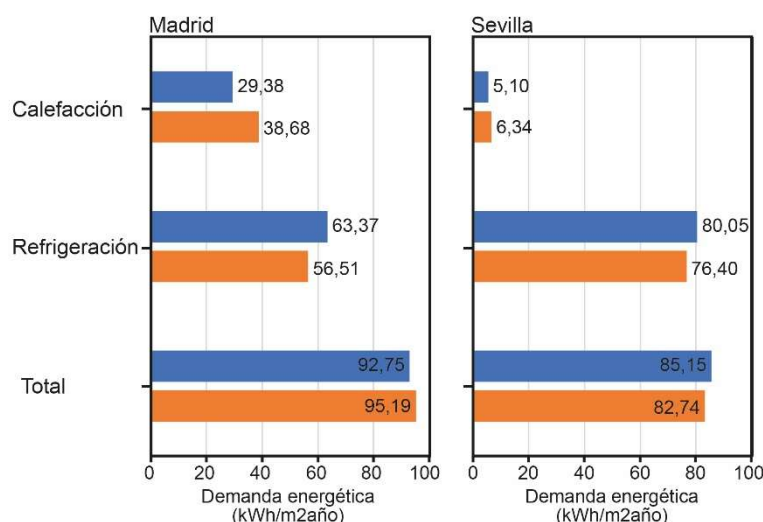


Fig. 6. Gráfico comparativo con los resultados de demanda energética obtenidos en las dos localizaciones (azul – ArchiCAD, naranja – DesignBuilder). Fuente: Elaboración propia (2020).

#### 4. Conclusiones

En base a los resultados obtenidos, se ha constatado como la utilización de herramientas de simulación energéticas pueden generar variaciones en las estimaciones de comportamiento energético de los proyectos de edificación. En este sentido, se ha detectado como la utilización o bien del motor de cálculo energético VIP de Strusoft (a través de ArchiCAD) o el de EnergyPlus (a través de DesignBuilder) generaron diferentes resultados. Este aspecto es revelador, ya que muestra la necesidad de realizar un estudio más exhaustivo acerca de las limitaciones de las herramientas energéticas incluidas en las herramientas BIM

(como la utilizada en el estudio) con respecto al comportamiento real de los edificios. Asimismo, se detectó la influencia que tiene los archivos climáticos utilizados en los resultados obtenidos.

Finalmente, las limitaciones de visualización y de exportación de los resultados de ArchiCAD acotaron las posibilidades de análisis de los resultados de simulación obtenidos a través de VIP. Este aspecto refleja otra limitación de la utilización de las herramientas de análisis energético incorporadas en BIM ya que no suelen presentar las mismas opciones que otros softwares más especializados suelen ofrecer (como DesignBuilder o CYPE).

Futuros pasos de la investigación irán orientados a la evaluación de las desviaciones existentes entre el comportamiento energético simulado por la herramienta de simulación energética de ArchiCAD con respecto a valores reales de comportamiento energético. Asimismo, se deberá de evaluar las posibilidades de calibración del modelo simulado en ArchiCAD con respecto a las recomendaciones incluidas en la *ASHRAE Guideline 14-2014*, el *International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP)* y el *Federal Energy Management Program (FEMP)*.

## Referencias

- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraoui, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: Current status and future trends. *Journal of Cleaner Production*, 109, 118–130. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.139>
- Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential, 1 (2006).
- European Environment Agency. (2018). Final energy consumption by sector and fuel (2016). <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/final-energy-consumption-by-sector-9/assessment-1>
- Garrido-Iglesias, A., Seara-Paz, S., & Pérez-Ordóñez, J. L. (2019). Certificación energética en BIM. In U. P. de València (Ed.), *Congreso Internacional BIM 8o Encuentro de Usuarios BIM* pp. 85–96.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Lowe, R. (2007). Technical options and strategies for decarbonizing UK housing. *Building Research and Information*, 35(4), 412–425. <https://doi.org/10.1080/09613210701238268>
- METEONORM. (2019). Handbook part II: Theory (Version 7.3.1) (Issue January).
- Park, K., & Kim, M. (2017). Energy Demand Reduction in the Residential Building Sector: A Case Study of Korea. *Energies*, 10(1506), 1–11. <https://doi.org/10.3390/en10101506>
- Real Decreto 314/2006. Aprobación del Código Técnico de la Edificación, (2013).
- Rodrigues, E., Fernandes, M. S., Gaspar, A. R., Gomes, A. & Costa, J. J. (2019). Thermal transmittance effect on energy consumption of Mediterranean buildings with different thermal mass. *Applied Energy*, 252, 113437.
- Rossi, M., & Rocco, V. M. (2014). External walls design: The role of periodic thermal transmittance and internal areal heat capacity. *Energy and Buildings*, 68(PART C), 732–740. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.07.049>

## PROTOCOLO HBIM PARA LA RESTITUCIÓN HISTÓRICA DEL PATRIMONIO CULTURAL Y ARQUITECTÓNICO: RECONSTRUCCIÓN VIRTUAL DEL FORO ROMANO DE SAGUNTO

Cos-Gayón\_López, Fernando<sup>a</sup>; Linares\_Jáquez, Yira<sup>b</sup>; Cordon\_Llácer, Joan<sup>c</sup>;

<sup>a</sup> PhD. Arquitecto Técnico y Arquitecto. Profesor Titular Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universitat Politècnica de València, [fcosgay@csa.upv.es](mailto:fcosgay@csa.upv.es), <sup>b</sup>Arquitecta Universidad Autónoma de Santo Domingo (Rep. Dominicana). Máster en Edificación UPV, [yilija@edificacion.upv.es](mailto:yilija@edificacion.upv.es), <sup>c</sup>Arquitecto Universitat Politècnica de València. Máster en Edificación UPV, [joacorll@alumni.upv.es](mailto:joacorll@alumni.upv.es)

### Abstract

*Due to the multidisciplinary nature of heritage interventions, the need to develop new solutions to improve the management of heritage projects arises and this is where the Heritage Building Modeling (HBIM) is born, which consists of the application of the BIM methodology in a building of historical order. As part of the international research project "Project DIANA", this study is based on the use of a protocol for information management in historical projects, where the main objective is the virtual reconstruction of the Roman Forum in the city of Sagunto. In order to fulfil the objectives, set out, various technologies are used, such as laser scanning for the primary obtaining of a graphic survey of the site through a point cloud. With this information, the 3D model is created by means of the Autodesk Revit tool and is detailed with the help of the documentation found in various investigations on the archaeological site, provided by the Archaeological Museum of Sagunto. Through this theoretical model, the historical-constructive phases of the forum (Republican, Augustan and present) are organized in order to obtain material for cultural divulgation, such as photo-realistic images, 3D animations and Virtual Reality.*

**Keywords:** HBIM protocol, laser scanning, virtual reconstruction, archaeological architecture, Roman forum.

### Resumen

*Debido al carácter multidisciplinar de las intervenciones patrimoniales, surge la necesidad de desarrollar nuevas soluciones para la mejora de la gestión de proyectos de patrimonio y es aquí donde nace el Heritage Building Modeling (HBIM) que consiste en la aplicación de la metodología BIM en una edificación de orden histórico. Como parte del proyecto de Investigación Internacional "Project DIANA", el presente estudio se basa en el uso de un protocolo para la gestión de la información en proyectos históricos, donde el objetivo principal es la reconstrucción virtual del Foro Romano de la ciudad de Sagunto. Para el cumplimiento de los objetivos planteados se emplean diversas tecnologías, como es el escáner láser para la obtención de un levantamiento gráfico del yacimiento a través de una nube de puntos. Con dicha información se crea el modelo 3D por medio de la herramienta Autodesk Revit y se detalla con la ayuda de la documentación encontrada en diversas investigaciones sobre el conjunto arqueológico, aportadas por el Museo Arqueológico de Sagunto. A través de dicho modelo teórico, se organizan las fases histórico-constructivas del foro (republicana, augustea y presente) para la obtención del material de divulgación, como son las imágenes fotorrealistas, animaciones 3D y Realidad Virtual.*

**Palabras clave:** Protocolo HBIM, escáner láser, reconstrucción virtual, patrimonio cultural-arquitectónico, foro romano.

## Introducción

En los últimos años se han aprovechado ciertas cualidades de la metodología BIM dentro de la gestión del patrimonio histórico en España, como son la colaboración, la interoperabilidad de la información y una visión más integral de los procesos. Su aplicación tiene diversas ventajas, por ejemplo, el levantamiento mediante escáner láser para el modelado de la geometría es solo el primer paso a un sinnúmero de aplicaciones, como son la realidad virtual, bibliotecas y catálogos 3Ds, GIS Web, entre otros. Este conjunto de oportunidades aporta una mejora considerable a la gerencia y/o conservación del patrimonio histórico (Megahed, 2015).

Al observar este avance y compararlo con el estado actual de la documentación gráfica del patrimonio construido de la ciudad de Sagunto, queda en evidencia la necesidad de un protocolo para el manejo de documentación durante cualquier intervención de un bien patrimonial. Con dicha acción, se evitan dificultades al momento del almacenamiento de la misma, generando un registro de las intervenciones realizadas en el patrimonio edificado. Por lo tanto, al realizar un protocolo HBIM se aprovecharán al máximo las ventajas de la metodología para optimizar recursos a la hora de documentar, monitorear y gestionar bienes históricos para un modelado exitoso (Armisen et al., 2018).

Es importante destacar que el conjunto del Castillo de Sagunto, ubicado en la Sierra Calderona, es un Bien de Interés Cultural y declarado Monumento Histórico Artístico el 3 de junio de 1931 (Azuar et al., 1989). A fin de mantener viva la herencia de la arquitectura de este conjunto arqueológico se deben realizar proyectos de puesta en valor de sus distintas zonas, en este caso la Plaza de Armas, ubicación del foro municipal de Sagunto. Esta puesta en valor será posible a través de la divulgación del patrimonio, la cual necesita de la recopilación de información respaldada históricamente, y un uso intensivo de las nuevas tecnologías para presentar al público los proyectos de maneras más dinámicas en contraste con el método tradicional de creación de imágenes 2D y estáticas (Monge Hernández, 2017).

A través de esta comunicación se presenta el proceso para desarrollar el proyecto HBIM del Foro municipal de Sagunto, mediante el uso de herramientas que puedan aportar a los intereses históricos de esta comunidad. Al crear nuevas soluciones y líneas de investigación para la restitución del yacimiento arqueológico se podrá evidenciar poco a poco una mejora al desarrollo profesional en este campo.

### 1. Objetivos

El propósito de esta investigación es definir un protocolo para la restitución de un edificio o conjunto de edificios históricos mediante la metodología HBIM con el fin de reunir toda la documentación existente sobre el foro municipal romano de Sagunto dentro de un único modelo de información, para lograr una mayor definición y comprensión del yacimiento arqueológico.

A continuación, se presentan los tres (3) pilares de esta comunicación:

- Protocolo HBIM. Elaborar un protocolo a partir de los conocimientos adquiridos sobre la metodología BIM para el modelado de un yacimiento arqueológico y las posibles hipótesis a partir de la historiografía y levantamientos de la zona a estudiar.
- Modelo HBIM. Aplicar el protocolo al yacimiento del foro romano de Sagunto para generar los modelos de su estado actual y de la hipótesis de época augustea como resultado de distintas excavaciones en el yacimiento.
- Material para divulgación HBIM. Exponer los resultados obtenidos para la puesta en valor del conjunto arqueológico mediante la implementación del protocolo HBIM.

### 2. Metodología

La documentación gráfica, el nivel de desarrollo, las fases histórico-constructivas son la base de esta metodología, en respuesta al objetivo principal de esta investigación, la organización de una manera segura

y eficiente de toda la información recopilada sobre estudios del foro de Sagunto en un modelo tridimensional.

Así pues, se definen un conjunto de pasos para alcanzar con éxito la identificación, comprobación y evaluación que supone la utilización de la metodología BIM en la gestión y seguimiento de un patrimonio histórico. A través de un modelo teórico se reflejan las fases del ente a estudiar y la información que le rodea para conseguir material que sirva para la adecuada divulgación del patrimonio histórico.

Dicha metodología está compuesta por tres (3) etapas (Fig. 1):

- La primera es la recopilación de información, donde se obtienen antecedentes de la zona geográfica para entrar en contexto, memorias de excavación e hipótesis realizadas respecto a esta construcción en sus distintas fases; y un levantamiento del yacimiento.
- Como segundo paso a desarrollar se debe realizar un análisis de esta información para la creación completa del modelo HBIM, compuesto por los modelos tridimensionales correspondientes a cada fase constructiva del foro (Republicana y Augustea).
- La tercera consiste en la exportación de una de las fases constructivas para la creación de una animación 3D arquitectónica, específica para servir de material de divulgación del patrimonio histórico-cultural, del foro municipal de Sagunto.

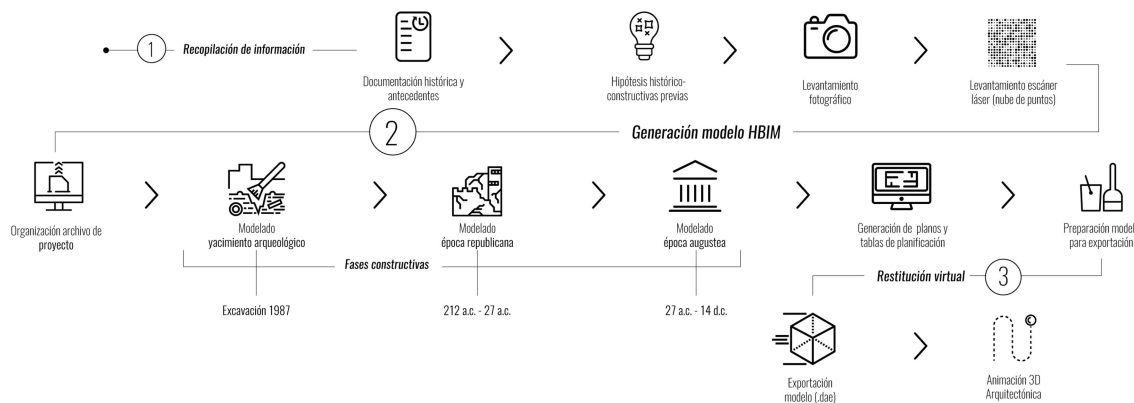


Fig. 1. Propuesta Protocolo HBIM del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

Con este nuevo modelo HBIM se ayudará a futuras consultas y posibles intervenciones que se puedan desarrollar en el conjunto histórico y por qué no también, para una amplia divulgación del mismo a un público no especializado. Se plantean ciertos pasos para llevar a cabo una recopilación de información exitosa se deben analizar los informes, imágenes existentes, memorias de excavación y todo aquello que ha creado conocimiento científico sobre el mismo.

Para la realización del siguiente protocolo se han tomado de referencia varias guías publicadas enfocadas en BIM, uBIM de Building SMART o el BIM Technology Protocol realizado por AEC en Reino Unido y algunas ya adaptadas al HBIM como son los trabajos académicos de Juan Enrique Nieto de la Universidad de Sevilla (Nieto Julián & Moyano, 2014) (Nieto, Moyano, Rico Delgado, & Antón García, 2016) (Nieto Julián, 2012); y el BIM aplicado al Patrimonio Cultural (Armisén et al., 2018), publicación que recoge un gran número de casos de estudio donde se han empleado dicha metodología, presentando cada caso, una estructura lógica y clara que ordenan todos los aspectos en la gestión de información de un modelo de carácter histórico-cultural.

### 3. Flujo de trabajo

En una primera reunión, en el Museo Arqueológico de Sagunto, se realiza la recogida de toda la literatura relacionada al Foro romano de esta ciudad, como son: la documentación histórica, los antecedentes de

excavaciones y las hipótesis histórico-constructivas previas del yacimiento. Las excavaciones realizadas en el yacimiento son la clave para establecer las fases constructivas del conjunto y/o los cambios que ha sufrido a lo largo de su historia. Se realiza un listado de las fases, tomando como criterio etapas, períodos de tiempo, intervenciones o criterio arquitectónico; dicho listado permite más adelante organizar el proyecto de modelado de una manera más eficiente.

En colaboración con la empresa Leica®, se realiza la planificación de la toma de datos con el escáner láser Leica ScanStation P40. Se establecen diez (10) estacionamientos abarcando la curia, tabernae, cisterna y plaza pública; las zonas de la basílica y el templo no se levantan en su totalidad debido a la dificultad de acceso al terreno con el equipo (Fig. 2).

Tras el escaneo se generan diez (10) archivos, los cuales se procesan mediante el software Cyclone v.9.1.3 facilitado por Leica®, a través de la técnica de “stiching” (coser) para unir estos archivos, generando una nube de puntos del foro. Luego se procede al refinamiento o limpieza de ruidos mediante la herramienta Recap de Autodesk, se elimina cualquier interferencia que no sea propia del yacimiento, reduciendo considerablemente el peso del archivo. Dentro de Recap se observan los elementos geométricos con sus respectivas texturas, en fin, el estado actual del yacimiento (Fig. 2). Este software tiene funciones para la toma de dimensiones y creación de secciones para una mayor comprensión de la nube de puntos.

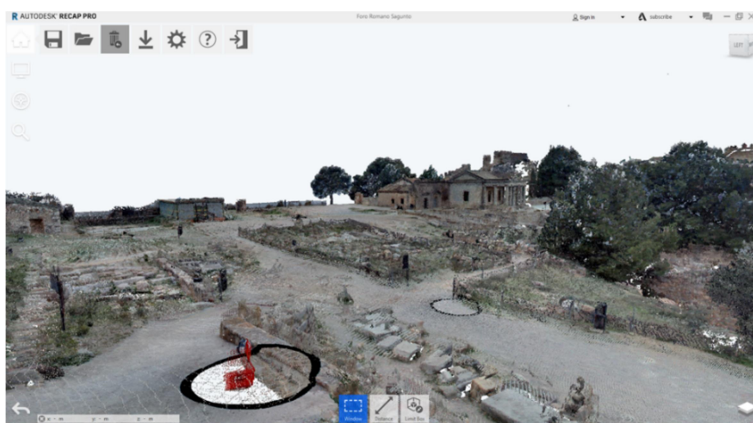


Fig. 2 Vista del yacimiento hacia el Museo Histórico-Militar en Recap. Fuente: Elaboración propia.

Luego de tener toda la información existente sobre el foro municipal de Sagunto, se procede a la segunda fase, la generación del modelo HBIM, para ello se exporta desde Autodesk Recap en formato .rcp, formato compatible con Autodesk Revit. Antes de empezar el modelado se debe definir un BEP (BIM Execution Plan o Plan de Ejecución BIM) donde se detallan la información del proyecto, sus integrantes y sus respectivos roles; las herramientas, usos BIM, entregables y el nivel de detalle o LOD necesario para cada elemento del modelo, el cual depende de la información obtenida para cada fase histórico-constructiva del foro (Tabla 1).

Tabla 1. Criterios LOD dentro del BEP para el Proyecto HBIM del foro Romano de Sagunto.

Criterios LOD							
Criterios LOD		Estado Actual		Fase Republicana		Fase Augustea	
Departamento	Tarea	LOD	ID	LOD	ID	LOD	ID
01_Arquitectura	Emplazamiento	200	EM_00	100	EM_01	200	EM_02
	Tabiquería	200	TA_00	100	TA_01	200	TA_02
	Cerramientos	200	CE_00	100	CE_01	200	CE_02
	Forjados y Pavimentos	200	FP_00	100	FP_01	200	FP_02
	Columnas	200	CO_00	100	CO_01	200	CO_02
	Cubiertas	200	CU_00	100	CU_01	200	CU_02

Ya establecidos los lineamientos del proyecto en el BEP, se procede a la organización dentro de la plataforma de modelado seleccionada, en este caso, Autodesk Revit. Se importa la nube de puntos del foro

y las imágenes de la planta arquitectónica del proyecto para ser escaladas, estos dos elementos, tanto la nube y la planta sirven como plantillas para el modelado del foro.

Para la obtención de la topografía de esta zona de la Sierra Calderona se utiliza la herramienta de BIMMate para la geolocalización y generación automática de emplazamientos a través de servicios y datos de plataformas gubernamentales, la cual fue desarrollada mediante la API (Application Programming Interface) de Autodesk Revit, generando así un modelo 3D de la zona del foro.

Se organiza el proyecto en tres fases, época republicana, época augustea y estado actual del yacimiento arqueológico, tanto la hipótesis republicana como la augustea se basan en los estudios y excavaciones realizadas por Carmen Aranegui en la década de los 80s. Se analiza el orden deseado de las fases del proyecto y en este caso, se modifican los atributos en superficie y corte de los filtros para que cada fase tenga atributos gráficos particulares y a la hora de visualizar los 3Ds y/o plantas, poder diferenciarlas una de la otra. Estos filtros fueron aplicados desde la ventana de prioridades de cada vista, dando libertad gráfica dentro de cada plano a presentar (Fig.3 ).

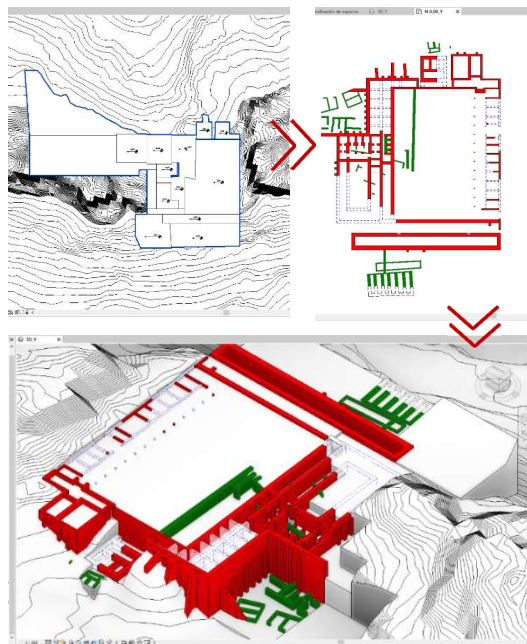


Fig. 3. Plataformas, planta arquitectónica y Vista 3D del resultado del modelado por fases constructivas del yacimiento arqueológico del foro municipal de Sagunto. Fuente: Elaboración propia.

Para el modelado de la inscripción monumental encontrada en el yacimiento del foro se usó el método de creación de familias a través de la opción Componentes/Modelar in situ (Fig. 7). Es importante mencionar que las familias in situ no se cargan desde archivos externos como las familias cargables, estas se crean dentro del mismo proyecto, aunque desde un editor de masa o familias muy parecido al entorno de familias cargables, estas permiten la opción de modelado a diferencia de las familias de sistema. Se debe tener cuidado en su uso ya que, al ser copiadas cada una será independiente a la anterior, consumiendo muchos recursos (López Oliver, 2016).

Luego de la creación de estas familias, para las alturas de los muros y morfología de las cubiertas, se tomaron como referencia las proporciones indicadas por Vitruvio en su libro De Architectura respecto a estos tipos de edificaciones (Ortiz y Sanz, 1787) (Fig. 4).

Para la visualización arquitectónica 3D, se exportan al programa de renderizado seleccionado tanto el modelo del estado actual correspondiente a la fase de Yacimiento como también la hipótesis del foro romano de la fase Época Augustea. Esto es posible a través de la instalación del plug-in LiveSync de Lumion 3D, que permite de manera interactiva trabajar en ambas aplicaciones simultáneamente, es decir, los cambios realizados en el modelo de Revit se reflejan automáticamente en Lumion 3D.



Como en cualquier programa, la organización en el proyecto es primordial para obtener los resultados deseados dentro del tiempo exigido. Mediante el uso de capas en Lumion 3D no solo se obtiene un proyecto

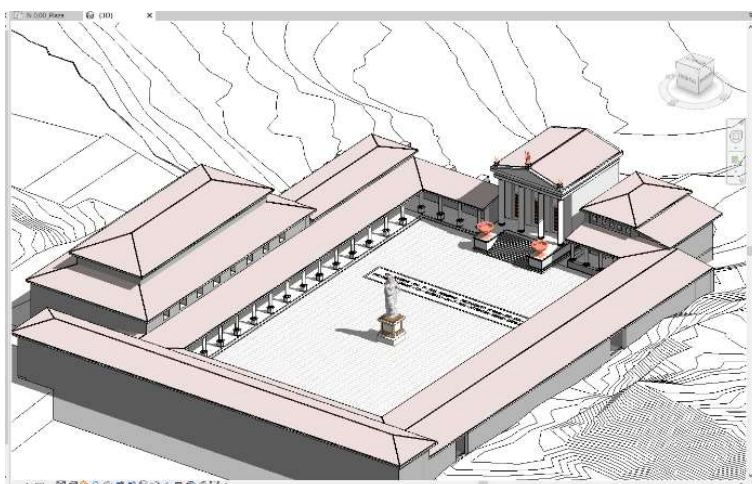


Fig. 4. Modelo HBIM del foro municipal de Sagunto. Fuente: Elaboración propia.

más organizado, sino que también mejora drásticamente la velocidad de la visualización dentro de la plataforma.

Como bien explica Ciro Cardoso en su libro “Lumion 3D Best Practices”, cada modelo 3D agregado a la escena significa que Lumion necesita representar esa información en tiempo real y eso disminuye la velocidad que se tiene dentro de la vista, que se mide en cuadros por segundo. Durante el proceso de construcción de la visualización, no se necesita tener todos los modelos en pantalla y en algunas situaciones, es aún mejor si no están expuestos. Al usar las capas, no solo reducimos el ruido visual, sino que también ocultamos la geometría, lo cual significa que Lumion 3D tiene más recursos disponibles para que la ventana gráfica sea menos pesada (Cardoso, 2015). Se organizan las capas con la siguiente estructura:

1. Modelo principal: El foro/yacimiento.
2. Entorno: Edificaciones.
3. Vegetación.
4. Modelos decoración: esculturas, vasijas, etc.
5. Personas.
6. Iluminación.

Al trabajar dentro de esta plataforma se tienen tres (3) opciones en el área de aplicación de materiales: (1) usar la biblioteca de más de 500 materiales nativos, pudiendo modificar sus valores a través del panel de propiedades; (2) crear materiales con una aplicación 3D externa e importarlos y (3) generar materiales desde el panel de mapeado. En el foro se utilizan tanto materiales nativos como materiales creados a través del panel de mapeado de Lumion, el cual crea de forma automática un normal map basado en la textura importada, además tiene la opción para invertir dicho mapa con el botón Flip Normal Map y para controlar su relieve con la opción Suavidad. En este panel se pueden manipular parámetros como el brillo/difusión, reflectividad y la textura Alpha, que mediante una máscara se puede regular la reflectividad y cortar geometría sin mucho esfuerzo.

Para reducir los tiempos de configuración dentro de las secciones de fotos y vídeos de Lumion, se comienza con el estilo realista como base y luego se aplican los distintos efectos para lograr un mejor resultado a la hora del renderizado, como son: corregir fugas verticales, cielos reales, etc. Estos parámetros se copian al conjunto de vistas/clips a través de la opción copiar efectos del menú desplegable del panel de edición.

A diferencia del panel de edición de fotos/vídeos, dentro del editor de imágenes panorámicas los estilos no están disponibles, pero la opción de controlar la visibilidad de la vista a través de efectos continua. Se guardan las vistas deseadas y se procede a elegir el medio por el cual se visualizará la imagen de 360°. En este proyecto se opta por cargar las imágenes dentro del visualizador MyLumion, a partir del almacenamiento en una nube, la cual permite a través de la pantalla de un ordenador, móvil o tableta disfrutar de un recorrido por el modelo 3d ya renderizado, mediante la unión de varias imágenes panorámicas

En la web de MyLumion se administran las imágenes y se editan datos como título y descripción. A través de la creación de códigos QR se puede acceder a la hipótesis augustea del foro y su yacimiento arqueológico. A continuación, se representa el proceso de trabajo dentro de Lumion.

#### 4. Resultados

A nivel práctico, el trabajo otorga como resultado, bajo un mismo modelo tridimensional, una centralización de la información del foro de Sagunto, generada por diferentes actores a través de los años, en el cual se identifican los cambios históricos y constructivos que este ha sufrido.

Se entrega al Museo Arqueológico de Sagunto un modelo 3D funcional, con distinción entre las etapas del foro y con la capacidad de generar tablas de cantidades sobre los elementos que la componen. Es un gran aporte ya que provocará una mejora sustancial a la calidad de gestión documental ya que se pasa de datos escritos, investigaciones y modelos en formatos CAD a un modelo BIM, del cual se pueden generar planos arquitectónicos creados mediante el programa Autodesk Revit.

Por otra parte, a partir del modelo HBIM se crea un importante material para la divulgación del foro para que los visitantes o interesados del complejo tengan la posibilidad de entender de una manera inmediata e intuitiva la complejidad del conjunto arqueológico y su proceso histórico-constructivo a través de imágenes y vídeos fotorrealistas, como también panorámicas tanto del yacimiento como de la hipótesis Augustea, las mismas podrán ser disfrutadas y exploradas desde la pantalla de un dispositivo (ordenador, móvil y tableta) o a través de gafas para realidad virtual (Fig. 5). Para el acceso a dicho material se aporta código QR con los distintos modelos.

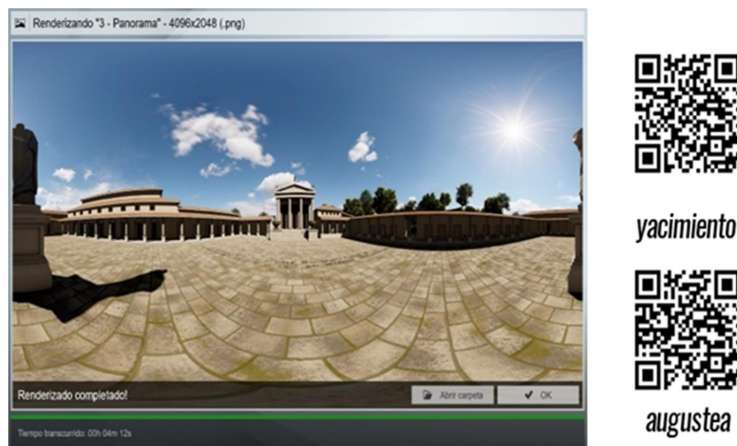


Fig. 5. Renderización y administración imágenes en nube MyLumion. Fuente: Elaboración propia.

#### 5. Conclusiones

Se ha conseguido cumplir el objetivo planteado, mediante la representación de las tres fases del foro municipal de Sagunto en una misma base de datos: la Republicana, considerada como la antesala al gran complejo, la cual estuvo compuesta únicamente por un templo y cisterna; la Augustea, época en la que el foro estuvo en su mayor esplendor, compuesto por las edificaciones que comúnmente se encontraban en

los conjuntos arquitectónicos de esta naturaleza; y su estado actual como yacimiento arqueológico (Fig. 6). Esta representación ha sido posible gracias a la metodología BIM, mediante un proceso dividido en tres (3) etapas principales:

1. Recopilación de la información.
2. Modelado HBIM.
3. Restitución virtual.

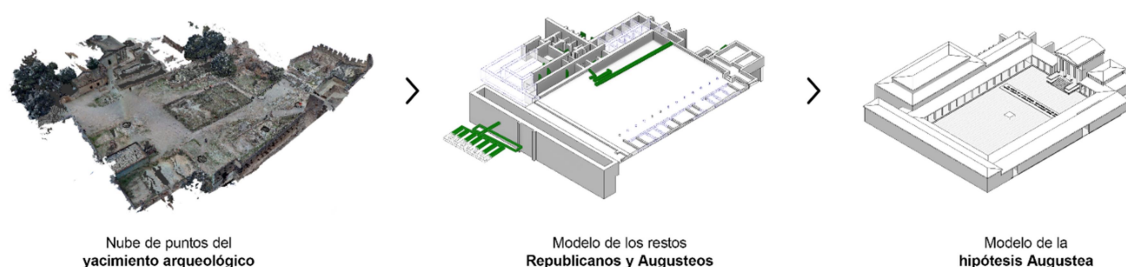


Fig. 6. Diagrama del proceso para el modelado del foro romano de Sagunto. Fuente: Elaboración propia

Aunque las funcionalidades BIM ayudan a mejorar la capacidad de manejo de información dentro del patrimonio histórico, esto es inútil si no hay información disponible sobre el edificio histórico. Se ha constatado que, uno de los desafíos más importantes para el enfoque HBIM es documentar el edificio en términos de funcionalidad BIM, esto se refiere al supuesto que se haya perdido mucha información sobre el edificio histórico y algunos sean imposibles de recuperar, creando problemas de falta de datos.

La construcción del Museo Histórico Militar sobre parte de la basílica del foro, realizada por Manuel González Simancas durante sus excavaciones (1921-1935), evidenció su desconocimiento sobre la magnitud del yacimiento e imposibilitó años más tarde el estudio de esta parte del complejo arqueológico durante las excavaciones del equipo de Carmen Aranegui (Aranegui, Hernández, & López Piñol, 1987).

El proceso HBIM presenta retos en tres áreas principales: la precisión, la complejidad y la fiabilidad de los datos. Durante el proceso para la recopilación de información se identificaron dos tipos de información, tangible e intangible (Volk, Stengel, & Schultmann, 2014). Tangible como la geometría levantada con escáner láser en el yacimiento; e intangible como ha sido en este caso de estudio, la hipótesis planteada por C. Aranegui.

El objetivo en el foro era la centralización de la información recopilada para su uso en la divulgación del patrimonio. Para acercar al público a este yacimiento a través de visualizaciones arquitectónicas, y es por esto, que los entregables asociados a este objetivo no necesitaban de un nivel de detalle máximo en todos sus elementos, ya que este tecnicismo podría dificultar la comprensión de cómo estaba articulado el foro. Por tal razón, a la hora de la planificación del modelado, en el BEP se estableció el nivel de detalle (LOD) por cada elemento arquitectónico que conforma el modelo y así no cargarlo con una excesiva cantidad de información de manera innecesaria. El nivel de detalle se tiende a asociar con las etapas de desarrollo, lo cual es un grave error y resulta en horas de trabajo innecesarias (AIA, 2008).

Las herramientas de toma de datos y de modelado juegan un papel importante para minimizar los desafíos que presenta un proyecto de patrimonio cultural y arquitectónico. Existen un sin número de aplicaciones, la selección dependerá del objetivo al que se quiera llegar y de los conocimientos que se posea respecto al manejo de estas herramientas.

Se puede concluir que a través del desarrollo de este trabajo se generó un modelo tridimensional que demuestra que la gestión de información proporcionada por el empleo de la metodología HBIM, está muy por encima a la representación arquitectónica mediante CAD, ya que en un entorno BIM, el modelo tridimensional admite la documentación gráfica, geométrica, datos cualitativos y cuantitativos de todos los elementos que lo componen, aumentando de manera considerable la comprensión y fiabilidad de la

información, la misma puede ser gestionada en futuras intervenciones o en la conservación del propio patrimonio.

Cabe mencionar que esta es sólo una primera etapa para lograr un protocolo completo y más fundamentado teóricamente donde se establezcan las condiciones para trabajar con HBIM específicamente en un yacimiento arqueológico, el uso de fases constructivas y su explotación.

## Referencias

- AIA. (2008). AIA ® Document E202 TM-2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit.
- Aranegui, C., Hernández, E., & López Piñol, M. (1987). El Foro de Saguntum: La planta arquitectónica. In D. de B. A. y Ministerio de Cultura (Ed.), *Los foros romanos de las provincias occidentales*, pp 73–97. Madrid.
- Armisen, A., Agustín, L., Benitez, Y., Coronel, A., Pérez de Prada, L., Alonso, J. A.,... Soto, A. (2018). BIM aplicado al Patrimonio Cultural. Guía de Usuarios BIM, 46. Retrieved from <https://www.buildingsmart.es/bim/guías-ubim/>
- Azuar, R., Bonneville, J. N., Hernández, E., López Piñol, M., Mantilla, A., Olcina, M.,... Aranegui, C. (1989). *Guía de los monumentos romanos y del Castillo de Sagunto*. Generalitat Valenciana, Conselleria de Cultura, Educació i Ciència.
- Cardoso, C. (2015). *Lumion 3D Best Practices*. United Kingdom: Packt Publishing Ltd.
- López Oliver, Y. (2016). *Manual Imprescindible Revit Architecture 2017*. Madrid: Grupo Anaya, S.A.
- Megahed, N. A. (2015). Towards a Theoretical Framework for Hbim Approach in Historic. *International Journal of Architectural Research*, 9(3), 130–147.
- Monge Hernández, J. R. (2017). Herramientas de difusión del Patrimonio Cultural en España (Universitat Oberta de Catalunya). Retrieved from <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/60605/6/jmongehTFG0117memòria.pdf>
- Nieto, J. E., Moyano, J. J., Rico Delgado, F., & Antón García, D. (2016). Management of built heritage via HBIM Project: A case of study of flooring and tiling. *Virtual Archaeology Review*, 7(14), 1. <https://doi.org/10.4995/var.2016.4349>
- Nieto Julián, J. E. (2012). Generación de modelos de información para la gestión de una intervención: La cárcel de la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla. *Virtual Archaeology Review*, 3(5), 63–67. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4229213&info=resumen&idioma=ENG>
- Nieto Julián, J. E., & Moyano, J. (2014). The paramental study on the Model of Information of Historic Building or “HBIM Project.” *Virtual Archaeology Review*, 5(11), 73–85. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5210213&info=resumen&idioma=ENG>
- Ortiz y Sanz, J. (1787). *Los diez libros De Arquitectura de M. Vitruvio Polión (1787th ed.; J. Ortiz y Sanz, Ed.)*. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1000746>
- Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building information modeling (BIM) for existing buildings-Literature review and future needs. *Automation in Construction*, (38), 109–127.

## SIMULACIÓN DE EDIFICIOS RESIDENCIALES: EL PROYECTO SPHERE H2020 820805 - QUÉ NOS PUEDE APORTAR EN LA MEJORA DEL DISEÑO Y LA EXPLOTACIÓN DEL EDIFICIO

Vicente-Legazpi, Pablo<sup>a</sup>; Loscos, Eduard<sup>b</sup>

<sup>a</sup>CAEsoft Consulting (SPAIN, [pablo@caesoft.com](mailto:pablo@caesoft.com)); <sup>b</sup>Coordinator SPHERE Project, IDP (SPAIN) [eloscos@idp.es](mailto:eloscos@idp.es)

---

### Abstract

*The H2020 SPHERE project is translating the IFC OpenBIM models into functional simulated digital twins. These functionalities may be from passive architectural to complex MEP networks, providing real-time information which may be used to add intelligence to the building. The building reacts to events that are detected thanks to a change in the model, not just a sensor measurement. This reduces the number of measurement points and improves the knowledge and reactions to changes. The building itself is intelligent without direct supervision of a human or analysis of passed data.*

*The reference for confort and life support are HTM or human thermal models, which may include aspects as thermal confort, CO2 content, humidity or contaminants. The occupants and their behaviour are the core of the simulation.*

**Keywords:** Simulation, building performance, HTM, digital twin, BIM, IFC.

---

### Resumen

*El proyecto H2020 SPHERE está convirtiendo los modelos OpenBIM IFC en gemelos digitales con simulación funcional. Estas funcionalidades irían desde la arquitectura pasiva hasta redes de instalaciones complejas, proporcionando información en tiempo real que puede usarse para añadir inteligencia al edificio. El edificio reacciona a eventos que se detectan a través de cambios en el modelo, no simplemente por una medida de un sensor. Esto reduce el número de puntos de medida y mejora el conocimiento y las reacciones frente al cambio. El edificio mismo es inteligente sin la supervisión directa de un humano o sin el análisis de datos históricos.*

*La referencia para confort y soporte de vida son los MTH o Modelos Térmicos Humanos, que pueden incluir aspectos como confort térmico, contenido en CO2, humedad o contaminantes. La ocupación y su comportamiento son el núcleo de la simulación.*

**Palabras clave:** Simulación, eficiencia energética, MTH, gemelo digital, BIM, IFC.

---

## Qué es el proyecto SPHERE H2020

SPHERE (<https://sphere-project.eu/>) es un proyecto a cuatro años del programa Horizon H2020 (Agreement No. 820805) cuyo objetivo es lograr una plataforma digital (un gemelo digital o "digital twin") para optimizar el ciclo de vida de un edificio, reducir costes y mejorar la eficiencia energética en edificios residenciales.

El consorcio está formado por 20 socios de distintos países de la Unión Europea y liderado por IDP Ingeniería y Arquitectura Iberia S.L.U.. En el consorcio<sup>1</sup> hay empresas de tecnología líderes en distintos campos e institutos de investigación con una dilatada trayectoria en el campo de la construcción (VTT finlandés y TNO de Holanda). Hay dos grandes empresas constructoras (COMSA y CAVERION) y durante el proyecto se implementarán los sistemas desarrollados en SPHERE en varios pilotos diseminados por cuatro países de la Unión.

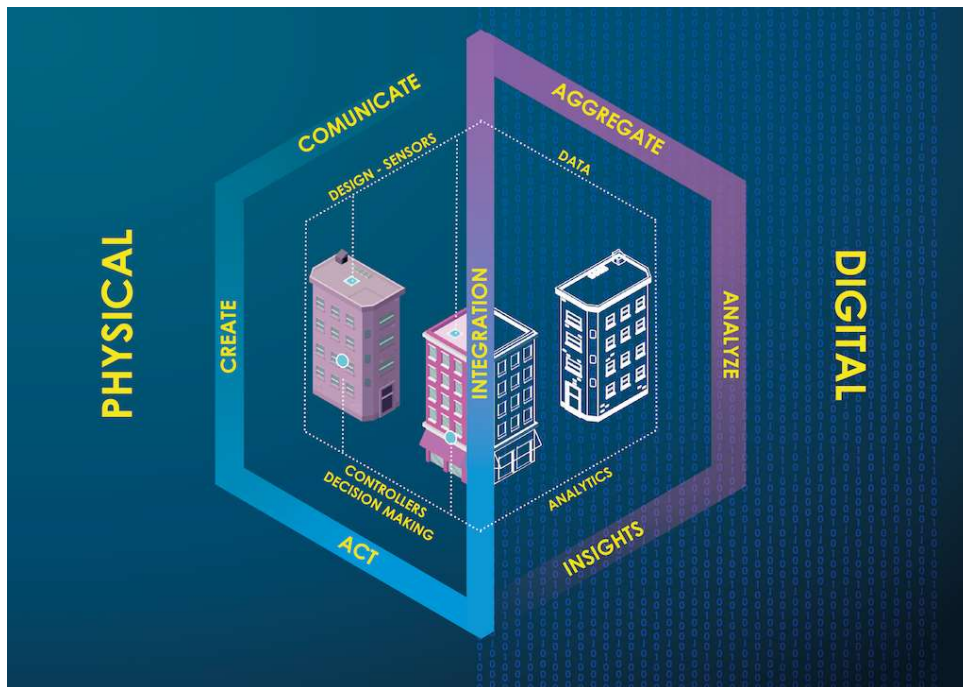


Figura 1 - Concepto de digital twin

([https://sphere-project.eu/wp-content/uploads/2020/02/V12\\_Sphere\\_Digital\\_Twins\\_White\\_Paper.pdf](https://sphere-project.eu/wp-content/uploads/2020/02/V12_Sphere_Digital_Twins_White_Paper.pdf)). Fuente: SPHERE 2020

Entre las empresas que forman el consorcio la española EAI (Empresarios Agrupados Internacional) desarrolla las bibliotecas de componentes que serán la base para la simulación funcional del edificio. EAI desarrolla el software de simulación orientado a objeto ECOSIMPRO/PROOSIS. Entre las diversas aplicaciones en las que se puede utilizar este entorno se encuentran problemas de soporte de vida (ECLSS<sup>2</sup>, Environmental Control and Life Support Systems) y sistemas en los que se interactúa con modelos matemáticos humanos de distinta complejidad. Este software se ha utilizado para estudiar problemas en la ISS (Estación Espacial Internacional) y es muy utilizado en problemas de propulsión en aeronáutica y espacio.

### 1. Qué es la simulación matemática orientada a objeto

La simulación matemática orientada a objeto sería una técnica de ingeniería basada en representar la funcionalidad de un sistema mediante ecuaciones. El "sistema" puede ser algo muy diverso, desde elementos mecánicos a controles, procesos químicos u órganos del cuerpo humano. "La Naturaleza está

<sup>1</sup> Ver <https://sphere-project.eu/consortium/>

<sup>2</sup> Ver <https://www.ecosimpro.com/products/eclss/>

escrita en lenguaje matemático"<sup>3</sup>, por lo que podemos representar el comportamiento de cualquier cosa mediante ecuaciones.

Lo interesante es que mediante una sofisticada metodología matemática podemos conectar sistemas entre sí, de modo que finalmente se puede llegar a tener representada una planta de proceso completa o el sistema de transmisión eléctrica de un país entero. La simulación matemática orientada a objeto (o también conocida como 0D-1D) permite encapsular el conocimiento funcional que tenemos de muchos problemas de ingeniería, obviando su representación geométrica u otros detalles que harían imposible el análisis de una forma económica. Este tipo de simulación es especialmente adecuada en entornos muy complejos, donde debemos tomar decisiones respecto al nivel de detalle y objetivos de cálculo.

Pongamos un ejemplo que aclare un poco más el entorno que describiremos más adelante. Si se entiende como "sistema de estudio" un cerramiento de una de las habitaciones de un edificio (un muro), describir matemáticamente el intercambio térmico de ese espacio a través de un material es algo relativamente simple. Se puede simplificar el problema suponiendo despreciable el efecto de los bordes y considerar un problema de transmisión térmica a través de una superficie con varias capas de material. Se necesitarán datos como las propiedades de material y geometría del muro, y tener en cuenta las temperaturas a ambos lados del muro. Con eso se podrá aplicar una ley matemática y calcular el flujo térmico a través de las paredes. Una descripción más rigurosa del mismo problema anterior tendría en cuenta las condiciones iniciales, y me daría la posibilidad de "conectar" las temperaturas a ambos lados del muro con otros fenómenos matemáticos del entorno (espacios de aire en el interior, exterior del edificio, otros espacios adyacentes).

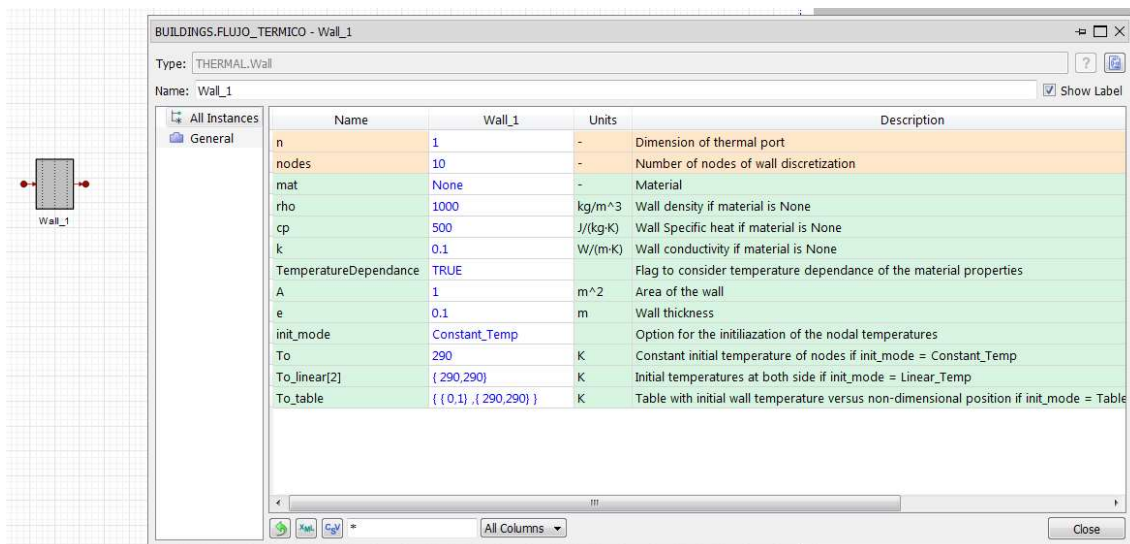


Figura 2 - Variables que intervienen en un "sistema" simple, un muro. Fuente: SPHERE 2020

Si se genera un componente u objeto que encapsule esa simulación y se es capaz de conectarlo con otros componentes finalmente será posible simular un sistema complejo. Es decir, progresivamente se configura un sistema compuesto de muchos sistemas más simples. Los sistemas más sencillos se describen con ecuaciones matemáticas, luego el "gran sistema" puede llegar a ser un conjunto de muchas ecuaciones.

Cuando inicialmente en el proyecto SPHERE nos planteamos el desarrollo de las bibliotecas de objetos (o componentes de simulación) siempre entendimos que esa descripción sería un modelo de edificio en una estructura de datos IFC. Por tanto si nos "adaptábamos" a las entidades del IFC simplificaríamos mucho la relación entre descripción IFC del edificio y la representación con componentes en la simulación. Y del

<sup>3</sup> En su "Saggiatore" (1623) Galileo escribía lo siguiente: "La Naturaleza está escrita en lenguaje matemático". La fórmula es realmente revolucionaria, pues el concepto antiguo de Naturaleza como organización de sustancia, de formas y de cualidades, es sustituido por uno nuevo: la Naturaleza como conjunto coordinado de fenómenos cuantitativos. Y no sólo se modifica el concepto acerca de la Naturaleza, sino también el de investigación científica de la misma.

mismo modo debíamos tratar de limitar el nivel de complejidad atacando aspectos parciales del edificio y luego integrándolos todos en un entorno común. Es decir, dividimos la complejidad del edificio en un sistema "pasivo" (o edificio físico compuesto de muros, losas, cubiertas, puertas y ventanas) y en distintos sistemas o disciplinas que abarcarían ventilación, frío/calor, suministro de agua y sistemas de energía renovable (PV, geotermia y similares).

## **2. El reto de simular un edificio: con qué complejidad, qué sistemas y con qué objetivos**

Siempre que se plantea un desarrollo en simulación hay que preguntarse al principio cuál va a ser el objetivo o el uso que se le va a dar a los modelos. En el caso de construcción hay un gran número de herramientas de diseño y dimensionado, pero otra cosa muy distinta es atacar el problema dinámico, en tiempo real, considerando las estrategias de control y la interacción del edificio con el entorno. Si nuestros modelos de simulación no va a "dimensionar" la instalación no tiene mucho sentido dotarle de detalles (y ecuaciones) que en el escenario de control nos van a molestar más que ayudar.

Inicialmente se percibe en general un enorme escepticismo sobre el uso y la rentabilidad de esta tecnología de "tiempo real", simplemente por el escaso valor económico de los procesos en juego (según algunos), la baja cualificación de los técnicos o usuarios del edificio (según otros) y también la ausencia absoluta de métodos objetivos de medida de confort (un "todo vale mientras no ocurra un desastre"). Sin embargo no se tiene en cuenta que el edificio es un proceso vivo, que interactúa con el exterior y con los humanos, animales y plantas que lo habitan. Si se quiere llegar a niveles óptimos de consumo energético y de confort es necesario plantear el edificio como algo a controlar de forma más inteligente. Y ahí es donde la simulación puede tener un papel clave.

Frente a la tendencia del monitorizado y "big data" (que nunca hay que despreciar) la simulación nos permite poner la inteligencia funcional distribuida y muy próxima a elementos del edificio tales como electrodomésticos, máquinas de frío/calor, redes, o el propio sistema de control de edificio. La simulación sería la "inteligencia funcional encapsulada" y repartida, que podemos insertar en tiempo real en estos sistemas, de forma que continuamente está comprobando que todo funciona como se espera, detecta fallos en el funcionamiento y puede tomar decisiones sin esperar al análisis de los datos. La simulación "incrustada" en los sistemas de control es como un sistema experto avanzado, un motor de inteligencia artificial funcionando de forma continua. La electrónica y los costes ya permiten esto.

Pero si pretendemos que el simulador esté ejecutándose en tiempo real el nivel de representación y el número de ecuaciones debe estar controlado. No vale cualquier conjunto de ecuaciones ni cualquier metodología en la implementación de la simulación. Los sistemas open-source pueden ser una trampa si no se considera que al final del camino hay una gran batalla con los tiempo de simulación, con la integración hardware y un largo camino que es difícil recorrer solo. La elaboración de los modelos (o las bibliotecas de componentes que son la base de los modelos) se convierte en un arte o una forma refinada de ingeniería.

En el caso del edificio, si el flujo habitual en monitorizado de datos es de un valor cada diez minutos, nuestro simulador tiene ese margen de maniobra en elementos de proceso tales como temperaturas en espacios. Para controles más rápidos se necesitaría un flujo de datos por debajo del segundo, por lo que si se considera necesario en esos casos o bien implementamos otro sub-simulador encastrado en el propio sub-sistema o bien simplemente no seremos capaces de observar cambios muy rápidos (lo cual puede carecer totalmente de importancia).

Por otro lado, en el inicio del proyecto SPHERE (noviembre 2018) existía un creciente interés por la simulación de la ocupación y la interacción de modelos humanos y el edificio<sup>4</sup>. ¿Es posible integrar modelos "humanos" con el simulador del edificio? Perfectamente, y es algo en lo que se tiene experiencia y resultados. El VTT en el proyecto SPHERE está perfeccionando un modelo térmico humano (o HTM,

<sup>4</sup> Como referencia pueden consultarse los trabajos de la International Energy Authority, Annex 60 (<http://www.iea-annex60.org/final-report.html>), que dieron lugar a un biblioteca inicial de componentes para MODELICA que se pueden consultar en la web de la International Building Performance Simulation Association (<http://www.ibpsa.org/>)



Human Thermal Model) compuesto originalmente por unas 5000 ecuaciones, y que se pretende simplificar para su uso en la plataforma. Pero podemos pensar en modelos humanos mucho más simples, desde "monitores inteligentes de confort" (que simplemente metabolizan una cierta cantidad de aire, expulsan CO2 y miden niveles de O2 y CO2) hasta simples generadores de temperatura dentro de un espacio. El desarrollo de modelos humanos de ocupación es un campo a explotar dentro del proyecto, y durante el año 2020 se tratará de estandarizar<sup>5</sup> y definir la tipología de modelos y su posible uso de forma abierta en simuladores (utilizando estándares ya desarrollados como FMI u otra metodología equivalente).

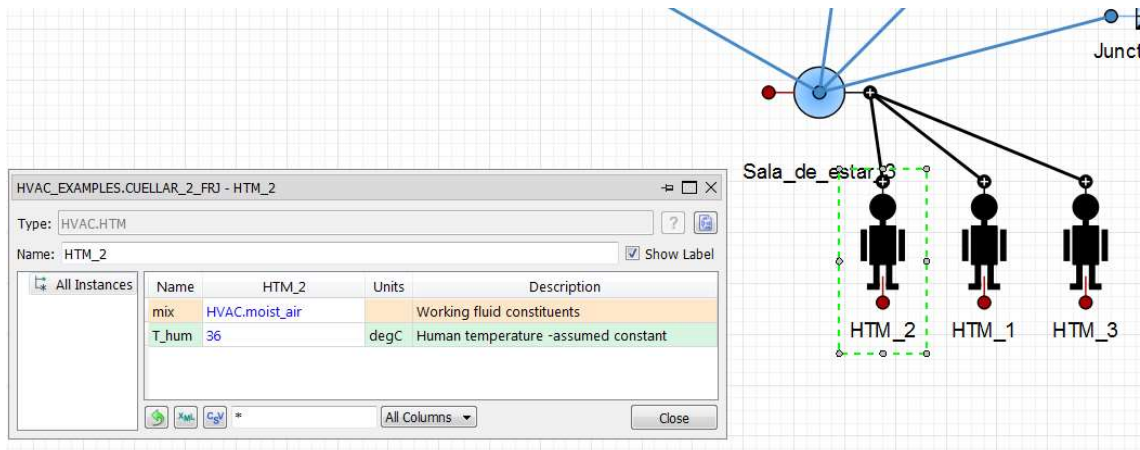


Figura 3 - Modelos térmicos simples humanos. Fuente: SPHERE 2020

El conseguir una buena integración entre sistemas convencionales de HVAC y modelos humanos nos llevará a estimaciones objetivas de confort, mejorar los procesos de interacción y la posibilidad de desarrollar estrategias avanzadas de control, valorar realmente su rentabilidad y versatilidad.

Otra ventaja de la simulación es que podemos traducir o inferir magnitudes a expresiones fácilmente entendibles y cuantificables (flujos de euros a través de una pared en lugar de hablar de temperaturas). La monitorización (contrariamente a lo que mucha gente piensa) es un terreno arduo y complejo, no exento de problemas y en muchos casos un esfuerzo inútil<sup>6</sup>, caro y frustrante. La simulación es un medio redundante de comprobación, un posible detector de fallos de sensores (por dar una medida no congruente con el entorno) y puede ahorrar muchos recursos de medida además de mejorarla. Sin tener en cuenta que hay medidas que son muy complejas de llevar a cabo con precisión y que nos movemos en un entorno en el que no se es precisamente generoso con la calidad. Una correcta implementación de sistemas de instrumentación y control debería contar con recursos de simulación en paralelo para darle robustez al control. Y también hay que considerar el factor predictivo. Gracias a los modelos y a información externa de meteo podemos implementar controles predictivos que utilicen las inercias del edificio para ahorrar consumos.

Por tanto, el objetivo de la simulación no se circunscribe al ámbito de la ingeniería de diseño previa a la construcción del edificio, como tampoco en exclusiva a la explotación. La simulación puede ser muy útil al principio del proyecto como herramienta conceptual, para luego pasar a ser el auditor de la puesta en marcha del edificio y, después, el sistema experto en tiempo real crítico para una explotación óptima. Cualquiera de los tres usos (antes, durante y después de la construcción) pueden ser escenarios totalmente válidos y que justifican por sí mismos su desarrollo, pero lo realmente interesante es hacer el esfuerzo una vez y utilizarlo en los tres procesos comentados.

<sup>5</sup> En la fecha en la que se redacta esta comunicación se está constituyendo una Digital Twin Association que servirá de plataforma a alguno de estos estándares.

<sup>6</sup> En el edificio del proyecto Arfrisol del Ciemat (<http://www.arfrisol.es/ARFRISOLportal/>), un año después de la puesta en marcha del edificio totalmente monitorizado -con sensores de temperatura en la mayoría de los espacios habitables del edificio-, más de un 40% de dichos sensores no funcionaban correctamente.



más, el fabricante podría suministrar "el equipo" en un formato que se incrustara en nuestro modelo de simulación (lo que inicialmente en SPHERE se denominó "bimbots" por sugerencia del TNO). Los bimbots serían componentes del digital twin suministrados y hasta monitorizados en algunos aspectos por el fabricante.

El alcance de la utilización de cosimulación e integración de modelo con estándares abiertos (FMI por ejemplo) es algo que todavía en SPHERE estamos evaluando, pero ya hay algunas marcas comerciales de equipos que han demostrado su interés, puesto que la posibilidad de tener estrategias de control entre equipos interconectados (o más integrados con el edificio) ofrece buenas oportunidades de optimización.

## 5. La objetividad en el confort

Entre los usos de la simulación cabe destacar todo aquello que afecta a la representación de la ocupación del edificio. Los seres humanos somos los que sentimos frío o calor, somos los que ocupamos los espacios y para los que se adapta la temperatura o el contenido en oxígeno.

Los primeros ensayos de modelos de ventilación nos permiten utilizar diseños de dummies o HMs (human models) en los que de forma sencilla podemos imponer condiciones matemáticas de consumos de O<sub>2</sub> y emisiones de otros gases o humedad. Dependiendo del humano concreto y su metabolismo, estas condiciones pueden variar bastante, pero también podemos generar poblaciones de humanos para el edificio sin gran esfuerzo, "especializados" en procesos concretos. Por ejemplo, respirar. Mucha gente preocupada por el frío y el calor olvida que los humanos respiramos, y que la calidad del aire influye de forma directa en la salud. La influencia en espacios cerrados del contenido de oxígeno se puede estudiar entonces con modelos humanos simulados y comparar un escenario de ventilación abriendo ventanas o ventilar con sistemas VMC (Ventilación Mecánica Controlada). Podríamos estar dando con la clave de cómo justificar el mayor gasto en VMC porque podremos valorar de forma objetiva la influencia en el ser humano. Es lo que podríamos llamar "objetividad en el confort". En el caso térmico sería similar.

En el proyecto SPHERE el VTT finlandés está poniendo a punto modelos térmicos humanos (HTMs) de gran detalle. Este detalle afecta tanto a parámetros antropométricos como de actividad o vestimenta. Simplemente el margen de confort en temperatura (de acuerdo con los datos ya obtenidos por el VTT) podría variar hasta en 6°C, dependiendo del individuo particular de que se trate. Llegar a un nivel de detalle tan grande puede ser interesante si el individuo con su propio modelo térmico (almacenado en su móvil o en una pulsera) interactúa con el edificio.

## 6. Romper la barrera de la privacidad sin invadirla

El que un individuo interactúe con los sistemas de control del edificio (por supuesto conectados al exterior) podría suponer un grave problema de control de privacidad. De nuevo la simulación nos permite jugar con individuos irreales o anonimizados, de forma que no se esté monitorizando a un individuo, sino a dummies que no responden a perfiles definidos y que además se manejan en espacios virtuales antes de la construcción o en la fase de pruebas del edificio. En lugar de esperar 6 meses a tener datos del edificio para saber cómo mejorar el control podemos utilizar estos dummies como test de confort.

## 7. Transformación de la información en magnitudes "operativas" y en decisiones de inversión

Otro uso interesante de la simulación es el transformar magnitudes físicas en otras que signifiquen algo para el usuario, de cara a acometer una mejora. De nada sirve saber que las ventanas de una casa no sean buenas si no tengo un valor estimado de cuánto calor estoy perdiendo por esas ventanas y en qué unidades monetarias se traduce. O lo contrario, si un usuario supiera cuántos euros por hora pierde a través de una ventana, fácilmente calcularía en cuántos meses recuperaría la inversión si la cambia, con lo que la simulación se convierte en un auténtico motor de mejora y de involucración del usuario del edificio.

## 8. Resumen

La simulación del edificio y la incrustación de los modelos en los sistemas de control, añadiendo la interacción de la ocupación en los modelos, puede aportar una gran mejora en la gestión del confort y el ahorro energético.

Como mejora más inmediata de los modelos (y sin pretender ser exhaustivos), estaría la optimización energética. En buenos diseños la optimización se ataca con sistemas de control, puesto que la envolvente o los sistemas para mantener la temperatura ya han sido dimensionados con acierto. Sin embargo, la mejor puesta en marcha y parada de dichos sistemas puede tener un margen de ahorro de entre un 5 a un 10%. El edificio a fin de cuentas tiene una gran inercia térmica, y el administrar de forma inteligente los sistemas de frío y calor con la meteorología actual y las predicciones puede suponer una gran mejora.

En el proyecto SPHERE, después de un año de desarrollo, ya se han completado las librerías de ventilación, edificio pasivo y de frío/calor. En breve se empezará con la ejecución de los modelos virtuales y los proyectos pilotos en varios países de la Unión Europea.

## Referencias

- [1] Alonso, R. et al. SPHERE: BIM Digital Twin Platform. *Proceedings* 20, 1 (2019).
- [2] Borth, M., Verriet, J. & Muller, G. Digital Twin Strategies for SoS 4 Challenges and 4 Architecture Setups for Digital Twins of SoS. (2019). doi:10.1109/sysose.2019.8753860
- [3] Caruso, P. W., Dumbacher, D. L. & Grieves, M. W. Product Lifecycle Management and the quest for sustainable space exploration. *AIAA Sp. Conf. Expo. 2010* (2010). doi:10.2514/6.2010-8628
- [4] Cerrone, A., Hochhalter, J., Heber, G. & Ingraffea, A. On the effects of modeling as-manufactured geometry: Toward digital twin. *Int. J. Aerosp. Eng.* 2014, (2014).
- [5] Ciribini, A. L. C. et al. Tracking Users' Behaviors through Real-time Information in BIMs: Workflow for Interconnection in the Brescia Smart Campus Demonstrator. in *Procedia Engineering* 180, (2017).
- [6] Damjanovic-Behrendt, V. & Behrendt, W. An open source approach to the design and implementation of Digital Twins for Smart Manufacturing. *Int. J. Comput. Integr. Manuf.* 32, 4–5 (2019).
- [7] Dawkins, O., Hudson-Smith, A. & Dennett, A. Living with a Digital Twin: Operational management and engagement using IoT and Mixed Realities at UCL's Here East Campus on the Queen Elizabeth Olym-pic Park. *BIM-DigiCons April* (2018).
- [8] Gerrish, T., Ruikar, K., Cook, M., Johnson, M. & Phillip, M. Using BIM capabilities to improve existing building energy modelling practices. *Eng. Constr. Archit. Manag.* 24, 2 (2017).
- [9] Glaessgen, E. H. & Stargel, D. S. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. Air force vehicles. *Collect. Tech. Pap. - AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Struct. Struct. Dyn. Mater. Conf.* (2012). doi:10.2514/6.2012-1818
- [10] Grieves, M. & Vickers, J. Origins of the Digital Twin Concept. 23, August 8 pages (2016).
- [11] Jing, Y., Chen, C., Tang, L., Xiong, H. & Wang, Y. X. Development of BIM-Sensor Integrated Platform for MEP Piping Maintenance. in *International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC): Driving* (ICE Publishing, 2019). doi:10.1680/icsic.64669.055
- [12] Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J. & Sihn, W. Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine* 51, 11 (2018).
- [13] Lee, E. A. & Seshia, S. A. *Introduction to Embedded Systems -- A Cyber-Physical Systems Approach.* 589 pages (MIT Press, 2017).

## MACHINE LEARNING PARA LA COLOCACIÓN DESATENDIDA DE OBJETOS EN MODELOS BIM

Abellán-Alemán, José María<sup>a</sup>; Núñez-Calzado, Pedro Enrique<sup>b</sup>; Antúnez-Rodríguez, Manuel<sup>c</sup>; Jiménez-de Lope, José María<sup>d</sup>; Martínez-Gómez, David<sup>e</sup>

<sup>a</sup>BIM magician, BiMMate, [jm.abellan@BiMMate.com](mailto:jm.abellan@BiMMate.com); <sup>b</sup>Arquitecto, BIM developer, [pnunez@ibim.es](mailto:pnunez@ibim.es);

<sup>c</sup>Arquitecto técnico, Avalenta, [mantunezr@msn.com](mailto:mantunezr@msn.com); <sup>d</sup>Ingeniero eléctrico, BIM developer, [chema.jimenez@gmail.com](mailto:chema.jimenez@gmail.com); <sup>e</sup>Arquitecto, iBIM, [david@ibim.es](mailto:david@ibim.es);

### Abstract

*Machine learning is the creation of algorithms capable of generalizing behaviours from information provided in the form of examples, so that a computer can "learn" from them.*

*The use of algorithms based on different data sets, and their combination with traditional programming, allows undertaking complex tasks of a spatial nature, where the data reflect, among other magnitudes, the positions of the objects.*

*In this example, a combination of predictive algorithms is developed that allows the automatic placement of elements in the walls of a BIM model. The information required to make such a prediction includes the creation of rooms as a spatial element to organize their positioning. The correct characterization of the rooms is what really allows the particularized learning for each use, which is essential to qualify the placement of elements effectively, greatly improving the possibilities of the proposed technique.*

*This type of spatial predictions allows the automation of the repetitive placement of objects in BIM environments, attaining a significant timesaving in comparison with the same tasks performed manually*

**Keywords:** Machine Learning, Computational BIM, Revit API, C#.

### Resumen

*El aprendizaje automático (del inglés, "Machine Learning") consiste en la creación de algoritmos capaces de generalizar comportamientos a partir de información suministrada en forma de ejemplos, de manera que un ordenador pueda "aprender" de estos.*

*El uso de algoritmos creados sobre diferentes conjuntos de datos, y su combinación con la programación convencional, permite acometer tareas complejas de índole espacial, donde los datos reflejan, entre otras magnitudes, las posiciones de los objetos.*

*En este ejemplo concreto, se desarrolla una combinación de algoritmos predictivos que permite la colocación automática de elementos en los muros de un modelo BIM. La información requerida para realizar dicha predicción incluye la creación de habitaciones como elemento espacial organizador de su posicionamiento. La correcta caracterización de las habitaciones es lo que permite realmente el aprendizaje particularizado para cada uso, lo cual es imprescindible para matizar la colocación de elementos de forma efectiva, mejorando enormemente las posibilidades de la técnica utilizada.*

*Este tipo de predicciones espaciales permiten la automatización de la colocación reiterativa de objetos en entornos BIM, suponiendo un gran ahorro de tiempo en comparación con las mismas tareas realizadas de forma manual.*

**Palabras clave:** Machine Learning, Automatización BIM, Aprendizaje automático, API Revit, C#

## Introducción

El *Machine Learning* o ML (en español, “Aprendizaje automático”) es un subcampo de las ciencias de la computación y una rama de la inteligencia artificial, que diseña algoritmos para dotar a los ordenadores de la capacidad de aprender. Mediante estos algoritmos, se consigue que los ordenadores desarrollen respuestas lógicas a partir de datos, en contraposición al enfoque tradicional basado en programación explícita.

El BIM (“*Building Information Modelling*”, en español, “Modelado de información de construcción”) consiste en la generación y gestión de datos de un edificio durante su ciclo de vida. El modelo BIM abarca la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de sus componentes.

En esta comunicación se presenta el resultado del desarrollo de una aplicación que aplica técnicas de *Machine Learning* a los modelos BIM. En concreto, se ha desarrollado el proceso para que el ordenador aprenda, a través de ejemplos, la colocación de elementos adosados a muros (tales como interruptores, enchufes, luminarias, mobiliario, sanitarios, etc.) en función del uso de la habitación y sus características geométricas, un ejemplo, entre otros muchos posibles, de las posibilidades de la aplicación de ML a BIM, como el recogido en el artículo ‘*Comparing machine learning and rule-based inferencing for semantic enrichment of BIM models*’ (BLOCH & SACKS, 2018) publicado en la revista ‘*Automation in Construction*’.

Los modelos de *Machine Learning* y gráficos de los datos que se han creado para esta publicación, se han realizado mediante la herramienta web BigML®, propiedad de BigML, Inc., una empresa estadounidense que ofrece servicios web de *Machine Learning* (BigML, 2019).

### 1. Planteamiento general

El proceso que se pretende automatizar mediante técnicas de *Machine Learning* es la colocación de elementos adosados a muros. Se trata de una operación compleja, que va a requerir el uso de varios algoritmos de *Machine Learning*, y la posterior combinación de sus resultados en un único algoritmo compuesto que realice la tarea, siendo este último un algoritmo diseñado no perteneciente al campo del aprendizaje automático.

El marco de la investigación es teórico y no pretende caracterizar la realidad de la posición de elementos de diferentes tipos en los muros en la práctica de la arquitectura, por lo que los ejemplos ofrecidos no se corresponden con datos reales. El proceso descrito es genérico y aplicable a cualquier conjunto de datos, actuando como un “replicador de elementos en habitaciones” basado en técnicas de *Machine Learning*.

Partimos de un modelo BIM de ejemplo (entrenamiento), que contiene la definición de los muros, puertas, elementos adosados a muros, y habitaciones. En el software Autodesk Revit®, la habitación es un elemento que detecta automáticamente el volumen encerrado entre muros, manteniendo referencias a sus delimitadores. Se va a desarrollar el proceso general para un solo tipo de elemento adosado, que luego podrá aplicarse múltiples veces (a otros tipos de elemento) para conseguir un resultado completo. Además, como simplificación, no vamos a tener en cuenta la altura del elemento en el muro, únicamente su posición en la proyección de planta.

Los aparatos matemáticos que se van a emplear para resolver el tema propuesto, se denominan algoritmos de clasificación, o clasificadores. Las predicciones que son capaces de realizar son muy simples, ya que únicamente clasifican elementos en categorías predefinidas y no tienen capacidad de generar predicciones numéricas, como las regresiones. Por tanto, cuando queramos realizar una predicción numérica, cada una de las cantidades que queramos obtener como resultado, deberá ser una categoría diferente.

Aunque existen técnicas diferentes al *Machine Learning* que podrían aplicarse a la solución de problemas similares a este, como la definición de un sistema experto o el establecimiento de un algoritmo puro, pensamos que el uso del *Machine Learning* ofrece ventajas que superan a los inconvenientes en esta aplicación (BLOCH & SACKS, 2018).

Sus principales ventajas para el problema analizado son:

- Flexibilidad ante nuevos datos, mediante sucesivos entrenamientos de los algoritmos.
- Tolerancia a la variabilidad de los datos, siempre que se escoja el algoritmo correcto.

Y sus principales inconvenientes:

- Resultados probabilísticos, no deterministas.
- Dependencia excesiva de la calidad y cantidad de los datos de partida.

En cualquier caso, la técnica propuesta puede considerarse mixta, ya que postula el uso del *Machine Learning* para resolver ciertas cuestiones, pero los resultados se integran en un algoritmo general, creado para convertir varias predicciones inconexas en una sola predicción global más compleja.

La definición de cada algoritmo de *Machine Learning* consiste básicamente en plantear la pregunta adecuada, definiendo a su vez las respuestas posibles (categorías de clasificación). A continuación, se enumeran las diferentes preguntas que vamos a formular con el objetivo de colocar los elementos adosados a muros:

- ¿Cuántos elementos tiene la habitación? Respuestas: uno, dos, tres...
- ¿Cuántos lados de la habitación tienen elementos? Respuestas: uno, dos, tres...
- ¿Este lado tiene elementos? Respuestas: sí, no (y su probabilidad)
- ¿Cuántos elementos tiene este lado? Respuestas: uno, dos, tres...
- ¿En esta posición del lado existe elemento? Respuestas: sí, no (y su probabilidad)

Los algoritmos de clasificación se basan en que la probabilidad calculada de una categoría es mayor que la probabilidad calculada de cualquier otra, de forma que es posible obtener, además de la predicción (categoría con mayor probabilidad), la probabilidad numérica (de 0 a 1) como resultado añadido y realizar operaciones posteriores si es preciso.

Para poder contestar cada pregunta, hemos de crear un algoritmo diferente, con datos de entrada propios. Primeramente, los algoritmos se entrenarán (proceso matemático de aprendizaje en base a los datos aportados) con elementos en los que ya conocemos las respuestas, y una vez concluido su entrenamiento, podremos predecir las respuestas para un elemento nuevo.

## 2. Algoritmos disponibles

Existen multitud de algoritmos y técnicas disponibles para la clasificación de elementos (ALPAYDIN, 2016). En este caso hemos elegido los tres algoritmos básicos implementados en BigML, que son: el árbol de decisión, la regresión logística y la red neuronal.

Las tres técnicas operan de formas muy diferentes, por lo que ofrecen distintas visiones de lo que los datos contienen, y su funcionamiento óptimo depende del tipo de datos con los que se entrenan. Cada modelo ofrece ventajas e inconvenientes, con lo que es fundamental conocer sus características, y realizar múltiples pruebas.

Brevemente, podemos decir que las regresiones logísticas funcionan bien incluso con pocos ejemplos, estableciendo los límites entre categorías diferentes de forma ponderada. Los árboles de decisión y las redes neuronales requieren bastantes más datos de partida para un buen funcionamiento. Normalmente, tanto la regresión logística como el árbol de decisión son muy transparentes en sus resultados, mientras que la red neuronal es una especie de “caja negra” que ofrece pocas pistas de su funcionamiento interno una vez entrenada.

El grado de irregularidad en los datos que cada algoritmo puede soportar es diferente, siendo las regresiones logísticas las que no predicen bien los datos caóticos o muy irregulares, mientras que los

árboles de decisión y las redes neuronales los toleran sin problema. Esto tiene la contrapartida de que estos últimos, a veces no son capaces de generalizar lo aprendido al aplicarse a datos desconocidos, fenómeno que se denomina “*overfitting*” o sobreajuste.

En nuestro caso, el criterio adoptado a priori para la elección de los algoritmos ha sido plantear la solución con la regresión logística, el árbol de decisión y la red neuronal, en ese orden, quedándonos con la primera que puede ofrecer resultados aceptables, teniendo en cuenta el tipo y estructura de datos con las que hemos previsto entrenarlas. De esta forma procuramos que el algoritmo pueda funcionar con el mínimo de datos de entrenamiento y sea lo más generalizable posible con nuevos datos.

### 3. Análisis de la habitación

En este apartado trataremos de contestar a las primeras dos cuestiones planteadas:

- ¿Cuántos elementos tiene la habitación? Respuestas: uno, dos, tres...
- ¿Cuántos lados de la habitación tienen elementos? Respuestas: uno, dos, tres...

Aunque podríamos establecer parámetros geométricos para diferenciar unas habitaciones de otras (NUÑEZ CALZADO, ALARCÓN LÓPEZ, & MARTÍNEZ GÓMEZ, 2018), hemos preferido etiquetar las habitaciones con su uso como único parámetro distintivo. Esta decisión permite eliminar ruido en forma de demasiadas variables, para centrarnos en lo realmente importante, que es la información acerca de los elementos adosados a muro.

En este caso, ambas preguntas pueden ser predichas mediante regresiones logísticas y un conjunto de datos de entrenamiento genérico con únicamente dos columnas, en la que la columna objetivo (la que posteriormente tratará de predecirse) es el número expresado como variable categórica (ver Tabla 1 y Tabla 2):

Tabla 1. Habitaciones: ¿Cuántos elementos tiene la habitación? Fuente: Elaboración propia (2019)

USO HABITACIÓN	NÚMERO DE ELEMENTOS TOTAL (CATEGÓRICA)
Salón	Cinco
Dormitorio	Tres
Cocina	Cuatro
Dormitorio	Tres

Tabla 2. Habitaciones: ¿Cuántos lados de la habitación tienen elementos? Fuente: Elaboración propia (2019)

USO HABITACIÓN	NÚMERO DE LADOS CON ELEMENTOS (CATEGÓRICA)
Salón	Tres
Dormitorio	Dos
Cocina	Uno
Dormitorio	Dos

Si los datos son coherentes, y cada uso está correctamente estandarizado, lo normal en esta fase es obtener un 100% de aciertos durante la predicción. En caso de existir diferentes formatos de disposición de elementos en muros para el mismo uso, lo lógico es establecer un nuevo parámetro (con valores, por ejemplo: DormitorioA, DormitorioB, SalonA, etc.) para permitir la diferenciación entre colocaciones alternativas, pero sin sobrescribir el uso, que es común.

Podría darse el caso en que los datos de partida no fuesen coherentes o contuviesen algún error, de forma que las variaciones de colocación de elementos arrojasen respuestas diferentes para la misma habitación, pero no se considerase que esa variación es suficiente como para establecer un tipo nuevo. En esos casos, la predicción será reflejo del número de casos, eligiéndose el mayoritario.



Si el resultado no tuviera que ser obligatoriamente un número entero, cabría la posibilidad de emplear regresiones lineales, obteniendo un resultado fraccionario. Otra posibilidad sería redondear el resultado de la regresión a un número entero. Sin embargo, la regresión logística nos asegura que existen obligatoriamente ejemplos en los datos de partida con este número exacto de elementos o lados con elementos, por lo que la consideramos más robusta ante datos con pequeños errores.

Con tablas tan sencillas, es posible sustituir la regresión logística por un simple cálculo de probabilidad, pero mantener el algoritmo de *Machine Learning* nos permite sustituir en el futuro la columna del uso de la habitación, por un conjunto de columnas que la caractericen en términos geométricos, alterando únicamente los datos de entrenamiento de los algoritmos, no la programación.

#### 4. Análisis del perímetro de la habitación

En este caso vamos a plantear las siguientes cuestiones:

- ¿Este lado tiene elementos? Respuestas: sí, no (y su probabilidad)
- ¿Cuántos elementos tiene este lado? Respuestas: uno, dos, tres...

La primera operación que necesitamos realizar es la correcta parametrización del perímetro de la habitación. Comenzamos definiendo un origen del perímetro, normalmente en la puerta, y si el desarrollo se produce en el sentido de las agujas del reloj o al contrario (ver Fig. 1).

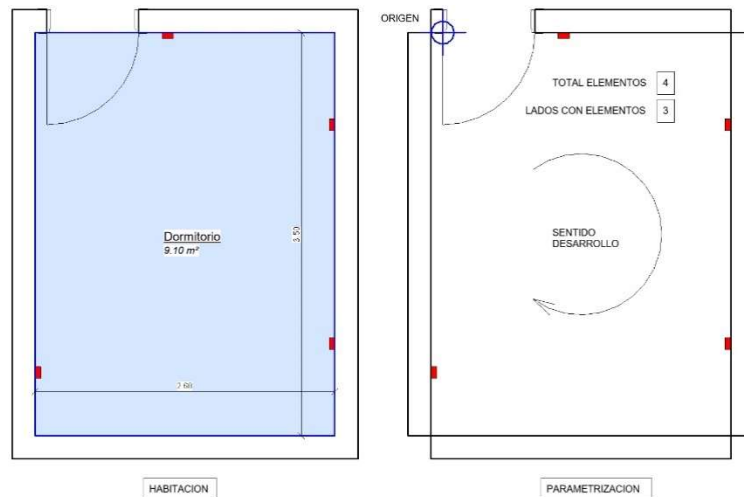


Fig. 1. Parametrización de la habitación. Fuente: Elaboración propia (2019)

Ambas son medidas importantes para que los algoritmos consideren iguales las habitaciones giradas y/o simétricas respectivamente. Procedemos a desplegar los lados del perímetro en la dirección correcta con el origen en la puerta.

A continuación, normalizamos el origen y final de cada lado, siendo el origen de la habitación el valor 0 y el final de la habitación el valor 1. De esta forma, obtenemos para cada lado su posición relativa dentro del perímetro de la habitación (ver Fig. 2).

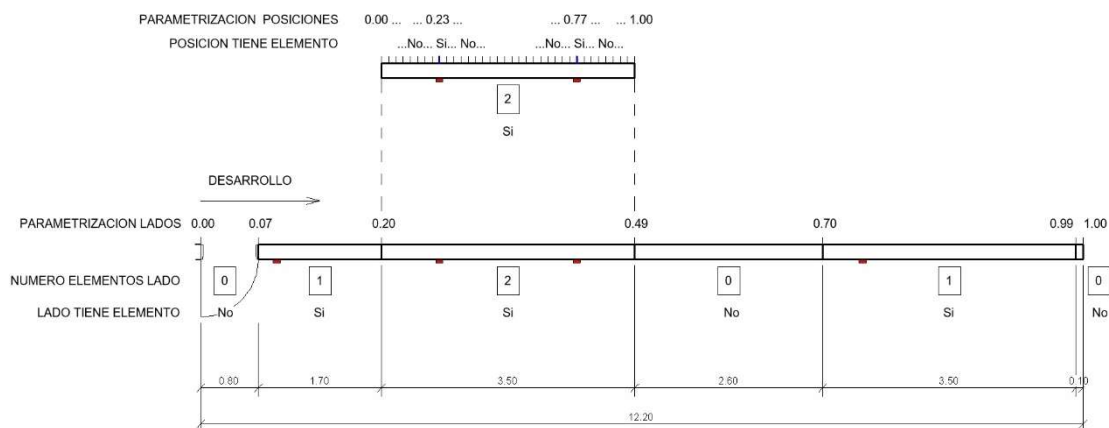


Fig. 2. Parametrización de los lados de la habitación. Fuente: Elaboración propia (2019)

Finalmente, cada uno de los lados tendrá la siguiente información: uso de la habitación a la que pertenece, longitud, inicio normalizado, y fin normalizado (Tabla 3 y Tabla 4). Además, en los datos de entrenamiento se introduce la información de la columna objetivo. En la primera cuestión, si el lado tiene elementos, y en la segunda, cuántos elementos tiene. Las tablas de ejemplo que representan los datos de entrenamiento son las siguientes:

Tabla 3. Lados de cada habitación. ¿Este lado tiene elementos? Fuente: Elaboración propia (2019)

USO HABITACION	LONGITUD (m)	INICIO NORMALIZADO	FIN NORMALIZADO	TIENE ELEMENTOS
Dormitorio	0.80	0.00	0.07	No
Dormitorio	1.70	0.07	0.20	Si
Dormitorio	3.50	0.20	0.49	Si
Dormitorio	2.60	0.49	0.70	No

Tabla 4. Lados de cada habitación. ¿Cuántos elementos tiene este lado? Fuente: Elaboración propia (2019)

USO HABITACION	LONGITUD (m)	INICIO NORMALIZADO	FIN NORMALIZADO	NÚMERO ELEMENTOS (CATEGÓRICA)
Dormitorio	0.80	0.00	0.07	Cero
Dormitorio	1.70	0.07	0.20	Uno
Dormitorio	3.50	0.20	0.49	Dos
Dormitorio	2.60	0.49	0.70	Cero

En este caso, las regresiones logísticas tienen un problema para hacer predicciones de calidad, por la propia estructura y relaciones internas de los datos de entrenamiento. Las condiciones de la regresión logística (en este caso es multinomial) hacen que la diferencia entre unos usos y otros acabe dependiendo exclusivamente de un coeficiente resultado, que, aunque diferente para cada uso, no puede generar la variación necesaria para predecir correctamente la cantidad de variación que encontramos al mezclar usos distintos.

La forma de solventar la situación sin renunciar a utilizar regresiones logísticas sería crear un algoritmo independiente para cada uso, de forma que podamos tener coeficientes resultado diferentes entre usos, para cada una de las columnas. Esta decisión podría aumentar bastante el número de algoritmos a entrenar (uno por uso), por lo que finalmente, el algoritmo elegido para resolver ambas tablas es el árbol de decisión (Fig. 3), un modelo predictivo que mapea observaciones sobre un artículo a conclusiones sobre el valor objetivo del artículo.

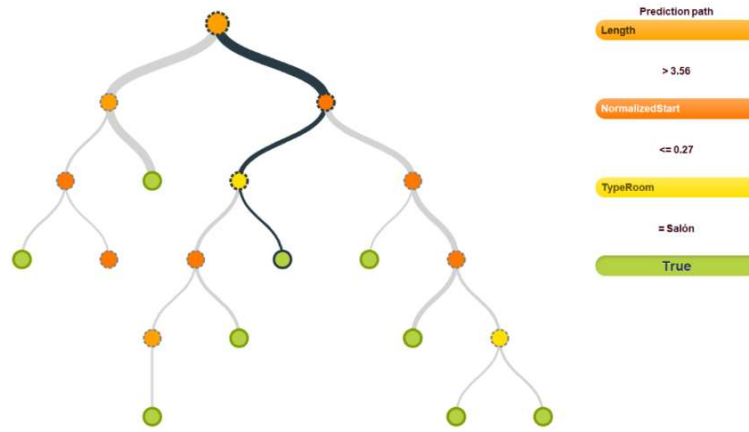


Fig. 3. Gráfica de árbol de decisión ejemplo de si el lado tiene elementos. Fuente: Elaboración propia con BigML (2019)

## 5. Análisis de la posición del elemento

El último paso, una vez sabemos en cuántos lados hemos de poner elementos y cuántos elementos en cada lado, es la posición de dichos elementos, lo que nos lleva a la última cuestión:

- ¿En esta posición del lado existe elemento? Respuestas: sí, no (y su probabilidad)

Para ello vamos a situar en cada lado puntos virtuales equidistantes que denoten posibles posiciones de los elementos. Para cada uno de los puntos se normaliza su posición con respecto al lado, donde el inicio del lado es 0 y el final es 1. Al realizar la discretización de forma normalizada, tendremos que aceptar la limitación de que las predicciones de distancias variarán proporcionalmente a la longitud de los lados.

La distancia entre puntos es arbitraria, por lo que elegiremos una longitud lo suficientemente pequeña para darnos una posición con una precisión razonable. En nuestro caso, hemos elegido una distancia de 1 cm entre posiciones diferentes. A cada una de ellas se asocia la respuesta de si existe elemento en esa posición o no, adoptando como criterio la cercanía del elemento a su posición más próxima. Es importante entrenar el algoritmo tanto con los casos positivos como con los negativos, para que sea capaz de predecir ambos.

En este caso, para generar la tabla de entrenamiento, acumulamos la información de habitación y lado, para que el algoritmo sea capaz de diferenciar las posiciones en función del lado y habitación en que se encuentran. La tabla de entrenamiento es como la siguiente (Tabla 5):

Tabla 5. Posiciones en cada lado de cada habitación. ¿En esta posición del lado existe elemento?

USO HABITACIÓN	LONGITUD	INICIO NORMALIZADO	FIN NORMALIZADO	POSICIÓN NORMALIZADA	TIENE ELEMENTO
...	...	...	...	...	...
Dormitorio	3.50	0.20	0.49	0.25	No
Dormitorio	3.50	0.20	0.49	0.27	Si
Dormitorio	3.50	0.20	0.49	0.29	No
Dormitorio	3.50	0.20	0.49	0.31	No

Al igual que en el caso anterior, la regresión logística no es conveniente para resolver este sistema, por lo que se opta por usar el árbol de decisión. En este caso, hemos de enfrentarnos a una dificultad más, y es que existe una gran diferencia entre el número de posiciones que no tienen elemento y las que sí lo tienen, por lo que el algoritmo tendrá un sesgo a favor de los elementos mayoritarios. Para solucionar este problema, se han modificado intencionadamente los pesos de los elementos en el entrenamiento, para equilibrar la predicción.

Esta modificación de proporciones entre unos elementos y otros podría obtenerse también mediante alteraciones en la densidad de puntos que se considera, de forma que se equilibren las predicciones. En nuestro caso, hemos preferido primar la homogeneidad espacial (ver Fig. 4), procurando un barrido lo más completo posible de las piezas, de forma que el algoritmo determine con precisión los casos límite.

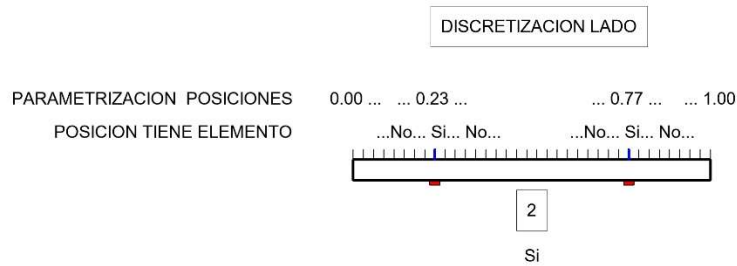


Fig. 4. Parametrización de las posibilidades de un lado. Fuente: Elaboración propia (2019)

Para comprobar si este cambio de pesos podría crear problemas, hemos realizado una evaluación del algoritmo con datos de prueba, cuyo resultado se muestra en forma de matriz de confusión (ANDREW, 2017), lo que ha facilitado conocer la respuesta del algoritmo bajo esas condiciones y nos ha permitido adoptar medidas correctoras (ver Fig. 5).



Fig. 5. Matriz de confusión de predicción de ejemplo de posiciones. Fuente: Elaboración propia con BigML (2019)

En definitiva, el hecho de modificar los pesos mejora la predicción en cuanto a la detección de verdaderos positivos (posiciones que realmente tienen elemento y que se han predicho de forma acertada), pero genera un incremento del número de falsos positivos (posiciones que no tienen elemento y que se predicen de forma errónea). Esta situación se tratará de paliar en el algoritmo final de colocación, mediante la propia combinación de predicciones y mediante criterios de probabilidad.

## 6. Protocolo de comunicación de Autodesk® Revit™ con el servicio web de BigML®

Se adjunta, a continuación, el protocolo de comunicación de módulo de Revit™ con los servicios web de BigML desarrollado en C#.

```

RevitThread.Sync(async () =>
{
    // Delete previous project
    await bmlRoomProxy.DeleteNewestProjectStartsWithAsync(Constants.projectName);
    // Set active project for each BIGML login.
    await bmlRoomProxy.SetCurrentProjectAsync(Constants.projectName);
    await bmlBoundarySegmentProxy.SetCurrentProjectAsync(Constants.projectName);
    await bmlComponentPosition.SetCurrentProjectAsync(Constants.projectName);
    // Number of components in room.
    var source = await bmlRoomProxy.CreateSourceAsync(trainingTableForNumberOfComponentsInRoom);
    var dataset = await bmlRoomProxy.CreateDataSetAsync(source);
    await bmlRoomProxy.CreateModelAsync(dataset);
    // Number of boundaries with components in room.
    source = await bmlRoomProxy.CreateSourceAsync(trainingTableForNumberOfBoundariesWithComponentsInRoom);
    dataset = await bmlRoomProxy.CreateDataSetAsync(source);
    await bmlRoomProxy.CreateModelAsync(dataset);
    // Number of components in boundary segment.
    source = await bmlBoundarySegmentProxy.CreateSourceAsync(trainingTableForNumberOfComponentsInBoundarySegment);
    dataset = await bmlBoundarySegmentProxy.CreateDataSetAsync(source);
    await bmlBoundarySegmentProxy.CreateModelAsync(dataset);
    // Boundary segment has components.
    source = await bmlBoundarySegmentProxy.CreateSourceAsync(trainingTableForBoundarySegmentHasComponents);
    dataset = await bmlBoundarySegmentProxy.CreateDataSetAsync(source);
    await bmlBoundarySegmentProxy.CreateModelAsync(dataset);
    // Component location has component.
    source = await bmlComponentPosition.CreateSourceAsync(trainingTableForComponentLocationHasComponent);
    dataset = await bmlComponentPosition.CreateDataSetAsync(source);
    await bmlComponentPosition.CreateModelAsync(dataset, true);
});

```

## 7. Algoritmo de colocación de elementos

Llegados a este punto, podemos realizar las predicciones, con los algoritmos ya entrenados, para una habitación en la que únicamente conocemos el uso y su geometría, y obtener la siguiente información:

- El número de elementos adosados a muro que tiene la habitación.
- El número de lados de la habitación que contiene algún elemento.
- Para cada uno de los lados, si contiene algún elemento o no, y con qué probabilidad.
- Para cada uno de los lados, el número de elementos que contiene.
- Por último, predecimos para cada posición de cada lado, si en esa posición existe elemento o no, y con qué probabilidad.

A partir de la información obtenida, hemos de desarrollar un algoritmo que consiga colocar todos los elementos adosados a muros procurando cumplir con todos los criterios. El pseudocódigo de nuestro algoritmo será como el siguiente:

1. Mientras el número de elementos colocados en la habitación sea menor que el número de elementos predicho, seguir colocando elementos.
2. Mientras el número de lados en los que hemos colocado elementos sea menor que el número de lados predicho, seguir colocando elementos.
3. Obtener los lados que se ha predicho que han de contener elementos y ordenarlos descendientemente por la probabilidad de contener elementos.
4. Para cada lado, mientras el número de elementos colocados en ese lado sea menor que el número de elementos predicho en ese lado, seguir colocando elementos.

5. Obtener las posiciones de cada lado que se ha predicho que contienen elemento y agruparlas por proximidad. Ordenar los grupos descendientemente por la probabilidad de sus posiciones que sea máxima. Para cada grupo, ordenar las posiciones descendientemente por probabilidad como primer criterio y ascendientemente por distancia al centro del grupo como segundo criterio. Colocar un elemento en la primera posición de cada grupo.

Este algoritmo es bastante conservador, en el sentido en que nunca pueden colocarse más elementos que los predichos en una habitación, no pueden situarse en más lados que los pronosticados y tampoco pueden existir en un lado más elementos que los previstos. Por tanto, existe la posibilidad de que se coloquen definitivamente menos elementos que los predichos para cada habitación.

Se pueden idear algoritmos alternativos que maximicen el número de elementos o incluso que coloquen exactamente el número de elementos por habitación que ha arrojado la predicción, aunque no sea en las posiciones o lados previstos.

Una vez generado el algoritmo para una sola habitación, su generalización consistirá simplemente en aplicarlo independientemente a cada una de las habitaciones. Posteriormente, el proceso completo de entrenamiento-predicción que hemos diseñado, podrá ser aplicado a otros tipos de elementos (tales como enchufes, luminarias, mobiliario, etc.) hasta completar un conjunto de herramientas predictivas que nos permitan colocar la totalidad de elementos de cada tipo.

Tras el uso del algoritmo, se ha de realizar una fase de postproceso, en la que bien con herramientas semiautomatizadas, o manualmente, se han de revisar y corregir los resultados. Un ejemplo de herramienta que ayudaría a la revisión es que se nos señalen las habitaciones en las que el número total de elementos colocados es menor que el predicho, para proceder a su revisión.

## 8. Implementación

Una vez diseñado el algoritmo, hay que implementarlo para poder realizar pruebas reales y comprobar si la solución diseñada funciona según lo previsto. Las pruebas generan la retroalimentación necesaria para mejorar el procedimiento y permiten asegurar que el proceso es aplicable en la práctica.

Se ha realizado una aplicación sobre Autodesk Revit®, mediante la API (*Application Programming Interface*) pública que Autodesk® pone a disposición de los usuarios de Revit®. El código se ha realizado con el lenguaje de programación C#. La aplicación creada reúne los siguientes requisitos:

- Conexión con el servidor de BigML para el envío y recepción de información, de forma que pueda realizarse automáticamente el entrenamiento de los algoritmos y las predicciones (ver apartado 6).
- Extracción de información de las habitaciones de Revit, junto con sus lados y elementos adosados a estos, generando las cinco tablas de datos que se envían a BigML para entrenar los algoritmos y posteriormente generando los datos necesarios para realizar las predicciones con los algoritmos entrenados. Este aspecto implica la innecesidad de incluir en esta comunicación ningún conjunto de datos de entrenamiento pues cada usuario puede entrenar el algoritmo con el juego de datos que desee desde Revit®, de modo que las preferencias del usuario para la colocación de elementos sirven de base a futuras predicciones de ese mismo usuario, incluyendo, por ejemplo, aspectos relacionados con la normativa de aplicación.
- Algoritmo de colocación de elementos, que genera una única secuencia de colocación a partir de las cinco predicciones recibidas.
- Creación de nuevos elementos en función del resultado del algoritmo de colocación, en la habitación, lado y posición correspondientes.

Mediante esta aplicación es posible enviar a BigML la información de las habitaciones, lados y elementos adosados a muros de un modelo, para entrenar los algoritmos, y posteriormente usar los algoritmos entrenados para predecir las posiciones de los elementos en otro modelo, creando nuevos elementos en dichas posiciones.

En este punto, el paso siguiente sería realizar una recopilación de proyectos reales (

Fig. 6) para realizar una evaluación del algoritmo con ellos, midiendo las desviaciones obtenidas en las predicciones para poder mejorar el propio algoritmo, si es preciso. Además de eso, este proceso permitiría acotar el uso de esta tecnología, estableciendo un marco de referencia dentro del cual funciona de forma solvente.

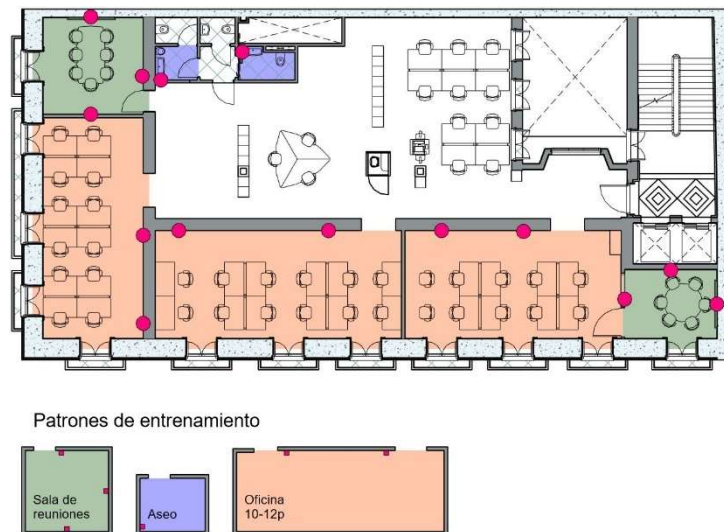


Fig. 6. Ejemplo de colocación automática de elementos en muros a partir de la predicción. Fuente: Elaboración propia (2020)

## 9. Conclusiones

Las técnicas de *Machine Learning* pueden suponer un gran avance en la automatización de la colocación espacial de elementos en modelos BIM. En su aplicación a la colocación de elementos adosados a muros en modelos BIM, las técnicas de ML son capaces de proporcionar una solución automatizada para la tarea propuesta. Dichas técnicas se complementan con el desarrollo de algoritmos convencionales, que procesen las predicciones y las adapten a criterios dados, además de asegurar la coherencia última de los resultados.

En el caso concreto expuesto, existen posibilidades de mejora del algoritmo propuesto. Las características que se podrían explorar en futuras revisiones son, sobre todo, la predicción de las alturas a la que se sitúan los elementos y la inclusión de posiciones de los elementos de forma absoluta, no solo relativa.

Los resultados obtenidos son de carácter cualitativo y de fundamento probabilístico, por lo que es conveniente realizar una revisión y corrección a posteriori. Esto no merma la utilidad de la aplicación, ni el ahorro de tiempo que se deriva de la automatización del proceso, por lo que resultan técnicas cuya aplicación es recomendable en entornos en los que el uso del tiempo sea una variable crítica.

## Referencias

- ALPAYDIN, E. (2016). Machine Learning: The new AI. *The MIT Press Essential Knowledge series*.
- ANDREW, N. (09 de 03 de 2017). *Stanford University Machine Learning Course*. Obtenido de Coursera: <https://es.coursera.org/learn/machine-learning>
- BigML. (04 de 03 de 2019). *BigML*. Obtenido de <https://bigml.com>
- BLOCH, T., & SACKS, R. (2018). Coparing machine learning and rule-based interferencing for semantic enrichment of BIM models. *Automation in Construction* 91, 256-272.
- NUÑEZ CALZADO, P., ALARCÓN LÓPEZ, I., & MARTÍNEZ GÓMEZ, D. (2018). Machine Learning en modelos BIM. *EUBIM 2018: BIM international Conference* (págs. 99-109). Valencia: Universitat Politècnica de València.

## METODOLOGÍA HBIM PARA LA CARACTERIZACIÓN DE DIFERENTES INTERVENCIONES POR ÉPOCA EN EL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO: APLICACIÓN EN EL TEATRO ROMANO DE SAGUNTO

Cos-Gayón\_López, Fernando<sup>a</sup>; Sfeir, Lucas<sup>b</sup>; Cordón\_Llácer, Joan<sup>c</sup>

<sup>a</sup>PhD. Arquitecto Técnico y Arquitecto - Profesor Titular Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Edificación. Dpto de Construcciones Arquitectónicas, Universitat Politècnica de València, fcosgay@csa.upv.es <sup>b</sup>Arquitecto - Univ. de Belgrano, Argentina. Máster en Edificación UPV, lusf@edificacion.upv.es <sup>c</sup>Arquitecto - Universitat Politècnica de València. Máster en Edificación UPV, joacorll@alumni.upv.es

### Abstract

*Based on this research work on the fact that heritage constructions are made up of different parts that make the building's own history, of which they are sometimes a stratigraphic order, the implementation of new techniques and tools is necessary for its evolution. As is HBIM, where analog components are intelligent prototypes of the physical elements of the construction, such as walls, pillars, windows, doors, stairs, and so on. Allowing to simulate a three-dimensional information model of the building, with which we can understand the characterization in its virtual environment. All this as part of the International Research project "DIANA Project", with practice at the Teatro Romano de Sagunto, this research will diversify, establish and record the obstacles through which the building has passed, examine precisely and specify the different elements that make up the building, with the aim of achieving a reliable three-dimensional digital modeling capable of understanding and analyzing the destructive and constructive terms that resist. Achieving an inclusive focus of graphic and geometric exploration, in which the different participants; Historians, architect, engineers and restaurateurs can be found and in a coordinated manner can dump their knowledge.*

**Keywords:** HBIM management, digital architectural heritage, BIM, architectural stratigraphy, historical modeling.

### Resumen

*Asentando este trabajo de investigación en el hecho de que las construcciones patrimoniales se componen de distintas partes que hacen a la historia propia del edificio, de los cuales son sometidos a un orden estratigráfico, vemos necesario para su evolución la implementación de nuevas técnicas y herramientas. Por lo tanto se decidió enmarcar la investigación dentro de una metodología tecnológica contemporánea, como lo es HBIM (Historic Building Information Model/Management), donde los componentes analógicos son prototipos inteligentes de los elementos físicos de la construcción, como pueden ser los muros, pilares, ventanas, puertas, escaleras, etcétera. Permitiendo simular un modelo de información tridimensional del edificio, con cual podremos entender la caracterización en su entorno virtual. Todo esto como parte del proyecto de Investigación Internacional "Project DIANA", con práctica en el Teatro Romano de Sagunto, la presente investigación procede a diversificar, establecer y anotar los períodos por las que ha pasado el edificio, examinando de forma precisa y detallada los distintos elementos que componen la edificación, con el objetivo de lograr una modelización tridimensional digital fidedigna capaz de entender y analizar los términos destructivos y constructivos que resistió. Logrando un foco inclusivo de exploración gráfica y geométrica, en la cual los distintos participantes, arqueólogos, historiadores, arquitectos, ingenieros y restauradores, se puede encontrar y de forma coordinada pueden volcar sus conocimientos.*



**Palabras clave:** Gestión HBIM, patrimonio arquitectónico digital, BIM, estratigrafía arquitectónica, modelado histórico.

---

## Introducción

El equipo del Proyecto Internacional “DIANA” (*Digitalization, ANalysis and characterization HBIM for cultural disclosure with immersive virtual reality in the Castle And Roman Theater of Sagunto*) está investigando varias vertientes ligadas a la metodología HBIM con aplicación en Teatro, Foro y Castillo Romano de Sagunto. La presente investigación toma como referencia el Teatro Romano de Sagunto, partiendo de un modelo de información BIM en el que se fue ampliando y elaborando distintas hipótesis.

Es importante comentar que el modelo de información del Teatro Romano de Sagunto está en constante renovación, al cual se aporta continuamente mayor definición paramétrica, tanto en los elementos propios del monumento como en la manera de ingresar y exportar documentación.

### 1. Objetivos

Dentro de los objetivos generales de esta investigación, se ha compilado mayor información sobre el estado actual de la documentación del Teatro Romano de Sagunto y de la metodología H-BIM (Roncella, 2018), haciendo foco en las que se hace referencia de intervenciones por época y caracterización. Por otro lado, se sigue implementando nuevas herramientas en el modelo la información, como lo son la fusionando de los datos obtenidos de la documentación histórica en las que se hace referencia a las distintas intervenciones con la caracterización en el modelo de información.

Como objetivos específicos, los siguientes puntos:

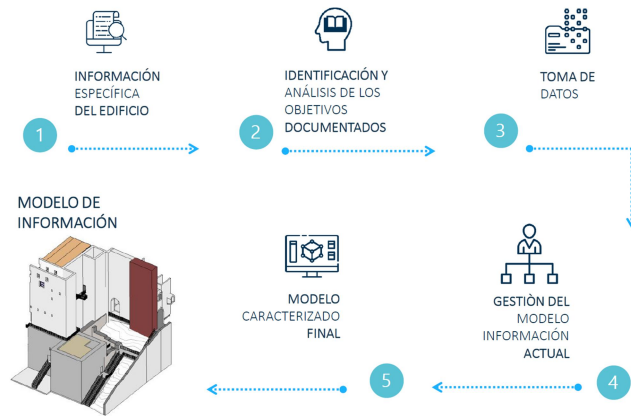
- Elaborar un protocolo, para evitar reprocesos y pérdidas de tiempo.
- Designar las fases intervención por época que tuvo el monumento en el modelo de información mediante metodología H-BIM.
- Aplicación estratigráfica en el modelo de información como nueva herramienta de caracterización.

### 2. Metodología

Con el fin de cumplir con los objetivos planteados y para el correcto entendimiento de la presente investigación, se propone una metodología que va de lo general a lo particular. Partiendo de la contextualización del problema al cual se hace hincapié, que es la falta de una metodología H-BIM donde se aplique la caracterización en el patrimonio arquitectónico.

Luego en el modelo de información, se deberá establecer las distintas intervenciones por época que se dieron a nivel general en el monumento. Dicha información estaba dispersa entre varios documentos, donde además es una información poco accesible considerando la importancia que tiene para la correcta gestión del proyecto; en cuanto que se trata de definir la caracterización de las distintas intervenciones por época. Del mismo modo y a nivel particular, se estudiará la caracterización de las diferentes intervenciones que se dieron en el Teatro Romano de Sagunto, tomando como referencia una muestra de un determinado sector para establecer unidades estratigráficas. Para esto nos apoyamos en el “método Harris” y la “matrix Harris” (Harris, 1979).

Por último, dentro de la metodología programada y entorno a lo investigado en referencia a la necesidad establecer un protocolo que permita igualar los procesos de investigación para facilitar el correcto entendimiento de los pasos a implementar, tal como propone la investigadora Jordán-Palomar (Jordán-Palomar, 2018), se plantean el protocolo siguiente:



Esquema de protocolo planteado y sus alcances. Fuente: Elaboración propia

### 3. Estado del arte

Se ha realizado un completo vaciado bibliográfico referente a las zonas de intervención en el monumento, que se tomará como referencia para desarrollar la hipótesis de las diferentes intervenciones por época que se investigó en el presente trabajo, (Hernández, 2008).

De la documentación bibliográfica utilizada, podemos destacar el libro “El teatro romano de Sagunto: génesis y construcción” (Lara, 1991), por su amplia y detallada información, y se ha sido base documental para poder entender mejor la línea temporal y las distintas intervenciones.

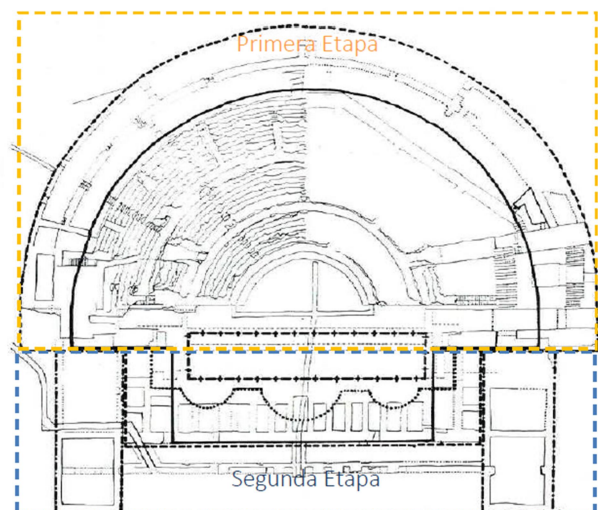


Fig. 1. Planimetría de las Fases constructivas del Teatro Romano de Sagunto. Fuente: M. Beltrán Lloris, *El teatro romano de Sagunto*. In: *Actas del simposio, El teatro en la Hispania romana*. Mérida, 1980, pág. 153-182

De la figura anterior, lo que se debe destacar es lo que hace a la teoría de fases constructivas y en la que la mayoría de los investigadores coinciden (Arangui, 2010), y es que el teatro fue construido en distintas etapas. Siendo de la primera parte la adecuación del terreno, cloacas y zona de graderío, enmarcado en color naranja dentro de la figura anterior y en una segunda etapa la zona del escenario enmarcado en color azul. Luego durante los años comprendidos entre 1955 al 1969 se realizaron varias intervenciones, pero fueron para conservar al mínimo el estado del monumento.

Finalmente para 1984 se realiza una restauración de Giorgio Grassi y Manuel Portaceli (Portaceli, 1993), que más allá de la gran controversia que suscitó este proyecto, se convierte en el de mayor grado de intervención constructiva y él que pone en evidencia lo que pertenece al pasado y lo que es contemporáneo.

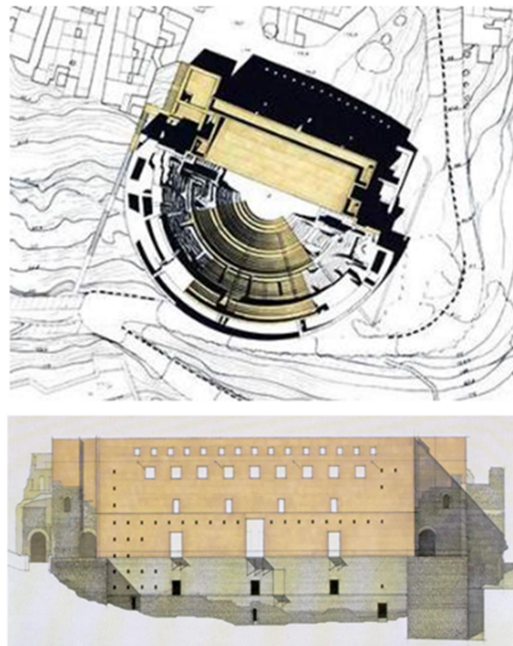


Figura 2. Planimetrías Teatro Romano de Sagunto. Izq. Planta – Der. Fachada principal. Fuente: Manuel Portaceli “Rehabilitación del Teatro Romano de Sagunto”, Valencia, 1984.

El segundo aspecto estudiado en el presente trabajo de investigación es el específico a la caracterización de etapas diferentes de intervención en un monumento, y que a fin de concretar en un ejemplo real, se ha seleccionado el muro de cierre del segundo anillo orientado de noroeste al sureste que enmarca el acceso principal a la zona de graderío del teatro Romano de Sagunto, debido a las sucesivas actuaciones que históricamente ha padecido. Para ello, se estableció como hipótesis la estratificación de un paramento tomando como eje central su aplicación dentro de la metodología H-BIM y el mencionado modelo de información AUTODESK® REVIT™.



Figura 3. Imágenes del muro seleccionado del el Teatro Romano de Sagunto. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, teniendo como base el flujo de trabajo descrito por (Cos-Gayon, 2016), se realizó las mediciones en la nube de puntos del paramento seleccionado para detallar los cambios de mampostería que supone la realización de una intervención en una determinada época, dicha nube de puntos fue realizada a partir de la toma de datos, utilizando equipos de escaneo Leica ScanStation P40 y Cámara iStar de NCTech & Leica en distintos puntos del monumento. Toda este material se comparó con la información obtenida de través de BIMMATE para que la geolocalización sea lo más exacta posible. Luego siguiendo el método Harris y sus 4 leyes de estratificación arqueológica, se determinó las relaciones entre unidades estratigráficas para ser aplicado dentro del entorno HBIM, como se puede observar en la siguiente figura:

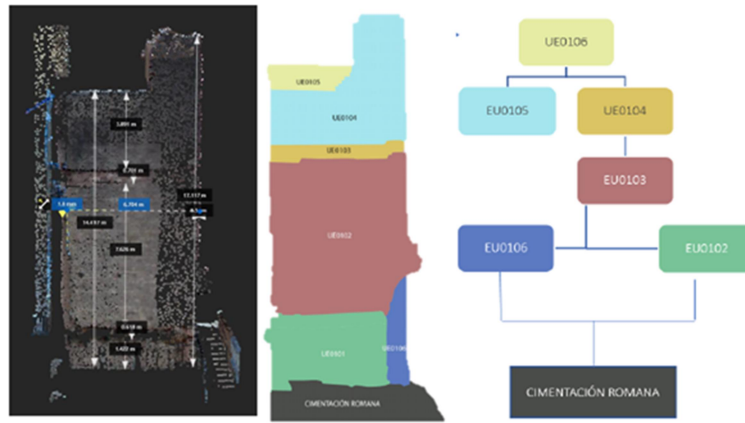


Fig. 4. Medidas del paramento seleccionado de la nube de puntos con RecapTM de Autodesk® 2019. Asignación de UE y progreso de diagrama de sucesión para llegar a la Matrix de Harris. Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Desarrollo del trabajo de investigación

Establecido la documentación histórica, se procede a realizar el planteamiento de la hipótesis de las distintas intervenciones por época que se realizaron en el Teatro Romano de Sagunto aplicando metodología HBIM en el modelo de información, siguiendo la correspondiente línea temporal de intervenciones.

Por tanto, el primer paso fue establecer las épocas en cuadro de Fases de Proyecto. Como se observa en la figura 6, la parte superior es lo más antiguo “pasado” y hacia la parte inferior lo presente “futuro”. Esto servirá para separar y colocar una pequeña descripción de las distintas fases y elementos que componen al Teatro.

Establecida las fases, se debe colocar cada elemento del modelo de información AUTODESK® REVIT™ en la fase que le corresponda. Como se puede observar en la figura 5, se debe seleccionar el elemento a asignar una determinada fase, que puede ser un muro, suelo, escalera, ventana, o cualquier otro tipo de elemento que permita la asignación de una fase. Seguidamente, dentro del cuadro de propiedades, en la parte de “Proceso por Fases”, se le asigna la correspondiente.

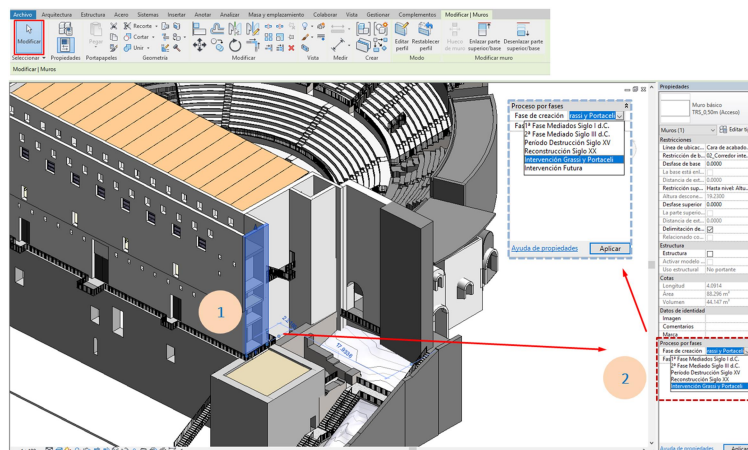


Fig. 5. Ejemplo de cómo se fue agregando cada elemento a la Fase. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la caracterización y estratificación del muro, un paso importante para la correcta estratificación es tener vinculada la nube de puntos en el modelo de información, ya que a partir de los datos reales se puede modelar el teatro y comprobar los distintos paramentos que presenta el muro en estudio.

Para la edición del perfil del muro, vemos que al seleccionar el muro aparece en la cinta de opciones, la herramienta “Editar perfil”, tal como aparece en la figura nueve. Desde aquí se fue siguiendo detalladamente el perfil de cada parte del paramento. Luego se identificó de manera visual los distintos tipos de UE (Unidades Estratigráficas), asignándole una etiqueta a cada uno de los muros.

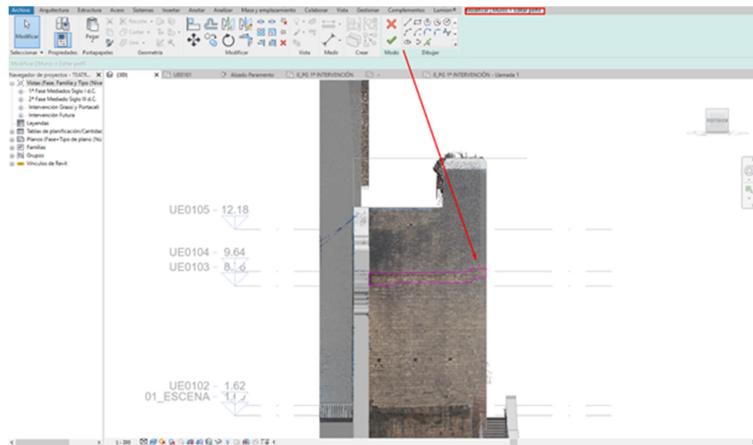


Fig. 6. Creación UE en el modelo de información. Fuente: Elaboración propia.

## 5. Resultados

Como se puede observar en las siguientes figuras, al seleccionar el filtro correspondiente de la Fase de intervención, se visualizará solo lo que se hizo en esa fase. Diferenciando lo que sería los trabajos sobre gradería, los respectivos sectores de vomitorium, accesos, circulaciones entre las distintas cáveas, el escenario, la zona acceso al teatro y la última restauración. Por lo que es sumamente fácil identificar los elementos que componen la intervención y con ello el potencial que representa esta herramienta para la correcta gestión de toda la documentación que se puede aportar.

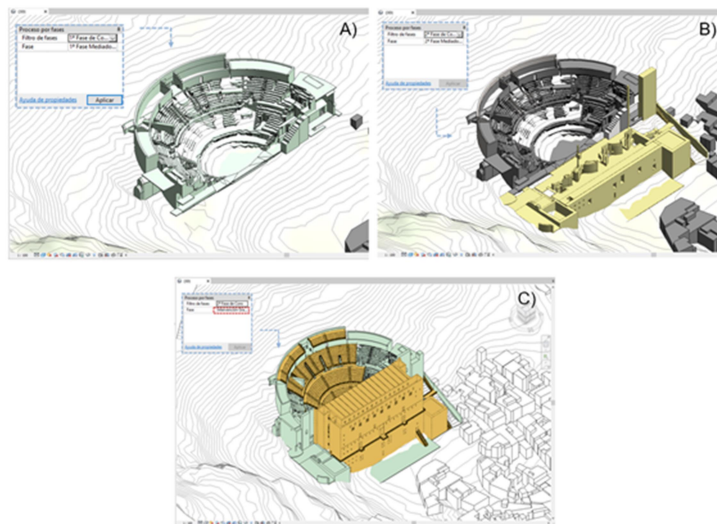


Fig. 7. A) Primera Fase de Construcción: Visualizando en color verde solo los elementos existentes e originales. B) Segunda Fase de Construcción. Visualizando los elementos nuevos en color amarillo, en relación con el existente. C) Intervención Siglo XXI: Visualizando lo nuevo post periodo de destrucción (Intervención Grassi y Portaceli). Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el resultado es tener el muro de cierre del segundo anillo definido en todo su conjunto y el paramento completo. De esta forma se aumenta el nivel de detalle a un LOD 300 (Alonso, 2012) de manera que todas las unidades estratigráficas están perfectamente definidas y con una correcta información gráfica, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

Por último, como se puede observar en la figura ocho se adicionó dentro de la etiqueta, la leyenda del tipo sistema constructivo utilizado. Dichas información fue consultada en la documentación aportada por la Dra. Emilia Hernández, Arqueóloga-Directora del Museo Arqueológico de Sagunto, en su investigación (Hernández & Aranegui, 1993) del Teatro Romano de Sagunto.

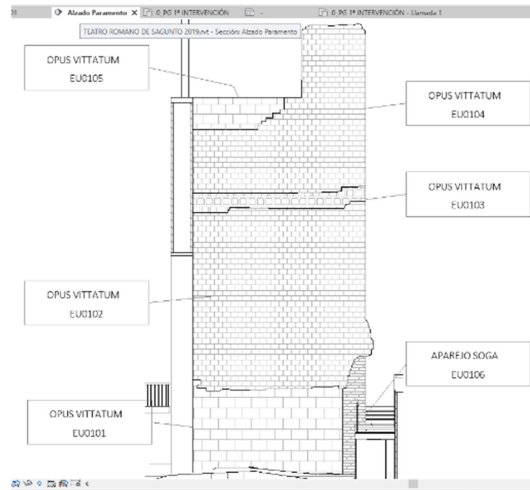


Fig. 8. Alzado de los paramentos investigado con todas sus UE asignadas y vista en planta del muro investigado, donde puede ver los elementos interiores que lo componen. Fuente: Elaboración propia.

## 6. Conclusiones

Habiendo finalizado la investigación, se puede afirmar que los objetivos programados fueron alcanzados, de los cuales se pudo obtener distintas conclusiones. La primera es remarcar la importancia de establecer un **protocolo** para que en el proyecto patrimonial en el que se esté por trabajar pueda ir creciendo sin necesidad de tener reprocesos que conlleven pérdidas de tiempo y que permita la adaptabilidad a otras plataformas o métodos, a lo largo del tiempo.

Dentro de esta misma etapa, remarcar la importancia que tiene poder comprobar la ubicación geográfica con la **georreferencia** catastral con la que se pudo comprobar la relación del monumento con la topográfica. Documentación detallada y precisa: al ir agregando nueva información se va aumentando el **nivel de detalle** convirtiendo el modelo de información en un elemento vital para la gestión de las futuras intervenciones. Idoneidad de la **Obligatoriedad** en los proyectos de licitación público y en el sector privado. Promover el desarrollo de este tipo de metodologías, así como seguir investigando nuevas herramientas dentro del **HBIM**, buscando estandarizar protocolos específicos.

Del trabajo realizado sobre el monumento y la estratificación, se constata que el método más eficaz para la tomar los datos de todo proyecto es el Escáner Laser, ya que proporciona detalles muy precisos del monumento en un corto periodo de tiempo, y su inserción en el modelo para contraste y permanente comprobación.

### 6.1. Contribuciones

En esta investigación, se ha podido establecer un protocolo satisfactorio que permite reconocer de manera rápida y sencilla las **Fases Constructivas** que intervinieron en la realidad actual del monumento, donde además de lograr una visualización efectiva, se puede planificar y controlar la gestión del edificio a lo largo del tiempo según el sector de intervención. Aun con ello, se debe seguir trabajando en el modelo de información, detallando aún más cada intervención para lograr completar la documentación para identificar mejor las intervenciones históricas.

La otra contribución significativa que aporta esta investigación es la que hace referencia a la integración de la metodología de **Estratificación con la metodología HBIM**, convirtiéndose en una forma fiable y contrastada para caracterizar las distintas intervenciones que pudo haber sufrido un determinado monumento, o parte del monumento, que se investigue, aumentado considerablemente su LOD.

## 6.2. Aplicaciones futuras de investigación

En referencia al H-BIM:

- Comprobación y ajustes de los protocolos planteados: se debe aumentar el trabajo de campo y ampliar la información.
- Traducir el material a varios idiomas: existe un desfase entre el número de investigaciones que hay entre el idioma español y el inglés.
- Mayor investigación sobre todo lo que hace a esta metodología.
- Aumentar el nivel de detalle y dimensiones que tiene el modelo actual.

En referencia al Teatro Romano de Sagunto:

- Detallar todas las intervenciones: elaborar un modelo que tenga todas las posibles intervenciones realizadas.
- Catalogar los elementos que lo compone según sus cualidades: cuanta mayor información se pueda incluir mejor (imágenes, medidas, pruebas de materiales, texturas, color, etc.)
- Agregar geolocalización de los elementos y crear un panel de mandos con los datos del modelo las fases constructivas, antigüedad, estratificación, etc. A modo de base de datos con el análisis de datos asociado.

## Referencias

- ALONSO, J. (2012). Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España. *Revista Building Smart JAMArt*, 109–117. Retrieved from: [https://escuelaedificacion.org/images/zoo/uploads/PDF/PRESENCIALES/MBIM/Revista\\_Building\\_Smart\\_JAM\\_Art.pdf](https://escuelaedificacion.org/images/zoo/uploads/PDF/PRESENCIALES/MBIM/Revista_Building_Smart_JAM_Art.pdf)
- BiMMate: MODELO BIM AVANZADO < <https://m1.bimmate.com/magento1/> > [Consulta: 10 Mayo 2019]
- BRUNO, N., y RONCELLA, R. (2018). *A restoration oriented HBIM system for cultural heritage documentation: The case study of parma cathedral. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2), 171–178.
- CARMEN ARANEGUI GASCÓ, E. et al. (2010). *Nuevas aportaciones al conocimiento del Teatro Romano de Sagunto*. 11, 316–323. Retrieved from <https://www.raco.cat/index.php/Empuries/article/view/118195/288387> [Fecha de consulta: 15 Junio 2019].
- COS-GAYÓN, F., CORDÓN, J., ANQUELA, A., BONET, E. (2016). “Aplicaciones de la realidad virtual inmersiva en el Teatro Romano de Sagunto (Valencia, España)”. EUBIM 2016 Congreso Internacional BIM / 5º Encuentro de Usuarios BIM, Ed. UPV. pp. 138-149.
- HARRIS, E. C. (1991): *Principios de estratigrafía arqueológica*. Editorial Crítica, Barcelona (1989). Traducción I. García Trócoli.
- HERNÁNDEZ, (2008). “Nuevas aportaciones al conocimiento del teatro romano de Sagunto”. *Empuries: revista de món clàssic i antiguitat tardana*; Núm.: 45-46 (1983-1984).
- JORDAN-PALOMAR, I. et al. (2018). “Protocol to Manage Heritage-Building Interventions Using Heritage Building Information Modelling (HBIM)”. *Sustainability*. 10. 908. p. 1-19.
- PORTACELI, M. (1993). “La rehabilitación del teatro romano de Sagunto. Cuadernos de Arquitectura Romana”, Vol. 2, Num.:43-45. España. ISSN 1133-6129
- SALVADOR LARA ORTEGA (1991) “El teatro romano de Sagunto: génesis y construcción” Editorial Universitat Politècnica de València.

## DATA CLASSIFICATION IN BUILDING DATA PROJECTS: AN INFORMATION-BASED APPROACH TO BIM PROJECTS IN FRANCE

Gordo-Gregorio, Paula<sup>a</sup>; Guéna, François<sup>b</sup>

<sup>a</sup>PHD Student in Architecture-Laboratoires LET-LAVUE UMR 7218 and MAP-MAACC-UMR 3495, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture Paris La Villette (ENSAPLV), France, [paula.gordogregorio.auditeur@lecnam.net](mailto:paula.gordogregorio.auditeur@lecnam.net) <sup>b</sup>Architect, researcher, professor at the ENSAPLV and Director of the laboratory MAP-MAACC-UMR 3495, CNRS/MC, [francois.guena@paris-lavillette.archi.fr](mailto:francois.guena@paris-lavillette.archi.fr)

### Abstract

*Data in BIM projects include information on material characteristics, dimensions, energy simulations, equipment maintenance, occupancy patterns, space functions, etc. In these projects, the process of creating and retrieving building data is crucial for the larger construction project. The detailed review of ongoing BIM projects in France revealed how much the aforementioned process had gained weight, to the point of becoming a complete project in itself, the “building data project”. We formulate the hypothesis that building data and their classification are a suitable observatory of the system of actors working on the building construction process and their interests. Through the building data project, a whole set of new concerns are integrated into the modelling process, which was previously mainly focused on formal and functional aspects of the building. We therefore considered data classification and selection as an opportunity to explore emerging interests and requirements in the building design process. Following the analysis of databases related to 12 BIM projects in the design phase, we propose a tool for the classification of building data into multiple categories which reflect the actors’ main concerns and interests.*

**Keywords:** BIM, Building Information, Actors, classifications, database.

### Resumen

*Los datos del edificio en los proyectos BIM incluyen información de los materiales, las dimensiones, las simulaciones energéticas, el mantenimiento, la ocupación etc. En estos proyectos, el proceso de creación y recuperación de datos del edificio se convierte en un aspecto crucial. El análisis de varios proyectos BIM en Francia, nos ha permitido observar cómo dicho proceso ha ido ganando peso, hasta llegar a convertirse en un proyecto en sí mismo, que denominamos, “proyecto de datos del edificio”. Formulamos la hipótesis de que estos datos y su clasificación, se presentan como un buen observatorio a la hora de evaluar los intereses de los actores que trabajan en la construcción de un edificio. Mediante el proyecto de datos, se integran nuevas preocupaciones en el proceso de modelización, que anteriormente se centraba en los aspectos formales y funcionales. Consideramos que la clasificación y selección de la información en el proyecto, como una oportunidad para explorar nuevas reflexiones emergentes durante la concepción del edificio. Como resultado del análisis de las bases de datos de 12 proyectos BIM en la fase de concepción, proponemos una herramienta para clasificar esta información en diferentes categorías que representan los intereses de los principales actores del proyecto.*

**Palabras clave:** BIM, Información del edificio, actores, clasificaciones, base de datos.



## Introduction

Information-based approaches are becoming more and more relevant across fields. In fact, in his work on the “Third Industrial Revolution” (Rifkin, 2012), Jeremy Rifkin emphasized the emerging importance of information across a variety of disciplines. He highlighted how this recent shift has and is still revolutionizing and drastically altering workflow, processes, and methodologies. Within the construction field, the digital and information revolution gave rise to BIM technologies, which have dramatically modified the processes through which buildings are conceived, designed, constructed, and ultimately managed (Tulenheimo, 2015). The introduction of data into this field not only impacted the entire construction processes, but also led to the establishment and appearance of an entirely new project -which we will call *The Building Data Project (BDP)*- developed in parallel to the traditional construction project, and whose aim is to generate a database for the building.

The aim of gathering and storing building data can be traced back to the human desire to collect information. In his book, *Digital Culture in Architecture* (Picon, 2010), Antoine Picon highlights the fact that people had always had an interest in storing information, eventually leading to the creation of libraries and the later development of printing technology. Following the Industrial Revolution in the XVIII century, products that included construction elements and materials were accompanied by more and more specifications. Within the construction field, this information also increased in significance, moving from minor notes on building plans to extensive written records. After the end of the Second World War, the standardization of all this information became a necessity. As such, each field began developing and imposing its own standards and classifications. Within the building construction field most of these classifications were developed by the Construction Specifications Institute (CSI) starting with Masterformat in 1963. In the US the CSI's more recent classifications in 2010 and 2015, namely, Omniclass and Unifomat, are currently imposed in most BIM projects worldwide (Afsari & Eastman, 2016). These US classifications as well as the UK classifications like Uniclass -developed by the CPIC in England from 1997- have also been integrated into the ISO building standards -ISO 19650 and ISO 12006-. Developed in the Anglo-Saxon world, these classifications are linked to the organisation of the design process and the data used in that specific context.

In this article, we aim to gain a better understanding of the building data project in addition to its actors' interests and concerns, mainly through the development and reliance on a tool which proposes new categories based on early data classification systems in France. These categories were used to analyse the databases of 12 BIM projects. We assume that the analysis of the building database and the process through which it was created and expanded can reveal the stakeholder's interests in the building, the evolution of building construction practices, and the future management of the building. In order to analyse stakeholders' concerns we have studied different building data classifications. However, most studies on the nature of building data in France were conducted in the 80s and 90s, while researchers were trying to develop tools that allowed the development of Computer Aided Design. From these primitive classifications, researchers attempted to answer questions such as: *What kind of data? Who will use it? How to treat this data? Etc.* (Quintrand et al., 1985). Nowadays, research studies concerning data classifications relate to existing BIM tools, international standards, and interoperability formats. Therefore, in order to identify the nature of the data and relate it to the actors' concerns and interests, it would be useful to rely on the more primitive classifications which allowed architects and engineers to develop the initial tools from the most extensive set of questions.

### 1. How to Classify Building Data in a Building Data Project?

Information in building databases often originate from multiple heterogeneous sources and numerous actors from a variety of fields (Afsari & Eastman, 2014) (Eastman, 1999). Consistently, a single project may lead to different databases depending on the interests and needs of the actors in charge. Through the building data project these databases are created and linked to the building geometry.

### 1.1. The Building Data Project: Definition, Actors, Phases and Purpose

We define a project as a broad approach that aims to provide an answer to a question or to solve a problem (Boutinet, 1990) (Prost, 2014). In this particular case, the building data project aims to satisfy the informational needs, requirements, and interests of the various actors, leading to the creation of a building database. The BDP actors, who may simultaneously be actors of the building construction project, can be categorized into two kinds: those who model and introduce information in the project through BIM software and those who decide what information to introduce depending on what BIM Uses should be implemented. The BIM Uses consists in a list included in the BIM Execution Plan that defines the main reasons behind the decision to work on BIM in this project.

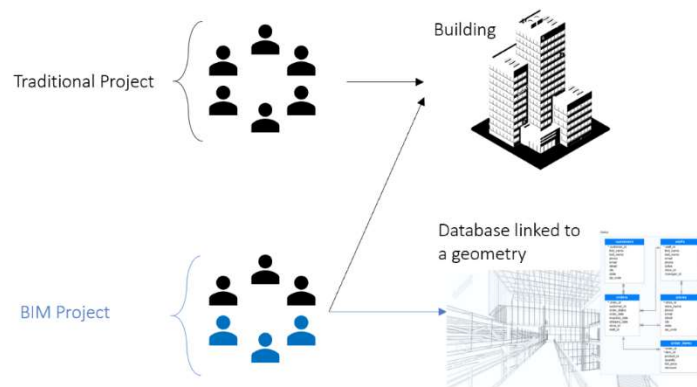


Fig. 1 Comparison between traditional Project and BIM project. Source: Prepared by the author (2020)

In a traditional project, a group of actors produce a building. However, nowadays the BIM construction project produces two outputs: the building itself, in addition to a database linked to the building's digital geometry. The building construction project and the BDP have the same temporality, they both evolve in parallel throughout the design, construction and facility management phases. Within the French context, each of the aforementioned phases is characterized by a different database and geometrical model. In fact, each of the three phases may include a different set of actors who value specific information. For example, during the construction phase, the code and location of all structural elements are extracted from the database. However, this information becomes less relevant during the remaining phases since in every phase of the construction process, the actors will change along with their needs and interests.

### 1.2. Building Databases in France

We start from the study of the historical background of building databases in France in order to find the way to structure, classify, and qualify the big amounts of building data that we obtain during the analysis of the BIM projects. The international benchmark for BIM nowadays in every European country is the norm ISO 19650. Regarding to building databases classifications, the ISO 19650 standard, released in December 2018, states:

*“Classification of objects should be in accordance with the principles in ISO 12006-2. Object information should be in accordance with ISO 12006-3, to support object exchange.”* (ISO, 2018)

Taking into account the research of Afsari and Eastman (Afsari & Eastman, 2016), this norm ISO 12006-3 (ISO, 2007) works as a support for the most common classification systems nowadays: Unifomat, Uniclass and Omniclass. However, these classifications were developed in the UK and the US, and their categories do not address the actors' interests and concerns.

As we are working with a specific system of actors which relates to the way that the construction process works in France, we decided to focus on recent French research. The POBIM project is one of the most important BIM research projects in France, a huge dictionary or census of BIM generic object properties and models. This project and the PPBIM norm are based on the norm XP P07-150 from 2014 (Lefauconnier,

2017). This norm is an experimental French standard and there is no other document of that kind at the international level. The main objective of this project is to achieve the census of all the properties necessary to define every object, disregarding who is the actor that introduces it or why.

We also analyzed the work of BuildingSMART France, the most important organization that works on BIM development in France which is related to BuildingSMART International. This organization appeared in 1996 and its works are mainly focused on the development of IFC, in addition, they had developed researches about Interoperability, good practices, standards, collaboration, international classifications etc. Nevertheless, the research that involve good practices or work methodologies are not related to classifications and their work on international classifications relates to the Anglo-Saxon classifications: Unifomat, Omniclass and Uniclass. Finally, considering IFC, the classification of data that allows interoperability between the different formats and software in the construction field created by the International Alliance for Interoperability (IAI, 2002), it aims to define a common language for technology regardless of the software tool (Ekholm, 2005). It defined about 900 classes in order to assign a class to every designed object. These classes refer to entities in the BIM Model, and have associated properties that defined the entities' characteristics. These classes refer to any element in the project and are usually divided by disciplines (structure, electricity plumbing etc.) (Fig. 2).

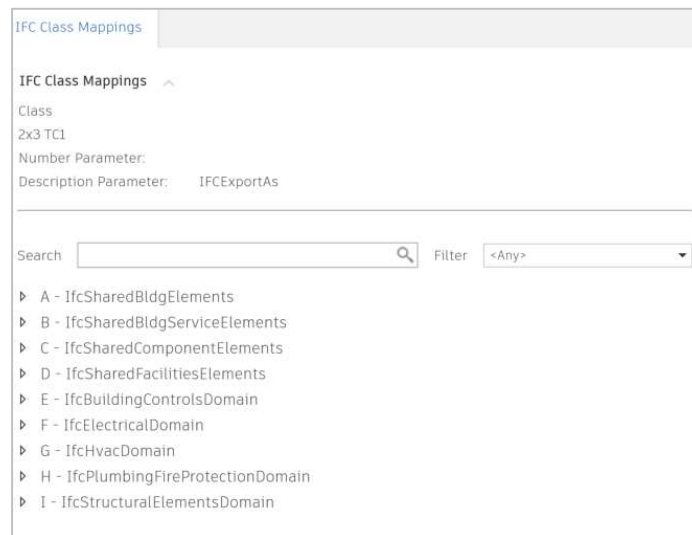


Fig. 2 Screenshot from the BIM Interoperability Tools Plugin of AUTODESK. Source: Prepared by the author (2020)

At this point we assumed that the current research is based on the existing tools, and their classifications impose the way they structure data. In addition, analysing actors' concerns doesn't seem to be a priority in the classification of building data nowadays. We hypothesized that analysing the studies that address the development of the first Computer Aided Design tools, we could find more primitive classifications that address building data nature and the actors who introduce them.

### 1.2.1. Early research on Building Databases in France

In the past, the development of Computer Aided Design (CAD) software in France (INPROBAT, 1986) and abroad (Eastman, 1980) involved substantial research on data classification. From 1985 to 1989, the programme IN.PRO.BAT - INformatique, PROductique et BATiment, "the Construction Plan" from the Ministry of Public Works, Housing, Urban Planning and Transport conducted important research that linked computer science and Architecture in France. Much of this research was conducted among others by the *Centre Régional de Conception Assistée par Ordinateur Midi Pyrénées* (CAOMIP), the *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* (CSTB), the *Groupe de recherche pour l'Application des Méthodes Scientifiques à l'Architecture et à l'Urbanisme* (GAMSAU) and the *Centre d'Informatique et de Méthodologies en Architecture* (CIMA), in the 80s and 90s (Goulette et al., 1988) (Fregier, 1983) (Guéna & Leininger, 1986). This research on database classifications were further developed in the next years by members of the

GAMSAU in Marseille, whose research was mainly focused on the building information management and description during its life cycle taking into account the actors needs and concerns (Hamani, 2005) (Ameziane,1998) (Lasserre, 2003).

*“Les informations utiles à la mission d’un intervenant peuvent être extraites selon son profil adaptatif”  
// “The important information in an actor’s mission could be extracted depending on its adaptative profile” (Hamani, 2005)*

This sentence reveals that the actors have different missions, each of which relates to different information. As such, the actors will have varying “informational” needs and interests.

Finally, the project we rely on is the “Definition and validation of a database management system specific to the design-build project” (Ferries et al., 1985). Bernard Ferries -today, one of the representatives of BuildingSMART France- and his colleagues, proposed a data characteristics categorization after participating in all the meetings of the project stakeholders, analysed their interests and needs and finally tested a software programme used to structure building data. This data classification was divided into: Dimensional, Functional, Economical and Technical characteristics. For these researchers analysing the actors’ needs was essential to provide them with the software tools which better adapt to their tasks. For us, the actors’ needs are necessary in order to better understand and classify their informational interests towards the project and its future facility management. We therefore believe that the way they structured the building data can be adapted to our analysis of BIM projects since it is focused on the flow of information across the different actors, as well as their needs and interests.

## 2. The Development of a tool to classify Building Data based on actor’s concerns

We conducted 12 case studies in order to uncover and analyse the building data introduced by all the actors during the design phase of the construction project. Furthermore, we organized and classified this data relying on previous research on building databases conducted in France.

### 2.1. The Building Information Hierarchy

In order to select what data from the databases of the 12 projects we were going to analyse, we had to develop and rely on a hierarchy of information. We began by analysing the data chosen and filled in by the actors according to the difficulty of its introduction. The building data project combines three types of data: "automatic", "parameterized", and "extraordinary". Automatic data are produced mechanically by BIM software; they result from modelling and most of them are dimensional data. The second type of data consists of parameters that pre-exist in the BIM software but must be filled in manually. The third type of data are characteristics that do not pre-exist in the software. These are integrated by the designers through plug-ins or by creating new parameters. Data of the latter type highlight issues for which stakeholders generally invest more time. These new parameters (Fig. 3) are accessible from the regulatory documents of the BIM project (protocol and specifications), in addition to the schedules (tables structuring the data) that have been extracted from the building information model.

Our research is therefore based on identifying the “extraordinary” data and classifying it under the assumption that these new parameters illustrate the main interests of the project which can’t be achieved through the existing parameters. As a first approach, we extracted all these new parameters and we classified them into the following categories: Dimensional, Functional, Economical and Technical. Afterwards, we analysed the properties that did not fit the aforementioned categorization in an effort to develop it further.

### 2.2. Classification of the extra-ordinary information per actor

The study results are presented in the below tables. The tables were first divided into type of information, namely: technical, dimensional, economical and functional. As most of the information was technical, this

section was further divided into three new subcategories that include the characteristics of architectural elements, materials, as well as devices and machines elements. Information that did not fit into any of the

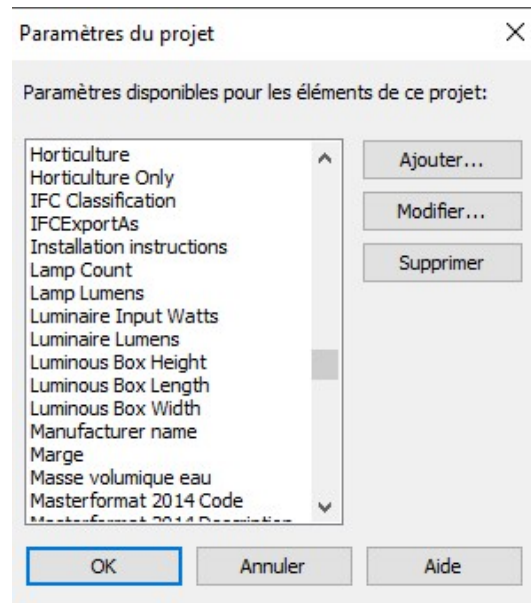


Fig. 3 Example of the new parameters in one of the case studies analysed. Source: Revit. Prepared by the author (2020)

existing categories was identified, leading to the creation of three new categories: regulatory information, administrative information, and geographical information. The regulatory information includes all the information related to the existing norms and regulations in the construction field. Administrative information represents all the information related to the organization of the project and to the identity and organization of the stakeholders and their files. Finally, the geographical information relates to the location, topography, in addition to any other information related to the site and the cadastral parcel where the building is going to be placed.

Even though these projects include economists who worked with BIM software, there was a lack of economical information. It is therefore possible that these actors decided to extract the dimensional information and quantities from the models in order to do their work, without introducing their results back in the BIM model. The information that was not introduced in a model cannot be considered in our analysis. However, their existence was made evident to us through the interviews that were carried out with the different stakeholders.

The analysis only includes information pertaining to the design phase of the construction project. The 12 case studies include BIM models of: architecture, structure, mechanical-electrical-plumbing (MEP), reference and site. With the exception of the architectural model, all other kinds of models were not present in every BIM construction project. Overall, we extracted the new parameters' data of more than 50 models. We analysed the information concerning architects, engineers (structure), engineers (MEP), clients, and land surveyors.

Table 1. Extraction of “new parameters” in the analysed projects and its classification. Source: Prepared by the author (2020)

"Extra-ordinary" Information per actor during design phase				
		Engineers (MEP)	Engineers (Structure)	Land surveyor
Dimensional		Entity height, entity width, entity length, number of lux, surface of, luminous box height width and length, total floor area, dimensional characteristics of every device length/height/width and diameter/section of canalisations.	Thickness of the slab, number of doorways, thickness, volumes, surfaces,	
Administrative		Design date, release date, name of folder, format, lot, IFC Class, level, Codes, Designation, file name, title, zone, identification, visible in schedules, level of reference, subdiscipline, number of document, commentary, views, drawing template characteristics, document status, project phase	Index, phase, level, kind of intervention, building description, kind of view, IFC Class, author, transmitter, receiver, architectural end level, Info Status, next meeting date, last meeting date, modifications, various, scale, telephone and email parameters of stakeholders,	Text, kind of procurement public/private, kind of plan, author, folder, ownership,
Technical	Characteristics of architectural elements	BIM Object category, BIM Object code	Outdoor/indoor, kind of slab, singular points, kind of beam, stairs name, tracking/identification, existing structure, reinforcement structure, URL, fire class,	Details
	Characteristics of materials	Canalisation materials, tube material, zone material, density, colour output factor, thermal insulation, conductivity, coefficient of exposure, voluminal mass,	Material description, Material class, thermal coefficient	
	Characteristics of devices, machines and building facilities	Angle of lighting, type of lighting, protocol of lighting, type of emitter, lighting measure, ventilation pressure drop, ID technical networks, kind to system, firebreaks, dimming, input WATTS, lumens, manufacturer name, reference description, product data, product GUID, product family, URL, technical description, emergency lighting, efficiency, efficacy,		
Regulatory		Master format Code, Omni class Code, Uniclass code, product certification, Unifomat II code, UNSPSC code, CIE type of lighting	Fire class, fire requirements, load requirements	
Economical		Price of lighting,	Unitary price	
Geographical		Region Name, location, coordinates	Topography, Region,	neighbourhood, land register number, street, building number, geographical impacts, postcode, city
Functional (related to spaces)		Control of lighting, Type of service, zoning, emitter zoning, smoke extraction zoning, ventilation device zoning, room lighting autonomy, switch on/off, emission place, reception place, technical files attached, calculation groups, calculation mode, daylight function, photometric file, buffer space, horticulture, installation instructions, comfort rating, air renovation rating, space needs, kind of service, programme, exposition time, room dimming, room lighting,	Number of occupants, program uses, kind of use, technical files attached, program uses name, program uses group, kind of circulation,	

Table 2. Extraction of "new parameters" in the analysed projects and its classification. Source: Prepared by the author (2020)

"Extra-ordinary" Information per actor during design phase			
	Architects	Client	
Dimensional	window height, total height, hole height, hole width, door width, door leaf thickness, door leaf height, door offset, door leaf width, different kind of surfaces, opening surface, number of doorways, width of space, girthed area, free surface, ridge height, ridge length, depth, glazing area, gross area,	Surfaces, volumes, perimeters, diameters, thickness, hole height, hole width, section dimension, opening length, opening surfaces,	
Administrative	Number of floor, description of floor, IFC Class, zone, section, sitelongname, sitename, name and type of views, commentary , index, name of schedule, drawing template characteristics, observations, building type, date, scale, index, lot, priority, project browser description, notes, to be checked, ID, document code, format, names, phase, ownership, Release, telephone numbers, sheet filter, preliminary drawing, author, audit, review, client name, units, modifications date, meetings dates, document status, client address, Client P.O. , entrance level, type of drawing phase,	Level, lot, number of plan, author, commentary, ownership, nature of the building, views/sheets purpose, time, floor, index, email, telephone number, name of template, version of template, name of view, IFC Class, IFC Type	
Technical	Characteristics of architectural elements	Wall finishes by room, ceiling finishes by room, plinth finishes, floor finishes, room name, firebreaks, door beading detail, specificities, wall code, room code, ceiling code, door code, floor code, stair number, type of door, type of window, trimmings, component function, component count, component name, description, slope, weight, URL, kind of product, characteristics of sliding panels, interphone/video system in doors, electronic lock in doors, magnetic contact access in doors, security hinges in doors, card reader access, indoors/outdoors, building location, door materials, Beam radiation transmittance, mullion nature, element fire risk factor, wall infiltration, floor, serial number, thermal transmittance,	ID code, doors linear, openings height, openings linear, level of the object, zone of the object, Wall finishes by room, ceiling finishes by room, floor finishes, beam drop, id tracking element
	Characteristics of materials	Acoustic impedance, fire resistance, Material text, material description, thermal properties, density, material classification, glass composition, material per layer, nature of material, wood description, combustible material, flammable storage, material fire hazard factor, skid surface, reflectivity, thermal transmittance, translucency	Material ID assignments, thickness of materials, concrete characteristics, casing code, weight, type of materials, volume, precast material,
	Characteristics of devices, machines and building facilities	Kind of product, Air pressurization system, kind of air conditioning, on/off, artificial lighting, automatic/not automatic, kind of heating, illuminance, coated isolation, serial number, mechanical ventilation rate, wired isolation, natural ventilation, smoke stop, sprinkler protection, solar heat gain, system code, type of filter,	ID code, level of the object, zone of the object, id tracking element
Regulatory	Master format Code, Omni class Code, Uniclass code, product certification, Unifomat II code, UNSPSC code, handicapped accessibility regulations, reglementary isolation, reglementary classification, acoustic constraint room, fire constraint room, other constraint room, public security constraint room, regulatory norm applied, humidity constraint, risks constraints, fire requirements, sound requirements, load requirements, handicap accessible requirements, required slope,		
Economical	component price, Prix M.O		
Geographical	orientation, address, sector, buildable area, building height limit, external buildings shading, shared coordinates, temperature summer/winter/spring/autumn	city, region, location	
Functional (related to spaces)	Workforce, Security spaces, occupancy time and number, acoustic rating, programme surface, zone description, kind of zone, occultation, Fire rating, habitation, technical files attached, high risk spaces, schedule, conservatory measures, space division, type of space, zone decoration, servitudes, access control, fire control, function, location function, structural use, space type, type of plantation, terrace function, space fire division, kind of apartment, max. occupation, min. occupation, function ratio, typology of apartment, fire scape, kind of access control, zoning datasheet, functional links between spaces, name of program, number of program, group of program; room acoustic rating, room air conditioning, space compartmentation, space fixed furniture, space fire risk factor, handicap accessible room, kind of room ventilation, public accessibility, building security rating, space humidity, space temperature, space illuminance, kind of heating,	Operating procedure, zone type, Use/Function, occupants, permanent and occasional loads,	

### 3. Discussion

#### 3.1. Comparison with the UK and US classifications

There is great value in comparing our actor-oriented categories to those included in the classifications proposed by the CSI. In the below table we have tried to match every kind of data previously identified by the other classifications to our developed categorization.

We based this comparison on the chart realized by Autodesk (Autodesk, 2016) that explains the relation between ISO 12006, Uniclass and Omniclass. To this chart, we have added Unifomat II (Afsari and Eastman, 2016), the classification most used in France, as well as our own classification categories in order to check whether their categories match ours. We observed that some of our categories could be further divided into subgroups. For instance, the administrative and general information categories include data from the construction phases, the stakeholders, the project management, and the software, in addition to the kinds of documents produced, their characteristics and their descriptions. It is therefore possible to further categorize the administrative information, similarly to the technical information, into subgroups in order to classify the data more accurately. Also, in the existing classifications, functional information is organized by the scale and the object whose function we are analysing. For example, Uniclass (Autodesk, 2016) separates the function of rooms from that of the whole complex, while our tool considers a single category for function without taking into account the scale of the space which we are analysing. As the functional information category is quite heterogeneous, it can be further developed into multiple subcategories.



Table 3. Development of Autodesk Classification chart (2016) including Unifomat II and new classification.  
Source: Prepared by the author (2020)

ISO 12006- 2	UNICLASS 2015	OMNICLASS 2006 - 2013	UNIFORMAT II	Classification
A.2- Construction Information	FI- Form of Information	Information	-	Administrative/General Information (Project Management) and Regulations
A.3- Construction Products	Pr- Products	Products	-	Technical ( Architectural and MEP objects and devices)
-	-	Materials	-	Technical (Materials)
A.4- Construction Agents	-	Disciplines	-	Administrative/General Information (stakeholders and actors information)
-	-	Oragnizational Roles	-	Administrative/General Information (stakeholders and actors functions) and economical
A.5- Construction Aids	TE- Tools and Equipment	Tools	-	Administrative/General Information (Software and technical information)
A.6- Management	Pm- Project Management	Services	-	Administrative/General Information (Project Management Services)
A.7- Construction Process	-	Phases	-	Administrative/General Information (Project Management Phases)
A.8 - Construction Complexes	Co- Complexes	-	-	Functional (global uses of the building)
A.9- Construction Entities	F-Facilities	Entities by Function	-	Functional (by areas or zones or objects)
-	En- Entities	Entities by Form	-	Technical ( architectural)
-	Ac- Activities	-	-	Functional (developped in each space)
A.10- Built Spaces	SL- Spaces/Locations	Spaces by Function	-	Functional
-	-	Spaces by form	-	Technical and dimensional
A.11 - Construction Elements	EF- Elements/ Functions	Designed Elements	Substructure, Shell, Interiors, Services, Equipment and furnishing, special construction and demolition, building sitework	Technical ( Architectural and MEP construction elements)
-	Ss- Systems	-	-	Administrative/General Information (Project Management Stakeholders tasks)
A.12- Work Results	-	Work Results	-	Technical ( Architectural and MEP construction elements already built)
A.13- Construction Properties	-	Properties	-	Dimensional and technical (materials)
-	Zz- CAD	-	-	-

Analysing the projects' contractual documents, we found that Unifomat is the most relied upon classification. This observation is supported by BuildingSMART France in its online article "Systèmes de Classification" (BuildingSMART France, 2020). The fact that Unifomat mainly considers technical information and the presence of a great number of technical parameters in the building models analysed, indicate that the

technical information is nowadays the most important category. However, we can observe that technical information is not the actors' only concern as other categories are also filled with new parameters that are of interest to them.

Our categories include all the information classified in the categories proposed by Uniclass, Omniclass ISO-12006 and Unifomat, which assures us that no type of information was excluded from our categorization. However, it is still not mature enough, and needs to be further developed and expanded. In particular, the categories and subcategories of technical, administrative and functional information must evolve towards greater specificity. On the other hand, this tool identified new categories in building data that were not being previously considered by the Anglo-Saxon classifications, namely for dimensional, economical, regulatory, and geographical information.

### 3.2. Categories based on current actors' concerns

Through this study, we were able to identify an increased interest of the construction actors on administrative and organizational project management information, in addition to regulatory and geographical information.

A significant amount of administrative and organizational data was retrieved from the "extraordinary" type of information. In the research studies conducted in the 80s and 90s on CAD software, this data was not common. However, nowadays, we can find information related to the periodicity of the meetings and the evolution of the project. Data related to project management is becoming much more common and is being introduced by all kinds of stakeholders. Considering the category of "administrative information", the Integrated Project Delivery (IPD) proposed by the American Institute of Architects (AIA, 2007), deal with the idea that organizing all the information related to project management, stakeholders and their tasks, is crucial for the development of any construction project including BIM projects (Ilozor & Kelly, 2012) (Brioso, 2015) (Rokooei, 2015). However, the IPD is focused on economic and managerial issues of cost reduction (Kent & Becerik-Gerber, 2010). Therefore, if the building database is included in the IPD, its structure could primarily address such issues. Following the above comparison between classifications and the increased interest of stakeholders on project management issues, we believe that the "administrative information" category should include a new subcategory that allows for the analysis of the information related to the IPD separately.

Regulatory information in construction field has also become more important in the past years. In fact, the continuous development of new building certifications increased the actors' concerns regarding norms and regulations mainly related to green building and energy issues (Menet & Gruscu, 2014). As a result, regulatory information related to pre-certification (Biswas et al., 2013) (Solla et al., 2016) is in high demand nowadays in the BIM projects design phase. The possibility of certifying a building and verifying its alignment with existing regulations attracts the interests of the different stakeholders. Even though there were not many regulatory information in the analysed projects, many plug-ins have started including parameters to measure the regulatory coherence of projects through energy simulations like Insight from Autodesk or Archiwizard plug-in from Graitec. In France other plug-ins are being developed like icheck from Bureau Veritas for self-verification of regulatory compliance of BIM models taking into account the existing regulations about fire protection and accessibility. We have considered the information related to ISO and classification norms as part of the regulatory information as they try to classify the project according to international standards (Afsari & Eastman, 2016).

Finally, concerning geographical information, we find new tools which aim to link BIM information to geographical information systems (GIS) as in the case of Autodesk and its tool Autodesk Infraworks. This connection would link every building with its land's information, creating CIM projects -City Information Models-. Through such work, geographical information could become much more important for building information and vice-versa. The combination of BIM and GIS databases is been proved a source of benefits in several fields such as monitoring the construction supply chain (Irizarry et al., 2013) or creating simulations for real-time building energy performance through a Virtual Facility Energy Assessment (VFEA) tool based on a BIM-GIS approach (Wu et al., 2014).

## 4. Conclusion

Building data offers invaluable insights into the development of BIM projects, in addition to the future management of the building and the interests underlying its design. Through this work, it was shown that a significant number of new parameters, which relate to different categories and concerns, are being introduced in the building information models during the design phase. This effort to parametrize and insert new information in the models is therefore key to better understand the main issues that affect BIM construction projects nowadays.

Our developed categorization was helpful in determining the new approaches to BIM projects. However, this research should be expanded in the future through the analysis of the construction, and facility management phases in order to gain a deeper understanding of the actors' main concerns during the whole building life cycle and develop a more comprehensive classification. Such an analysis will help characterize each of the construction phases according to the relied upon information and provide us with a better understanding of the project stakeholders' concerns. Furthermore, this reflection shouldn't be restrained just to the scale of the building. Understanding the relevance of GIS and the relation between the building and the city data projects, the process through which their databases are developed, the actors involved in that process, as well as their interests and needs; will help to better comprehend what kinds of buildings and cities are being designed nowadays.

Finally, this study demonstrated that the actors' interests are developing and moving away from their original emphasis on technical matters, to include regulatory, managerial, economical, and geographical concerns. The classification appears as a new tool that allows us to better measure the impact of these new concerns in the projects. The BIM technologies have imposed the importance of information in new construction projects. We find, therefore, important to create new tools that allow the evaluation of the type of information that is being introduced, as well as the identification of those who introduce it and the reasons behind that decision.

## Bibliography

- AFSARI, K., & EASTMAN, C. (2014). "Categorization of building product models in BIM Content Library portals". *Blucher design proceedings*, 1(8).
- AFSARI, K. & EASTMAN, C.M. (2016). "A Comparison of Construction Classification Systems Used for Classifying Building Product Models". *In the 52nd ASC Annual International Conference Proceedings*. DOI: 10.13140/RG.2.2.20388.27529
- AIA CALIFORNIA COUNCIL. (2007). "Integrated project delivery: A guide". *The American Institute of Architects (AIA), California Council*. [https://info.aia.org/SiteObjects/files/IPD\\_Guide\\_2007.pdf](https://info.aia.org/SiteObjects/files/IPD_Guide_2007.pdf)
- AUTODESK, (2016). "Classification Systems and Their Use in Autodesk Revit: Managing the "I" in BIM. Autodesk Whitepaper". Autodesk. Page 23
- BISWAS, T. TSUNG-HSIEN, W. & KRISHNAMURTI, R. (2013). "From design to pre-certification using building information modelling". *Journal of Green Building*: Winter 2013, Vol. 8, No. 1, pp. 151-176.
- BOUTINET, J.P. (1990). « Anthropologie du projet », Paris, France: *Presses universitaires de France*.
- BRIOSO, X. (2015). "Integrating ISO 21500 guidance on project management, lean construction and PMBOK". *Procedia Engineering*, vol. 123, p. 76-84.
- BUILDINGSMART FRANCE (2020). *Systèmes de classification*. Mediaconstruct <<https://bimstandards.fr/data-bim/systemes-de-classification/>> [ 24 de febrero de 2020]
- EASTMAN, C. M. (1980). "System facilities for CAD databases". *In Proceedings of the 17th Design Automation Conference* (pp. 50-56).
- EASTMAN, C. M. (1999). "Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction", 1st ed. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, Inc.

- EKHOLM, A. (2005). "ISO 12006-2 and IFC prerequisites for coordination of standards for classification and interoperability". *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, vol. 10, no 19, p. 275-289.
- FERRIES, B. MEILHAT, V. PELEGRIN, F. & COUILLET, A. (1985). « Définition et validation d'un système de gestion de base de données spécifique au projet de conception-réalisation du projet architectural », CAOMIP, Toulouse
- FREGIER, M. (1983). « Etude sur la représentation des composantes morphologiques de données du projet architectural dans un contexte de C.A.O ». GAMSAU, Plan Construction, INPROBAT.
- GOULETTE, J-P., LEGLISE & M., PEREZ, M., (1988). « Le poste architecte : spécifications, session d'utilisation, présentation de la maquette et documentation in Krépis, Rapport final de recherche », Toulouse, CAOMIP, *Rapport final d'une recherche financée par le Ministère de l'Équipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports dans le cadre du programme IN.PRO.BAT.*, 45 p.
- GUENA, F. & LEININGER, J.P. (1986). « X2A : Pour un système de conception assistée par ordinateur en avant-projet sommaire de bâtiment ». Dire Plan Construction, INPROBAT.
- HAMANI, D. (2005). « Un système d'information pour le bâtiment - Elaboration d'un modèle conceptuel de données pour les ouvrages façonnés en place issus de la production de bâtiment », Thesis, Aix-Marseille 3.
- ILOZOR, B.D & KELLY, D.J. (2012). "Building Information Modelling and Integrated Project Delivery in the commercial Construction industry: a conceptual study", *Journal of engineering, project and production management*, 2 (1), 23-36.
- IRIZARRY, J. KARAN, E. P. & JALAEI, F. (2013). "Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management". *Automation in construction*, vol. 31, p. 241-254.
- ISO. (2018). *Organization and Digitization of Information about Buildings and Civil Engineering Works, Including Building Information Modeling (BIM)-Information Management using Building Information Modeling*. ISO 19650-2: 2018. I.S.O. Part, vol. 2.
- ISO. (2007). *Building construction: Organization of information about construction works*. ISO 12006-3: 2007. I.S.O.
- KENT, D. C. & BECERIK-GERBER, B. (2010). "Understanding construction industry experience and attitudes toward integrated project delivery". *Journal of construction engineering and management*. vol. 136, no 8, p. 815-825.
- LEFAUCONNIER, M. (2017). « Le BIM face au droit ». *Le BIM éclairé par la recherche*, par Riss, S., Talon, A., et Teulier, R., p. 91-100.
- MENET, J. L. & GRUSCU, I. C. (2014). "L'éco-conception dans le bâtiment ». *Cahiers techniques*, Dunod.
- PICON, A. (2010). « Culture numérique et architecture: une introduction ». Birkhäuser, Basel
- PROST, R. (2014). « Pratiques de projet en architecture: le tournant silencieux : essai », Gollion, Suisse: Infolio.
- QUINTRAND, P., AUTRAN, J. & FLORENZANO, M. (1985). « La conception assistée par ordinateur en architecture », Ed : Hèrmes. Paris
- RIFKIN, F. (2012). « La troisième révolution industrielle ». Les Liens Qui Libèrent
- ROKOOEI, S. (2015). "Building information modelling in project management: necessities, challenges and outcomes". *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. vol. 210, p. 87-95.
- SOLLA, M., ISMAIL, L. H., & YUNUS, R. (2016). « Investigation on the potential of integrating BIM into green building assessment tools". *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(4), 2412-2418.
- TULENHEIMO, R. (2015). "Challenges of implementing new technologies in the world of BIM—Case study from construction engineering industry in Finland". *Procedia Economics and Finance*, 21(Henttinen).
- WU, W. YANG, X. & FAN, Q. (2014). "GIS-BIM based virtual facility energy assessment (VFEA) — Framework development and use case of California State University, Fresno". *Computing in Civil and Building Engineering*. pp. 339-346.

## AN INNOVATIVE DATA-BASED APPROACH FOR GRADUAL INTEGRATION OF BIM IN DESIGN TENDERING

Di Giuda, Giuseppe Martino<sup>a</sup>; Locatelli, Mirko<sup>a</sup>; Pattini, Giulia<sup>a</sup> y Pellegrini, Laura<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of Architecture, built environment and construction engineering, Politecnico di Milano, Italy  
[bimgroup-dabc@polimi.it](mailto:bimgroup-dabc@polimi.it)

### Abstract

*This paper presents an improved model for design competitions management. This model has been set and improved based on Iscol@ programme, promoted by Sardinia Region that has two main goals: the reactivation of the construction supply chain at a regional level, and the reduction of education drop-out rate, through the improvement of both school building stock, and educational provision.*

*The proposed approach is developed on machine-readable requirements set in DIPs (Documento di Indirizzo alla Progettazione), that can be implemented in BIM-models proposed (and later on required) by the project teams taking part in tenders. The setting of quantitative requirements allows the definition of a hierarchy of clients' goals, as well as the setting of a steady evaluation for all the contestants. The definition of DIP takes into account the different disciplines involved, providing requirements related to both architecture and pedagogy.*

**Keywords:** Design tendering, Iscol@, school building design, project requirements.

### Resumen

*Este trabajo presenta un modelo mejorado para la gestión de los concursos de diseño. Este modelo ha sido establecido y mejorado en base al programa Iscol@, promovido por la Región de Cerdeña, que tiene dos objetivos principales: la reactivación de la cadena de suministro de la construcción a nivel regional, y la reducción de la tasa de abandono de la educación, a través de la mejora tanto del parque de edificios escolares, como de la oferta educativa.*

*El enfoque propuesto se desarrolla sobre la base de los requisitos legibles por máquina establecidos en los DIP (Documento di Indirizzo alla Progettazione), que pueden ser implementados en los modelos BIM propuestos (y posteriormente requeridos) por los equipos de proyecto que participan en las licitaciones. El establecimiento de requisitos cuantitativos permite la definición de una jerarquía de objetivos de los clientes, así como el establecimiento de una evaluación constante para todos los concursantes. La definición de DIP tiene en cuenta las diferentes disciplinas implicadas, proporcionando requisitos relacionados tanto con la arquitectura como con la pedagogía.*

**Palabras clave:** concurso de diseño, Iscol@, diseño de edificios para escuelas, requisitos de proyecto.

## Introduction

Requirements are the basis of every project; they define the basis for project planning, risk management and monitoring of adjustments and changes. Their role is relevant in every step of the design process.

Design process in Italy is different from other Countries, and it is particularly difficult to trace due to the features of the construction sector (Alfieri, Seghezzi, Sauchelli, Di Giuda, & Masera 2020). The scope of this research is limited to Italian context. The legislative framework is mainly set by D.Lgs. 50/2016 as amended and DM 560/2017; public projects and private projects follow different rules, the focus is here kept on public sector.

Public projects must be carried out following three degrees of development that do not follow RIBA stages and have different contents:

1. Technical-economic feasibility
2. Concept design
3. Technical design

The legislative framework also prescribes that projects (the Public Procurement Code define not only projects, but also services) under 40,000 € can be direct awarded (Codice Appalti – Public Procurement Code); projects over that amount require a public bidding.

Public bidding of projects is therefore a relevant and crucial aspect in Public Administrations management. The basic tool for PA to structure their request in a public bidding of design competition is the Documento di Indirizzo alla Progettazione (DIP) that defines for each stage of design, the Client's needs and the objectives to be reached, the economic setting of the project.

This document should describe the needs both in qualitative and in quantitative terms, and represents the reference to evaluate design proposals. Nonetheless, it is hard to describe qualitative information through quantity, and in addition, there is currently a lack of identification, management, and traceability of requirements in design processes (Arayici & Ahmed 2006).

For this reason, the aim of this paper is the definition of quantitative requirements to be set in DIPs, that can be implemented in BIM-models, and that can help to evaluate design proposals in competitions.

### 1. ISCOL@ Program

Iscola@ is a program set by Sardinia region with the goal of reinforcing the school system, improving the competences and skills of the scholars a contrasting the school leaving and school disaffection. This program regards different aspect of “school improving”, including teaching skills and innovative education techniques. One of the main part of the program regards the architectural improvement of existing schools and the construction of new ones, with the aim of increasing the quality of learning spaces, and the sustainability, both in environmental and in social terms.

In this context, the region has started a series of new design competitions to reach those goals.

Considering the specificity of the goals and of the buildings considered, the clients' requirements should be well structured and defined, in order to guarantee the quality of the final object.

Furthermore, the goals of the region in creating better structured DIP and requirements are not limited to increase the quality of buildings, but also in changing the design process.

Sardinia has peculiarities. It is the region with the highest school drop-out rate in Italy, with 21.2% of early school leavers, against a national average of 14% (Colombo 2015). The insular condition of Sardinia does not help its economy, especially considering construction sector (Balletto, Borruso, & Mei 2019). Iscol@ program has as goal the interaction of local design firms with other professionals, including pedagogic experts, sustainability designers, etc., help overcoming the sector fragmentation. The program aims at increasing the interactions between Sardinia and the rest of Italy, and stimulating the mix of competencies.

The concept is the combination of architecture/space requirements and pedagogical principles, to achieve the best quality in school buildings.

## 2. Methodology

This research project has been developed in accordance with Sardinia region, in the framework of Iscol@ program previously described. The aim of this research is to present the definition of quantitative criteria to evaluate and guide design proposals, in the framework of the progressive integration of BIM in design competitions.

For these reasons, several meeting with the region were organized, in order to properly understand the client's requirements and therefore to set a translation of these requirements in quantities presented in the DIPs of the design competitions. Several DIPs were analyzed, in order to define their structure and their features.

These requirements are then translated in a grid to be used during the evaluation of the design proposals; each of the requirements is combined with a score given to the proposal for each commissioner, and is assigned a weight. The grid is structured as a multi-criteria table, and allows the jury to express a quantitative evaluation of the projects.

In this sense, the client's requirements are used as a benchmark to verify the efficiency of a project proposal considering the initial requests. The evaluation of projects can in this way be carried out following clear and objective criteria.

In this context, the use of BIM models play a relevant role for two main reasons: first, it allows the designer to explore different project alternatives that fit the requirements, and allows the clients to verify in a complete and rapid way that his requirements are properly translated in projects.

It is important to underline that BIM is progressively becoming compulsory for public procurement. The proposed methodology can be applied to traditional projects, but shows its benefits in BIM-based processes. The definition of qualitative and quantitative requirements of the Clients allows the designer to incorporate those data in the BIM models (e.g., in parameters related to technical elements), and therefore to define design choices and compare different solutions. The client, on the other hands, can evaluate project proposals expressed in BIM models provided in a clear way, checking the compliance of the requirements.

Considering a BIM-based process, the DIP can be considered as part of the EIR (Employer's Information Requirements). As for the ISO 19650, the EIR expresses needs and requirements of the Clients, including the information management. The BIM Execution Plan (pre-contract) is the response of contractors or design team to the requirements of the Clients; in the context of a design competition, BEPs should be part of the project proposals.

## 3. Expressing client's requirements

The definition of requirements and sub-requirements has been based on Kansei engineering (Nagamachi 1996), that is a method developed in Japan by professors Yoji Akao, of the Tokyo Institute of Technology, and Shigeru Mizuno, to translate customers' requests and needs into product features, from the design phase to the production. This approach assures higher quality of a product as it perfectly fits the clients' needs.

On the contrary, the traditional approach of Quality Function Development has a limitation, as the qualitative evaluation based on Likert scale can represent different meanings depending on the user involved. For this reason, criteria are subdivided in sub-criteria so that the level of detail can help the evaluation of alternatives and the verification of their correspondence to initial goals. On the other hand, this level of detail also allows the designer taking part in the competition to better set their design principles.

The objectives set are based on the features described by SMART: specific, measurable, achievable, realistic, time-related (Mannion & Keepence 1995). In order to evaluate potential alternatives, simulation can be used to verify the correspondence to initial requirements expressed in the DIP; pre-occupancy simulations can be used to test interactions among users to assure the integration of architectural layout and pedagogical method, meaning that the design of space can effectively stimulate the interaction of scholars. Computer based simulation, based on BIM models, can also help in the understanding of projects and the efficiency of the communication between Client and designer.

In a BIM-based process, information-exchange requirements should be included in the EIR: the EIR includes the DIP and therefore all the project requirements and acts as a guide for designers to develop their proposals. To facilitate the evaluation of design proposals, it is necessary to include a table with the objectives required in the DIP and the summary of how the proposed project answers to those objectives.

#### **4. Criteria setting**

The setting of criteria is based on seven main areas to be furtherly divided in sub-criteria. As previously stated, these criteria represent the needs of the Client. They are meant to be used for all the design competitions regarding new schools in Sardinia. The criteria set can anyway be modified when needed, to better fit the clients' needs. It is relevant to underline that these set of requirements is the one used for the first level of project process (that is the technical and economic feasibility).

The seven main criteria are:

1. Architectural quality
2. Learning space quality
3. Furniture quality and flexibility
4. Environmental quality of the building
5. Technical and technological innovation of the project
6. Technical and economic feasibility
7. Work team

As stated, the criteria should be divided in order to provide an increase in detail of the requirements. This approach helps both the designers as the project proposal development can be structured and based on solid requirements, and the jury to evaluate the effective incorporation of them in the proposals.

Architectural quality is hard to evaluate (Marans & Spreckelmeyer 1982); for this reason, this criterion has been split in sub-criteria that are easier to control and to evaluate: architectural value (that is the overall quality of the intervention); spatial and volume integration with the surrounding, that measures the way the building is connected with the building site and with the town; green areas design; and layout quality. This last aspect includes the flexibility and modularity of the layout and school spaces. This is particularly relevant taking into account the legislative framework that requires flexible and easy to modify spaces.

The second criterion, that is the learning space quality, measures how the internal spaces of the building are suitable to their specific use. Sub-criteria include the acoustic quality, thermal comfort, lighting strategies, and the possibility to modify the spaces for the scholars to increase their sense of belonging (van Merriënboer, McKenney, Cullinan, & Heuer 2017).

The third criterion, that regards furniture, is evaluated through three sub-criteria, measuring the usability for both single and group activities and the potential to create new spaces through the furniture. It also keeps into account the adaptability depending on physical needs of scholars and teachers (Panagiotopoulou, Christoulas, Papanckolaou, & Mandroukas 2004), and the economic and environmental sustainability of the furniture in the entire Life Cycle .

Environmental quality of the building is split in the use of materials, process, and building methods that encourage the use of renewable materials; general strategies to evaluate quality and sustainability of the



building site; and the ability to increase the general quality of the landscape and the urban area where the building is located.

The fifth criterion, regarding innovation, evaluates the quality of data distribution and power supply systems in terms of building automation, the use of innovative materials and ease of maintenance, and the quality of the structural design especially considering seismic design.

Technical and economic feasibility also considers the reliability of the information provided in the project, and takes into account all Life Cycle Costs, including maintenance costs, that play a relevant role in the building operation phase.

The last criteria group measures the coherence of the work team to the project proposal. At least one of the member of the group should have expertise in learning space design, and one should have certified expertise in sustainability design.

## 5. Design proposals evaluation

Each of the sub criteria is evaluated with a score from 0 to 1 from the members of the jury. Following multi-criteria method (Bana e Costa, Ensslin, Cornêa, & Vansnick 1999), the Client's has defined the relevance of each of the criteria in terms of a weight assigned. The combination of jury's scores and criteria weights allows creating a classification of design proposals based on their quality and their correspondence to the requirements set in the DIP.

This method has been applied in several competition, and has proven to be easy to use, complete, and to help the jury's members to express their ideas in a structured way. As previously stated, this set of requirements is intended for technic and economic feasibility level; it is possible to increase the criteria set depending on the needs. Weights of the sub-criteria can also be varied depending on their relevance for the clients.

## 6. Conclusions and further development

The proposed approach is currently in use as part of ISCOL@ program, and has been specifically designed for that use; once enough data will be collected it will be possible to measure its effect in terms of quality of the design proposals. The proposed method can be applied to other building typologies, and other client's needs and provide valuable results in terms of requirements management.

As stated, ISCOL@ program is not yet completely based on digital and collaborative procedures, but gradual introduction of BIM processes is underway. The requirements of the Client are not defined in EIRs, but expressed in the DIP. The shift from traditional to collaborative process starts with the definition of clear requirements in terms of project results and data management. The proper structure of BIM processes involves careful information management throughout all the phases; the definition of clear and detailed client's requirements is necessary for the development of the EIR that acts as base of the whole process. BEPs responding to the client's needs, together with the project proposals, are part of the evaluation process by the jury.

In the specific case of ISCOL@, where design teams include different professionals, the application of a collaborative approach can help and facilitate the communication among team members and the client. Actors' roles, competencies, and responsibilities in each phase of the process should be included in the BEP.

The integration of the proposed requirements in a BIM-based procedure could be crucial to properly manage and trace the requirements while integrating them in a recognizable and measurable way in the design process. The use of BIM models could also play a relevant role in the definition of analyses and simulation to check and monitor design alternatives and compliance with the Client's needs. Stakeholders of the process would be aware of the impact of any change during the design process.

## References

- ALFIERI, E., SEGHEZZI, E., SAUCHELLI, M., DI GIUDA, G. M., & MASERA, G. (2020) "A BIM-based approach for DfMA in building construction: framework and first results on an Italian case study" en *Architectural Engineering and Design Management*, in print, pp. 1–23.
- ARAYICI, Y., & AHMED, V. (2006), "A requirements engineering framework for integrated systems development for the construction industry" en *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, 11, pp. 35–55.
- BALLETTO, G., BORRUSO, G., & MEI, G. (2019), "Location Theory and Circular Economy. Demolition, Constructions and Spatial Organization of Firms – An Applied Model to Sardinia Region. The Case Study of the New Cagliari Stadium" en *Lecture Notes in Computer Science*, 11621, Springer International Publishing, pp. 535-555.
- BANA E COSTA, C. A., ENSSLIN, L., CORNÊA, É. C., & VANSNICK, J.-C. (1999), "Decision Support Systems in action: Integrated application in a multicriteria decision aid process" en *European Journal of Operational Research*, 113(2), pp. 315–335.
- COLOMBO, M. (2015), "Abbandono scolastico in Italia" en *Scuola Democratica*, 2, pp. 411-424.
- MANNION, M., & KEEPENCE, B. (1995), "SMART requirements" en *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 20(2), pp. 42–47.
- MARANS, R. W., & SPRECKELMEYER, K. F. (1982), "Measuring Overall Architectural Quality" en *Environment and Behavior*, pp. 652-670.
- NAGAMACHI, M. (1996)," Kansei engineering and its applications" en *The Japanese Journal of Ergonomics*, 32(6), pp. 286–289.
- PANAGIOTOPOULOU, G., CHRISTOULAS, K., PAPANCKOLAOU, A., & MANDROUKAS, K. (2004), "Classroom furniture dimensions and anthropometric measures in primary school" en *Applied Ergonomics*, 35(2), pp. 121–128.
- VAN MERRIËNBOER, J. J. G., MCKENNEY, S., CULLINAN, D., & HEUER, J. (2017), "Aligning pedagogy with physical learning spaces" en *European Journal of Education*, 52(3), pp. 253–267.

# DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN CON BIM

## BIMBOT- (INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA AL DISEÑO CON BIM)

Frías, César<sup>a</sup>; Crespo, Beatriz<sup>b</sup>; Alonso, Pablo<sup>c</sup>; Peña, José María<sup>d</sup>; Muelas, Santiago<sup>e</sup>; Almeida, Lorena<sup>f</sup>; Pérez, Álvaro<sup>g</sup>; Cruz, Lorena<sup>h</sup>; Molina, Borja<sup>i</sup>; Fernández, Miguel<sup>j</sup>; Sánchez, Erika<sup>k</sup>; Cobos, Inmaculada<sup>l</sup>; Fillat, Isabel<sup>m</sup>

<sup>a</sup>CEO, Architecture Meets Engineering S.L (España) [cfrías@morphestudio.es](mailto:cfrías@morphestudio.es), <sup>b</sup>BIM Manager, Architecture Meets Engineering S.L [bcrespo@morphestudio.es](mailto:bcrespo@morphestudio.es), <sup>c</sup>BIM Manager, Architecture Meets Engineering S.L [ppumares@morphestudio.es](mailto:ppumares@morphestudio.es), <sup>d</sup>CTO, LURTIS RULES S.L (España) [jm.penya@lurtis.com](mailto:jm.penya@lurtis.com), <sup>e</sup>R&D Director, LURTIS RULES S.L [s.muelas@lurtis.com](mailto:s.muelas@lurtis.com), <sup>f</sup>Architect-Revit, LURTIS RULES S.L [l.almeida@lurtis.com](mailto:l.almeida@lurtis.com), <sup>g</sup>Revit Design Engineer-C# Developer, LURTIS RULES S.L [a.perez@lurtis.com](mailto:a.perez@lurtis.com), <sup>h</sup>Revit Design Engineer, LURTIS RULES S.L [l.cruz@lurtis.com](mailto:l.cruz@lurtis.com), <sup>i</sup>Senior Programmer, LURTIS RULES S.L [b.molina@lurtis.com](mailto:b.molina@lurtis.com), <sup>j</sup>Director de Proyectos, Architecture Meets Engineering S.L [mfernandez@morphestudio.es](mailto:mfernandez@morphestudio.es), <sup>k</sup>Modelado paramétrico, Architecture Meets Engineering S.L [esanchez@morphestudio.es](mailto:esanchez@morphestudio.es), <sup>l</sup>Arquitecta BIM, Architecture Meets Engineering S.L [icobos@morphestudio.es](mailto:icobos@morphestudio.es), <sup>m</sup>Arquitecta BIM, Architecture Meets Engineering S.L [ifillat@morphestudio.es](mailto:ifillat@morphestudio.es)

### Abstract

*BIMBOT is an intelligent design assistant for AEC industry. Its toolset runs on a BIM modelling software and produces a series of design solutions through optimized BIM models. It works with the use of advanced artificial intelligence (AI) methods (soft computing optimization and machine learning) and supported by NoSQL databases. BIMBOT works in several stages: First, the definition of constraints/priorities established by the user runs a generative design process boosted by several AI methods. It creates different solutions on BIM models stored and refined from a catalogue of intelligent objects. So, an interactive process begins in which the users may import BIM models with proposed designs, create or edit them on-the-fly and get assisted by a series of configurable metrics that drive the quality of the design according to the initial preferences. So, we get a complete BIM project as a result of the iterative process. Finally, the continuous training of the algorithms will improve the efficiency in future designs. BIMBOT is conceived to extend the skills designers through software development BIM allowing them to be more productive in complex tasks in their design process. BIMBOT is funded by the European Eureka/Eurostars program (E!12863).*

**Keywords:** BIM, AI, Machine Learning, Soft Computing, software development, architecture, DataBase.

### Resumen

*BIMBOT es un asistente de diseño inteligente para la industria AEC. Sus herramientas se ejecutan sobre un software de modelado BIM y producen varias soluciones de diseño con modelos BIM optimizados. Funciona con el uso de métodos avanzados de Inteligencia Artificial (optimización soft computing y Machine Learning) y es compatible con bases de datos NoSQL. Contempla varias etapas: La definición por el usuario de restricciones / prioridades establecidas ejecuta un proceso de diseño generativo impulsado por varios métodos de IA. Éste crea diferentes soluciones en modelos BIM almacenados y refinados a partir de un catálogo de objetos inteligentes. Con ello, los usuarios pueden interactuar importando modelos BIM con diseños propuestos, crearlos o editarlos in situ y recibir asistencia de una serie de métricas configurables que dan calidad al diseño de acuerdo con las preferencias iniciales. Así, obtenemos un Modelo BIM completo como resultado del proceso iterativo. Finalmente, el entrenamiento continuo de los algoritmos mejorará la eficiencia en futuros diseños. BIMBOT está concebido para extender las habilidades de los diseñadores a través del desarrollo de software BIM, permitiéndoles ser más productivos en tareas complejas del proceso de diseño. BIMBOT está financiado por el programa europeo Eureka / Eurostars (E! 12863).*

**Palabras clave:** BIM, AI, Machine Learning, Soft Computing, desarrollo de software, arquitectura, DataBase.

## Introducción

La metodología de trabajo BIM ha supuesto la integración en un mismo proyecto de arquitectura del dibujo 2D, el modelado 3D y la recopilación de los datos y fases necesarios para su desarrollo (diseño, planeamiento, ejecución de obra y mantenimiento); generando así un único producto vivo, gestionable y utilizable en la vida del edificio llamado Modelo BIM.

El siguiente paso consiste en aprender a administrar y conectar esos datos, de forma que ayuden a analizar y optimizar procesos. Una vez superados los límites que ofrecen las herramientas actuales de programación visual e interoperabilidad entre softwares de diseño, es necesario recurrir a las nuevas ciencias y tecnologías englobadas bajo el término popular de Inteligencia Artificial (IA).

El término IA se acuñó inicialmente por científicos como Minsky, Shannon, McCarthy, Newell, o Simon en el famoso workshop de Dartmouth (1956) con la visión de emular en una computadora los procesos de aprendizaje o razonamiento humanos, de forma que una entidad artificial (un computador) exhibiese unos u otros aspectos que se podrían considerar como “inteligentes” [1].

En la actualidad, unas de las áreas dentro de la IA que ha tomado mayor relevancia es el aprendizaje automático (machine learning), en parte debido al incremento en la cantidad de datos accesibles y recopilados de diferentes maneras. Estas técnicas abordan la manera en la que se puede entrenar un algoritmo, a partir de datos existentes, para la realización de una tarea de reconocimiento (habitualmente de clasificación o de predicción). Este enfoque es lo que se denomina una aproximación guiada por los datos. En contraposición a este enfoque hay técnicas de Inteligencia Artificial guiadas por el problema. Estas técnicas realizan un proceso de exploración inteligente y de aprendizaje usando un mecanismo de muestreo dirigido por el problema (planteando una solución, contrastándola y extrayendo una métrica de calidad de que evalúe la calidad de la solución propuesta para ese problema). Son enfoques que no requieren disponer de datos previos, pero sí de una descripción del problema computable o simulable repetidas veces para que la máquina se entrene. Dentro de las técnicas aplicables a estos casos se encuentran los algoritmos de búsqueda o las metaheurísticas de soft computing.

Este artículo pretende sintetizar uno de los numerosos proyectos que están surgiendo al aplicar la tecnología derivada de la IA; la herramienta BIMBOT. La sección 1 se centra en poner en contexto las diversas aplicaciones que tiene la IA en el entorno de la construcción. En el punto 2 se especifican los mecanismos de IA sobre los que se apoya BIMBOT. Y, finalmente, en la sección 3 se explican las diferentes herramientas que componen BIMBOT y la novedad que ofrece para el ámbito de la Arquitectura.

### 1. Estado del Arte

La IA se ha postulado como una muy prometedora herramienta en diferentes campos de aplicación. En la ingeniería civil y la arquitectura, las técnicas de IA proporcionan varias aplicaciones [2].

Tanto el diseño arquitectónico como la ingeniería civil son áreas en las que estos aspectos de la IA (aprendizaje y búsqueda) se pueden aplicar [3] [4] [5]. El uso de estas técnicas como parte activa en las diferentes fases de la construcción nos permite agilizar el proceso de toma de decisiones, reducir el riesgo y aumentar la eficiencia.

Asimismo, la IA se puede aplicar en dos fases diferentes de la vida de un edificio:

- En la fase de diseño del mismo, considerando a las tecnologías de IA como asistentes de diseño inteligentes que permiten expandir la capacidad creativa sobre una plataforma de computación. Esta sinergia se puede ver como un proceso de co-creación en el cual tanto experto como IA exploran alternativas de diseño [3].
- En la fase de uso de un edificio, dentro del rango de los Edificios Inteligentes (*Smart Buildings*, SB) [6] hasta el más reciente de los enfoques denominado Inteligencia Ambiental (*Ambient Intelligence*, Aml) [7] [8].

Centrándonos en la fase de diseño y en relación con la interacción entre los futuros usuarios de un edificio y el diseño arquitectónico del mismo, autores como [9] abogan por un diseño centrado en las personas (people-centred design) donde se pueden aplicar aspectos como el razonamiento espacial basado en programación lógica con restricciones; más próximo al sentido común y las expectativas de los usuarios.

Entre las aplicaciones de la IA en arquitectura, cabe resaltar trabajos en aspectos de eficiencia energética para diseño y control de edificios inteligentes [10]. En cuanto a eficiencia, hay trabajos integrados con modelos de simulación energética [11] [12], así como de diseño de los espacios o de los materiales [13].

Otro de los campos con mayor potencial de sinergias entre IA y arquitectura es el de diseño de estructuras. En especial las técnicas de soft computing antes mencionadas, las metaheurísticas, las cuales proporcionan métodos de búsqueda basadas en estrategias estocásticas y heurísticas. Su aplicación de forma generalizada en otros campos de la ingeniería las hace muy prometedoras [14] [15] [16] [17] [18] [19].

Las metaheurísticas realizan una búsqueda no determinista de tipo estocástico sesgada por el criterio de búsqueda que permite hacer una exploración/explotación de un espacio de búsqueda complejo. Estas estrategias se guían por una función objetivo a optimizar (minimizar/maximizar). Dicha función objetivo se trata como una caja negra sin asumir ninguna propiedad analítica (e.g., derivabilidad o continuidad) de la misma. Es por ello que estos métodos se han usado en problemas complejos en el campo de la arquitectura [20] [21] [22]:

- Particionamiento de espacios [23]: División de espacios interiores atendiendo a consideraciones de diseño, uso y conectividad entre estancias.
- Cubiertas y optimización estructural [24] [25]: En combinación con modelos paramétricos, optimización de estructuras de edificación (cubiertas, tejados, cúpulas y fachadas).
- Energía/climatización/iluminación eficiente [26] [27] [28]: Modelado paramétrico de geometrías dirigidas por modelos de eficiencia energética.
- Diseños creativos [29]: Como un asistente para crear geometrías o prototipado morfológico [30].

## **2. BIMBOT, Inteligencia Artificial Aplicada. Características técnicas**

BIMBOT plantea explotar los principios de Generación Procedimental de Contenidos (Procedural Content Generation, PCG), una de las aplicaciones de soft computing orientadas al diseño inteligente [31]. PCG engloba una serie de técnicas mediante las cuales un procedimiento inteligente (automático o asistido) se usa para producir modelos en un proceso creativo usando técnicas de búsqueda y de aprendizaje. PCG está jugando un papel importante en la industria de software de entretenimiento y en las de animación [32] (ahorrando 40% -75% del tiempo en varias tareas de modelado), pero su uso con fines arquitectónicos no se encuentra aún explorado.

Asociado a la PCG existe el Diseño Generativo (Generative Design, GD) que es el proceso de definir objetivos y restricciones de alto nivel y que mediante la potencia de cómputo existente explora automáticamente un amplio espacio de alternativas de diseño e identifica las mejores opciones [33] [34]. PCG se diferencia de GD en su planteamiento como un problema de IA en el que las técnicas de aprendizaje y optimización facilitan esa exploración del espacio de soluciones. En cualquiera de los casos, ambas líneas de trabajo, a pesar de provenir de campos diferentes están abocadas a converger.

Un aspecto importante a considerar es que los mecanismos de PCG que usan técnicas de búsqueda heurística (por ejemplo algoritmos evolutivos) tienden a requerir un número de evaluaciones de soluciones tentativas que puede ser medianamente alto, para ello se sugiere usar técnicas de surrogados que agilicen el proceso de evaluación descartando soluciones potencialmente poco interesantes antes de evaluarlas [35]. Asimismo, las técnicas de búsqueda evolutiva más habituales han demostrado sus limitaciones en determinados problemas de diseño dentro del campo de la arquitectura [36] [37]. Es por ello que técnicas más sofisticadas de optimización heurística están llamadas a ser alternativas más viables en el futuro [38].

BIMBOT se basa en trabajos previos que se han adaptado al sector de la construcción. El motor de optimización de restricciones basado en IA, LurtisEngine, fue diseñado originalmente para crear escenarios en 3D para las industrias creativas y es el núcleo de HouseBuilder (una herramienta para crear estructuras de edificios) e InteriorDecorator (que diseña espacios interiores) [23]. Asimismo, la tecnología de este motor de optimización se ha aplicado con éxito en otros enfoques de diseño basado en IA, como el diseño de fuselaje de aviones [39]. Recientemente, este enfoque de optimización aplicada a procesos de diseño lo hemos aplicado al diseño de materiales con simulaciones de plasticidad cristalina realizadas con cálculo de elementos finitos [19].

La tecnología BIMBOT se base en 4 principales componentes:

1. El análisis de bases de datos públicas que relacionan parámetros de normativa urbana y técnica. Este análisis deriva en un filtrado y homogeneización de la información para el posterior uso de esos datos.
2. La integración de esas bases de datos junto con los condicionantes de diseño previos, tanto geométricos como funcionales, además de aquellos que el usuario considera prioritarios y establece al inicio del proceso.
3. La aplicación de criterios de puntuación que permiten la obtención de soluciones óptimas una vez aplicada esa métrica puntuada y teniendo en cuenta las bases de datos ya mencionadas. Esta aplicación se repite sistemáticamente en las diferentes escalas, asegurando así una evaluación continua del proceso de diseño.
4. Un motor de optimización de restricciones de tipo geométrico 2D/3D, basado en metaheurísticas de *soft computing* que integre la búsqueda de alternativas extraídas de los contenidos de las bases de datos de componentes, así como usando determinados operadores de variación del diseño, todo ello guiado por los criterios de puntuación de diseños antes citados.

### 3. Proceso de diseño usando BIMBOT

#### 3.1. Atomización del proceso de diseño

Atendiendo a la envergadura del proyecto se hace necesaria la fragmentación del mismo para hacer frente a las distintas necesidades según la escala. Utilizando la experiencia acumulada en el diseño y desarrollo de proyectos residenciales se establecen los límites de cada fase sobre la que trabajar. El resultado es la creación de una herramienta específica para el tratamiento de cada una de las siguientes escalas:

1. Urbana - RegUrbis: Enmarca todas aquellas restricciones impuestas por la normativa vigente. Es necesario atender a la jerarquía de leyes del suelo, que abarca desde la estatal hasta los planes especiales, y resolver qué condiciones imperan (usualmente son aquellas más restrictivas)
2. Parcela – Buildability Estimator: Esta herramienta se encarga de la volumetría que el espacio urbano es capaz de contener. Trabaja con todas aquellas combinaciones geométricas posibles dentro de la norme y define el rango de formas que el proyecto es capaz de adoptar.
3. Escala vivienda: En este apartado se trabaja con unidades de vivienda, emplazándolas según criterios de relación con el volumen como orientación, distancia a los núcleos de comunicaciones y porcentajes de tipologías.
4. Escala habitación – Room Designer: Dentro del marco de la vivienda se trabaja con el interior de las unidades de habitación, haciendo hincapié en el correcto diseño de baños y cocinas por ser aquellas con más condicionantes funcionales.

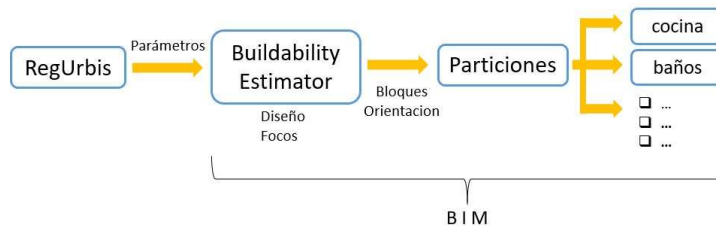


Fig. 1 – Input. Fuente: RegUrbis (2019)

Para acotar el alcance de cada una de las herramientas se simplifica, como paso inicial, el análisis de las fases y escalas del proyecto, llevándolo a una estrategia lineal: detección de inputs – esquematización del proceso – determinación de los outputs. Estos 3 grupos se distinguen con claridad en cada herramienta y ayudan a resolver los pasos intermedios que darán lugar a la conformación final de BIMBOT como aplicación integrada en todas las fases de diseño.

### 3.2. RegUrbis: Determinaciones legales, normativa según ámbito de aplicación (RegUrbis)

Para la búsqueda de normativa se ha desarrollado una herramienta de interpretación de textos y filtrado de información denominada RegUrbis que consiste en un motor de Procesado de Lenguaje Natural (Natural Language Processing, NLP) [40]. Dicha aplicación procesa la normativa de urbanismo municipal, regional y cualquier otro documento regulativo que se incluya, así como la información relativa al proyecto (localidad, distrito...), la tipología de la construcción, y algunos otros parámetros para la puesta en contexto del proyecto. Con esta información, identifica las secciones del documento de donde se extraen los parámetros normativos necesarios para el diseño y verificación del proyecto, tales como la altura máxima edificable, retranqueos, distancias mínimas y máximas entre elementos y cualquier otro parámetro cuantitativo que se quiera recoger.

Document	Format	Date	Updated	URL
<input type="checkbox"/> Plan General de Ordenación	PDF	4/7/2016	1/3/2019	http://www.regurbis.com/static/234/34535d3.pdf
<input type="checkbox"/> Plan especial del Sector II	PDF	1/1/2018	6/4/2019	http://www.regurbis.com/static/234/13242345.pdf
<input type="checkbox"/> Modificaciones al Plan 2018	SCAN	1/8/2018	3/1/2019	http://www.regurbis.com/static/234/23423434.pdf

La configuración de este servicio se realiza por medio de unas plantillas de información a extraer que se han entrenado previamente y que un algoritmo de aprendizaje automático reconoce, procesa, etiqueta y cataloga. En los casos en los que la normativa sea ambigua o no se pueda extraer automáticamente alguno



de los parámetros, la herramienta asiste al usuario mostrando las secciones que ha identificado que se refieren al parámetro buscado y las relaciones y valores que ha encontrado.

### 3.3. Buildability Estimator: Edificabilidad basada en geometría, focos y criterios de diseño

La siguiente herramienta del proceso de BIMBOT es Buildability Estimator. Esta herramienta se configura con las plantillas rellenas de la normativa producidas por RegUrbis o proporcionadas de forma manual por el usuario. Asimismo, recibe inputs que restringen la geometría y analiza la localización de la parcela a edificar.

Uno de los inputs adicionales que recibe la herramienta es una descripción de puntos focales (focos) a los que se les asocian valores de intensidad. Estos focos son aquellos elementos interiores o exteriores a la parcela que afectan a la calidad, confort o precio de la edificación. Ejemplos de estos focos son zonas de emisión de ruidos (como una carretera o un tendido ferroviario) u orientaciones más atractivas a nivel de vistas (zonas verdes, parques o vistas singulares).

Buildability Estimator realiza un análisis de la parcela, la geometría y los focos positivos y negativos que condicionan al proyecto teniendo en cuenta los criterios de diseño del usuario. Esta herramienta utiliza una serie de metaheurísticas de optimización (ver sección 1) que juegan con diferentes configuraciones de los volúmenes de edificación, orientaciones y tamaños. Cada configuración es evaluada en relación a criterios como la ergonomía/comfort, porcentaje de edificabilidad, iluminación, eficiencia energética, y coste. El propio motor de optimización se asegura que las normativas y preferencias de diseño se traten como restricciones que toda configuración válida tiene que cumplir.

En output de esta herramienta es la creación, esquemática, de las posibles soluciones válidas y nos da diferentes criterios de evaluación de una forma visual. El usuario puede editar estas configuraciones de forma manual y solicitar la re-evaluación de las mismas. También puede fijar determinadas partes de las configuraciones y reiniciar el proceso de configuración fijando algunos de los grados de libertad con los que juega la herramienta. De las soluciones obtenidas, el usuario selecciona la que prefiera teniendo en cuenta la evaluación de los distintos factores y crea la volumetría en el modelo. Esta solución se carga por medio de la extensión en Revit.

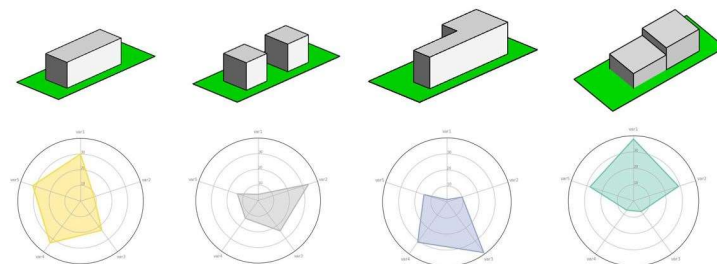


Fig. 3 – Output. Fuente: Buildability Estimator (2019)

### 3.4. Partición de las volumetrías

La salida del Buildability Estimator se puede procesar con diferentes herramientas o editar manualmente en Revit. BIMBOT ofrece una serie de herramientas ya integradas en este entorno que permiten proponer particiones a partir de una serie de preferencias de diseño y tipologías de módulos (viviendas según dormitorios), así como una biblioteca de habitaciones (dormitorio principal, cocina, salón, aseo...). En esta fase del proceso intervienen como parte fundamental las peticiones del cliente sobre porcentaje de viviendas, edificabilidad a cubrir y, por supuesto, la normativa aplicable sobre protección contra incendios, núcleos de comunicación y distancias mínimas de evacuación.

Estas herramientas permiten jugar con configuraciones, controlar la conectividad entre las habitaciones, cambiar los parámetros de ratio de aspecto, tamaño u otras preferencias. Internamente las herramientas de BIMBOT resuelven un problema de particionado 2D con restricciones usando técnicas metaheurísticas de Búsqueda sobre Vecindario Variable (Variable Neighbourhood Search, VNS) [41] y técnicas de particionamiento de grafos [42].

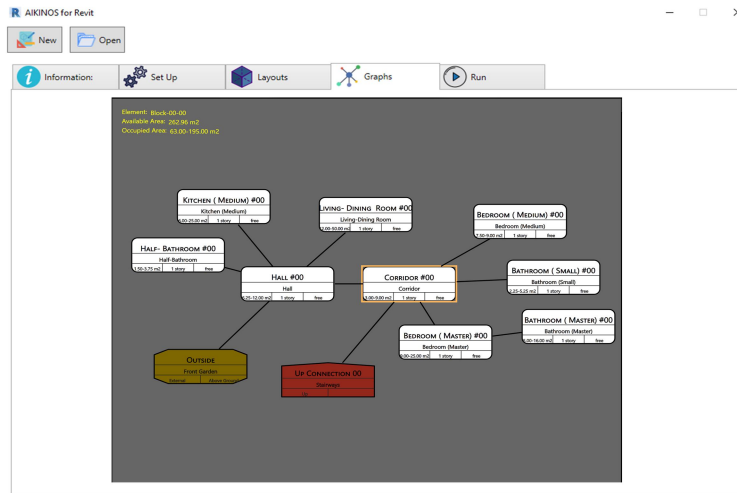


Fig. 4 – Output. Fuente: BIMBOT (2020)

### 3.5. Diseño y configuración de habitaciones

Finalmente, BIMBOT proporciona una serie de herramientas asociadas que permiten asistir en la configuración de determinadas habitaciones (Kitchen Designer, Bathroom Designer...). Estas herramientas configuran los módulos y elementos de la habitación de acuerdo con una serie de criterios de eficiencia, ergonomía en el uso y accesibilidad. Estos criterios son configurables, así como los elementos a usar (importados como familias de Revit). La razón por la que el desarrollo de estas herramientas se ha centrado en las dos estancias de la vivienda mencionadas es debido a que son aquellas que más complejidad de diseño conllevan, ya que implican una integración muy específica y unos sistemas de instalaciones asociadas que repercuten en la totalidad del modelo BIM.

Fig. 5 – Input. Fuente: Kitchen Designer (2019)

En este caso las restricciones aportadas a la aplicación vienen de dos fuentes distintas, por un lado la partición realizada o bien por el propio BIMBOT o bien por el usuario, y, por otro lado, la disponibilidad de los elementos que configuran cada una de las estancias. Estos elementos conforman una base de datos susceptible de ser ampliada por los requisitos concretos del cliente, y contemplan, desde el momento de su generación, todos los parámetros intrínsecos a su función. El ejercicio de análisis de estancias junto con la iteración de las evaluaciones de las mismas lleva a establecer unos criterios de diseño que, debido a la cantidad de datos que es necesario relacionar, sólo es posible aplicar eficientemente con la ayuda de la IA.

La tecnología de BIMBOT usada por detrás de estas herramientas se basa en varios componentes que enlazan optimización heurística como los algoritmos VNS antes mencionados, con plantillas descritas por Árboles de Comportamiento (Behaviour Trees) [43] o un Planificador de Orden Parcial para problemas geométricos.

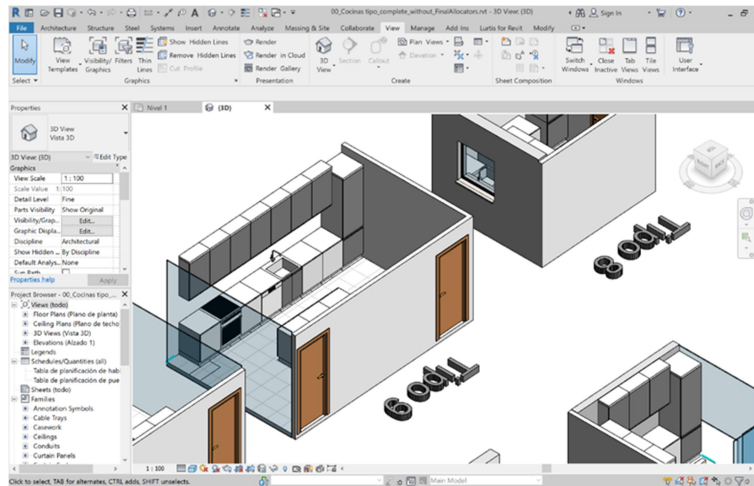


Fig. 6 - Output. Fuente: Kitchen Designer (2019)

#### 4. Conclusiones

BIMBOT surge como respuesta natural a la búsqueda de sistemas de optimización de procesos aplicados en el entorno de la arquitectura y la construcción. El propio proceso de desarrollo de la herramienta implica una sistematización de los procedimientos de trabajo que ya de por sí es un valor añadido para cualquier empresa de arquitectura que quiera coordinar sus modelos BIM con eficiencia.

Cada uno de los mecanismos aquí planteados lleva a transformar el papel de los arquitectos en supervisores, utilizando sus conocimientos para entrenar a la máquina. De esta forma la tarea de ofrecer posibilidades ya no recae en un equipo si no que se condensa en el tiempo permitiendo la elección y el desarrollo de múltiples opciones. Es imprescindible en el sector ir asumiendo la integración de este tipo de mecanismos, de forma que, mientras la IA se entrena para reconocer parámetros, preferencias y restricciones, los usuarios se entrenen a su vez para detectar necesidades y mejoras en las herramientas que utilizan, de forma que el resultado sea realmente el óptimo.

Al ofrecer este paquete de herramientas para instrumentar un proceso de diseño asistido por Inteligencia Artificial ayudamos a diseñar proyectos BIM en sus diferentes escalas de forma paralela. Además permite una monitorización del proceso que ha sido testada para garantizar las mejores soluciones independientemente de las diferencias entre proyectos. Las herramientas son intercambiables y pueden usarse de forma individual o integradas en un proceso apoyado íntegramente por esta tecnología. En su estado actual están programadas para adaptarse al entorno de modelado Revit, pero esta misma metodología puede aplicarse en el futuro a otras plataformas BIM.

## Referencias

- [1] S. Russell y P. Norvig, *Artificial intelligence: a modern approach*, Malaysia: Pearson Education Limited, 2016.
- [2] H. Salehia y R. Burgueño, «Emerging artificial intelligence methods in structural engineering,» *Engineering Structures*, vol. 171, pp. 170-189, 2018.
- [3] D. Pham y P. Pham, «Artificial intelligence in engineering,» *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 39, nº 6, pp. 937-949, 1999.
- [4] P. Lu, S. Chen y Y. Zheng, «Artificial Intelligence in Civil Engineering,» *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2012, p. 22, 2012.
- [5] I. As, S. Pal y P. Basu, «Artificial intelligence in architecture: Generating conceptual design via deep learning,» *International Journal of Architectural Computing*, vol. 16, nº 4, pp. 306-327, 2018.
- [6] D. Snoonian, «Smart buildings,» *IEEE Spectrum*, vol. 40, nº 8, pp. 18-23, 2003.
- [7] C. Ramos, J. C. Augusto y D. Shapiro, «Ambient Intelligence—the Next Step for Artificial Intelligence,» *IEEE Intelligent Systems*, vol. 23, nº 2, pp. 15-18, 2008.
- [8] D. J. Cook, J. C. Augusto y V. R. Jakkula, «Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities,» *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 5, nº 4, pp. 277-298, 2009.
- [9] M. Bhatt, J. Suchan, C. Schultz, V. Kondyli y S. Goyal, «Artificial Intelligence for Predictive and Evidence Based Architecture Design,» de Thirtieth AAAI Conference on Artificial Intelligence, 2016.
- [10] M. Ashouri, F. Haghghat, B. C. Fung, A. Lazrak y H. Yoshino, «Development of building energy saving advisory: A data mining approach,» *Energy and Buildings*, vol. 172, pp. 139-151, 2018.
- [11] D. B. Crawley, J. W. Hand, M. Kummert y B. T. Griffith, «Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs,» *Building and Environment*, vol. 43, nº 4, pp. 661-673, 2008.
- [12] S. Attia, E. Gratia, A. D. Herde y J. L. M. Hensen, «Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design,» *Energy and Buildings*, vol. 49, pp. 2-15, 2012.
- [13] P. H. Shaikh, N. B. M. Nor, P. Nallagownden, I. Elamvazuthi y T. Ibrahim, «A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 34, pp. 409-429, 2014.
- [14] K. M. Saridakis y A. J. Dentsoras, «Soft computing in engineering design – A review,» *Advanced Engineering Informatics*, vol. 22, nº 2, pp. 201-221, 2008.
- [15] R. Roy, T. Furuhashi y P. K. Chawdhry, *Advances in soft computing: Engineering design and manufacturing*, Springer Science & Business Media, 2012.
- [16] X. Jun, J. Annan, W. Zhiwu y Q. Jingping, «A Nonlinear Optimization Technique of Tunnel Construction Based on DE and LSSVM,» *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, p. 11, 2013.
- [17] N. Noilublao y S. Bureerat, «Simultaneous topology, shape, and sizing optimisation of plane trusses with adaptive ground finite elements using MOEAs,» *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, p. 12, 2013.
- [18] M. P. Saka, O. Hasańcebi y Z. W. Geem, «Metaheuristics in structural optimization and discussions on harmony search algorithm,» *Swarm and Evolutionary Computation*, vol. 28, pp. 88-97, 2016.
- [19] J. M. Peña, A. LaTorre y A. Jérusalem, «SoftFEM: The Soft Finite Element Method,» *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 118, nº 10, pp. 606-630, 2019.
- [20] RalphEvins, «A review of computational optimisation methods applied to sustainable building design,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, pp. 230-245, 2013.
- [21] V. Machairas, A. Tsangrassoulis y K. Axarli, «Algorithms for optimization of building design: A review,» *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 31, pp. 101-112, 2014.
- [22] D. J. Gerber y S.-H. E. Lin, «Designing in complexity: Simulation, integration, and multidisciplinary design optimization for architecture,» *Simulation*, vol. 90, nº 8, pp. 936-959, 2013.
- [23] J. M. Peña, J. Viedma, S. Muelas, A. LaTorre y L. Peña, «Designer-driven 3D buildings generated using Variable Neighborhood Search,» de IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, Dortmund, Germany, 2014.
- [24] M. Turrin, P. v. Buelow y R. Stouffs, «Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms,» *Advanced Engineering Informatics*, vol. 25, nº 4, pp. 656-675, 2011.
- [25] M. P. Saka y Z. W. Geem, «Mathematical and Metaheuristic Applications in Design Optimization of Steel Frame Structures: An Extensive Review,» *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2013, p. 33, 2013.

- [26] T. Méndez-Echenagucia, A. Capozzoli, Y. Cascone y M. Sassone, «The early design stage of a building envelope: Multi-objective search through heating, cooling and lighting energy performance analysis,» *Applied Energy*, vol. 154, pp. 577-591, 2015.
- [27] M. Qingsong y H. Fukuda, «Parametric office building for daylight and energy analysis in the early design stages.,» *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 216, pp. 818-828, 2016.
- [28] E. Touloupaki y T. Theodosiou, «Optimization of Building form to Minimize Energy Consumption through Parametric Modelling,» *Procedia Environmental Sciences*, vol. 38, pp. 509-514, 2017.
- [29] I. G. Dino, «Creative design exploration by parametric generative systems in architecture,» *METU Journal of Faculty of Architecture*, vol. 29, nº 1, pp. 207-224, 2012.
- [30] T. McGinley, J. Collins, Q. Schwarz y M. Muehlbauer, «Suburban mutations: towards the multi-dimensional appropriation of science in architecture,» de *Architectural Science Association Conference*, 2016.
- [31] J. Togelius, G. Yannakakis, K. O. Stanley y C. Browne, «Search-Based Procedural Content Generation: A Taxonomy and Survey,» *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games*, vol. 3, nº 3, pp. 172-186, 2011.
- [32] M. Hendriks, S. Meijer, J. Van Der Velden y A. Iosup, «Procedural content generation for games: A survey,» . *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMM)*, vol. 9, nº 1, pp. 1-22, 2013.
- [33] D. Nagy, D. Lau, J. Locke, J. Stoddart, L. Villaggi, R. Wang, D. Zhao y D. Benjamin, «Project Discover: An application of generative design for architectural space planning,» de *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, Toronto, ON, Canada, 2017.
- [34] J. McCormack, A. Dorin y T. Innocent, «Generative design: a paradigm for design research,» de *Proceedings of Futureground*, Melbourne, Australia, 2004.
- [35] D. Karavolos, A. Liapis y G. N. Yannakakis, «A Multi-Faceted Surrogate Model for Search-based Procedural Content Generation,» *IEEE Transactions on Games*, pp. 1-1, 2019.
- [36] R. Gagnon, L. Gosselin, S. Park, S. Stratbücker y S. Decker, «Comparison between two genetic algorithms minimizing carbon footprint of energy and materials in a residential building,» *Journal of Building Performance Simulation*, vol. 12, pp. 224-242, 2019.
- [37] T. Wortmann, C. Waibel, G. Nannicini, R. Evins, T. Schroepfer y J. Carmeliet, «Are genetic algorithms really the best choice for building energy optimization?,» de *Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design*, Toronto, ON, Canada, 2017.
- [38] A. LaTorre, S. Muelas y J. M. Peña, «A comprehensive comparison of large scale global optimizers,» *Information Sciences*, vol. 316, nº C, pp. 517-549, 2015.
- [39] S. Muelas, J. ´ Peña, K. Muzhetskaya, A. LaTorre y P. D. Miguel, «Optimizing the Design of Composite Panels using an Improved Genetic Algorithm,» de *Proceedings of the International Conference on Engineering Optimization (EngOpt'08)*, Rio de Janeiro, 2008.
- [40] G. G. Chowdhury, «Natural language processing,» *Annual review of information science and technology*, vol. 37, nº 1, pp. 51-89, 2003.
- [41] P. Hansen, N. Mladenović y J. A. Moreno Pérez, «Variable neighbourhood search: methods and applications,» *Annals of Operations Research*, vol. 175, p. 367-407, 2010.
- [42] A. Buluç, H. Meyerhenke, I. Safro, P. Sanders y C. Schulz, «Recent Advances in Graph Partitioning,» *Algorithm Engineering*, vol. 9220, pp. 117-158, 2016.
- [43] M. Colledanchise y P. Ögren, «How Behavior Trees modularize robustness and safety in hybrid systems,» de *RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Chicago, IL, USA, 2014.

## LA REALIDAD VIRTUAL COMO DIMENSIÓN DEL BIM. APLICACIONES REALES AL PROYECTO Y EXPLOTACIÓN DE CARRETERAS

Alcobendas, Julio<sup>a</sup>; Casado, Sergio<sup>b</sup>; Martínez-Ibáñez, Víctor<sup>c</sup>; Aranda Domingo, José Ángel<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Área de Ingeniería Civil y Arquitectura, AYESA, España, [jalcobendas@ayesa.com](mailto:jalcobendas@ayesa.com), <sup>b</sup>Área de Ingeniería Civil y Arquitectura, AYESA, España, [scasado@ayesa.com](mailto:scasado@ayesa.com), <sup>c</sup>Departamento de Ingeniería del Terreno, Universitat Politècnica de València, España, [vicmarib@trr.upv.es](mailto:vicmarib@trr.upv.es), <sup>d</sup>Departamento de Ingeniería Gráfica, Universitat Politècnica de València, España, [jaranda@dig.upv.es](mailto:jaranda@dig.upv.es)

### Abstract

*A progressive implementation of BIM in infrastructure opens a new methodological and technological horizon, which goes beyond the traditional workflows based on plans. The digital model is intended to be the main element in the design and management of infrastructure. It is a repository of information that depends on the final use of the model. Thus, it is agreed to group the information related to geometry, planning, costs, sustainability and maintenance in the so-called "dimensions of the BIM". The use of virtual reality techniques applied over a road digital model allows to register the user's driving experience and simulate the real traffic conditions that would appear on the road. This new information, generated by the model-user interaction, transcends the accepted dimensions of BIM and proves to be of great value in decision making. In this article, real cases of application of virtual reality on digital road models are presented. A description of the workflows is given, as well as the advantages of using this technique in the design and operation of roads.*

**Keywords:** BIM, Building Information Modeling, Driving simulator, Geometric design, Road safety, Virtual Reality

### Resumen

*La progresiva implantación de BIM en infraestructuras abre un nuevo horizonte metodológico y tecnológico, que va más allá de los flujos de trabajo tradicionales basados en el plano. La maqueta digital está destinada a ser el elemento principal en el diseño y gestión de infraestructuras. Se trata de un repositorio de información, que depende del uso final al que se destinará el modelo. Así, se acuerda agrupar la información relativa a geometría, planificación, costes, sostenibilidad y mantenimiento en las llamadas "dimensiones del BIM". El uso de técnicas de realidad virtual aplicadas sobre un modelo digital de la carretera permite registrar la experiencia de conducción del usuario, y simular las condiciones de circulación reales que se presentarían en la vía. Esta nueva información, generada por la interacción modelo-usuario, trasciende a las dimensiones de BIM aceptadas, y demuestra ser de gran valor en la toma de decisiones. En el presente artículo se presentan casos reales de aplicación de la realidad virtual sobre maquetas digitales de carreteras. Se describen los flujos de trabajo, así como las ventajas que supone el empleo de esta técnica en el diseño y explotación de carreteras.*

**Palabras clave:** BIM, Building Information Modeling, Driving simulator, Geometric design, Road safety, Virtual Reality

## Introducción

El transporte es necesario para el buen funcionamiento de las sociedades modernas, para el bienestar de las personas, y para la economía. La inversión en carreteras en 2016 en la Unión Europea (UE) fue del 0,6% del PIB de los 28 estados miembros, siendo en España cercana al 0,8% (Schroten, van Wijngaarden, *et al.*, 2019). Al mismo tiempo, los costes medioambientales, sobre la salud, la calidad del aire y el clima asociados al transporte son del orden del 7% del Producto Interior Bruto (PIB) del total de la UE, de los que el 75% son atribuibles a la red de carreteras (Schroten, van Essen, *et al.*, 2019). Por otra parte, la seguridad vial es el derecho de los ciudadanos a una movilidad adecuada y segura en las vías públicas. El coste en vidas humanas que suponen los accidentes de tráfico ha exigido el planteamiento de políticas activas (OCDE, 2008; The World Bank, 2014). La innovación en la ingeniería de carreteras puede contribuir no solo a la optimización de costes de inversión y medioambientales, sino también a la mejora de la seguridad vial. De hecho, la estrategia europea promueve el uso de las tecnologías modernas para mejorar la seguridad vial (Comisión Europea, 2010). En este sentido, el uso de simuladores de conducción parece contribuir a estos objetivos: en fase de diseño es posible la circulación virtual simulando diferentes circunstancias de tráfico (Bella, 2009; Van Der Horst and Hogema, 2011). Los datos recogidos se utilizan para evaluar el diseño viario a partir de la respuesta cualitativa (reacciones del usuario), y cuantitativa (velocidad, aceleración, y posición) (Llopis-Castelló, Camacho-Torregrosa and García García, 2019), permitiendo detectar problemas incluso antes de la puesta en servicio de la infraestructura. La conducción virtual a partir de una maqueta digital de la carretera puede suponer una herramienta de mejora en la concepción de las infraestructuras mediante la metodología Building Information Modeling (BIM), donde las experiencias de este tipo son todavía escasas en comparación con el sector de la edificación (Costin *et al.*, 2018).

Los costes y tiempos asociados a la simulación pueden limitar su implantación, pues tienen una repercusión directa en la economía del proyecto. Por ello, algunos autores han propuesto y validado simuladores con equipos de bajo coste (Llopis-castelló *et al.*, 2016) con el objetivo de reducir costes. A pesar de ello, los simuladores existentes todavía pueden suponer unos costes excesivos, y que en el contexto actual se suman a los debidos a la implantación de la metodología BIM.

En la presente investigación se propondrá un simulador con costes de adquisición y operación bajos. Se describirá los materiales utilizados: equipos informáticos no específicos, y periféricos de coste moderado y fácil obtención en el mercado. Se utilizó el simulador en dos proyectos reales desarrollados por la empresa Ayesa, S.A, desarrollados por encargo de Infraestructures de la Generalitat de Catalunya, S.A, entre los años 2018 y 2019: un proyecto de explotación de carreteras, y un caso de mejora de la seguridad vial. A partir de los resultados, se evaluará si el uso de un simulador virtual de bajo coste contribuye a la mejora de la metodología BIM aplicada al diseño de carreteras. Finalmente, se discutirá cómo la información generada durante la conducción virtual podría enmarcarse entre las dimensiones de BIM reconocidas por el sector.

## 1. Materiales y metodología

### 1.1. Equipos y periféricos

Para ejecutar la simulación se ha realizado la prueba con un equipo Hewlett Packard ZBook 15G3 Intel Core i7, 16Gb RAM, con una gráfica NVidia quadro 450. Se utilizaron volante y pedales Logitech Driving Force, para controlar el vehículo. El técnico a cargo del control del vehículo utilizó gafas de realidad virtual (en adelante VR) para móvil VRBOX 2: el ordenador enviaba la simulación a un teléfono móvil BQ Aquarius M5 que se acopló dentro de las gafas VR, quedando enlazadas con el ordenador mediante la aplicación Trinus WiFi. El móvil quedó emparejado a un monitor, que permitió al equipo de ingenieros a cargo del proyecto ver el desarrollo de la simulación.

## 1.2. Fases de modelado

El primer paso fue la generación de una alternativa de la carretera mediante el software BIM para el modelado de obras lineales ISTRAM V19.2, a partir de cartografía topográfica vectorial a escala 1:1000 (ICGC, 2010). El modelado incluyó la definición en planta, alzado y sección transversal, además del equipamiento viario: barreras de seguridad, marcas viales, muros de contención, y otras estructuras de hormigón. Se exportó un modelo digital del terreno (MDT) que incluía a la nueva carretera y el equipamiento viario en formato informático Wavefront OBJ (en adelante OBJ). Por otra parte, se eligieron y adaptaron objetos del software Autodesk Infracore tales como arbolado, torres de electricidad, y edificaciones, que también se exportaron al formato OBJ.

## 1.3. Trabajo sobre la plataforma VR

### 1.3.1. Generación del escenario

Se importó el MDT, los objetos de equipamiento viario, y los objetos del entorno procedentes de Istram e Infracore a la plataforma de desarrollo 3D Unity 3D V18.3. Esta plataforma está dotada de un motor de juego (game engine) capaz de simular las leyes de la física (física de juego) de los diferentes objetos que intervienen en la simulación, una vez configurados mediante scripts, como se verá más adelante.

Para mejorar el realismo del entorno, sobre el MDT se solapó una ortofoto con tamaño de píxel 25 cm (ICGC, 2019). También se dotó de texturas materiales a los objetos importados: firme, taludes, cunetas, estructuras de hormigón y equipamiento viario. Todo lo anterior se realizó a partir de la interfaz de uso de la plataforma multimedia.

### 1.3.2. Modelado del Actor Virtual Principal

Un actor virtual es aquel elemento de la simulación al que se confiere propiedades cinemáticas: vehículos y peatones circulando por la carretera. El Actor Virtual Principal (en adelante AVP) es el vehículo que permitirá la conducción virtual. El diseño interior y exterior del AVP fue adaptado mediante el software de diseño 3D Studio y exportado en formato Filmbox FBX (en adelante FBX). Para mejorar la simulación de colisiones, se decidió adaptar una malla de colisión al contorno del vehículo, a partir de las herramientas de Unity: esta malla representa la deformación de la envolvente del vehículo, de forma coherente con propiedades físicas y deformacionales decididas por los autores.

También se asignó propiedades físicas (masa y centro de gravedad) a aquellos elementos de la vía que pueden interactuar con el AVP de forma pasiva: equipamiento viario, arbolado, vehículos estacionados y, en definitiva, cualquier objeto contra el que el vehículo pudiera colisionar (Fig. 1).



Fig. 1 Asignación de propiedades físicas. Fuente: Elaboración propia (2019).



Por último, se definieron propiedades físicas de interacción entre los actores virtuales y los objetos de la escena. Para ello, se utilizaron scripts orientados a regular el comportamiento de las ruedas (Fig. 2). La física más importante es la que define el tipo de contacto entre los neumáticos y el pavimento, por lo que se definieron condiciones de rugosidad y adherencia.

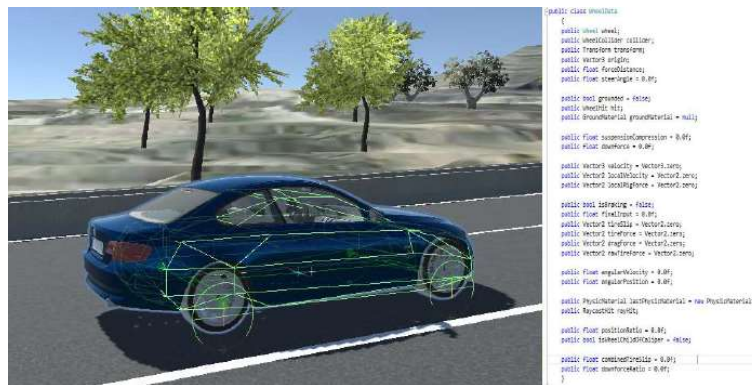


Fig. 2 Script orientado a regular el comportamiento de las ruedas. Fuente: elaboración propia (2019)

### 1.3.3. Simulación de conducción y telemetría virtual

De forma preliminar a la conducción virtual, se establecieron unas condiciones atmosféricas a partir de objetos interactivos incluidos en la plataforma de desarrollo 3D: luminosidad, viento, lluvia, o nieve. Esto permitió comprobar las reacciones del conductor ante una climatología adversa, y mejorar el diseño con esta información.

Para evitar un condicionamiento previo, la conducción virtual fue realizada por un técnico ajeno al equipo de proyecto. La supervisión de las reacciones del conductor fue seguida por el equipo de técnicos asignados al proyecto, a partir de un monitor externo (Fig. 3) donde se proyectaron diferentes vistas de la escena.



Fig. 3. El equipo de técnicos supervisando las reacciones del conductor. Fuente: elaboración propia (2019).

Fue posible extraer del motor de juego los datos de cinemática del vehículo: velocidad del vehículo, aceleración percibida por el conductor, masa dinámica del vehículo, marcha y revoluciones del motor, o la velocidad de giro de cada rueda (Tabla 1). Con ello, pudo evaluarse fenómenos como pérdidas de adherencia en curva o la posibilidad de hidroplaneo, y realizar mejoras en el diseño.

Tabla 1. Velocidad individual de cada rueda. Fuente: elaboración propia (2019)

T	Wheel FL	Wheel FR	Wheel RL	Wheel RR
5:37	753	753	753	754
5:38	753	753	753	753
5:39	753	744	753	753
5:40	754	727	754	754
5:41	754	701	754	754
5:42	754	734	754	754
5:43	755	748	755	755
5:44	755	755	755	755
5:45	755	755	756	756

La vista dinámica del diseño por parte del equipo a cargo del proyecto, las diferentes reacciones del conductor al circular por la vía, junto con el análisis de los datos de telemetría virtual del vehículo, permitieron comenzar un proceso iterativo de diseño y comprobación hasta la obtención de la alternativa óptima (Fig. 4).

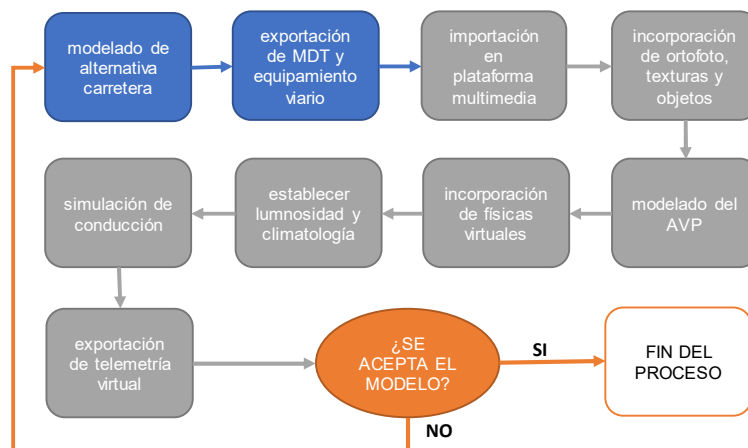


Fig. 4. Proceso iterativo de diseño y comprobación. Fuente: elaboración propia (2019).

#### 1.3.4. Acceso a la simulación por parte de terceros (SIMCOVIR)

El entorno virtual se guardó en forma de aplicación con formatos informáticos Android Application Package (en adelante APK) y ejecutable (EXE): el cliente puede acceder en su dispositivo móvil desde Google Play Store, o en un ordenador con Windows, respectivamente. Esta aplicación, que integra la totalidad del escenario simulado, ha sido nombrada por los autores SIMCOVIR (Simulación de Conducción Virtual), y permite a técnicos de la empresa gestora de la carretera no solamente explorar los diseños propuestos, sino también realizar la conducción virtual en sus propios equipos, para posteriormente compartir impresiones con los técnicos proyectistas.

## 2. Casos de estudio

### 2.1. Aplicación a la explotación de carreteras: carril reversible en la C-16 entre Cercs y Bagà (Barcelona)

#### 2.1.1. Planteamiento

La carretera C-16 entre Cercs y Bagà (Barcelona) comunica el área metropolitana de Barcelona, y el Pirineo oriental. Las puntas de tráfico se distribuyen de forma muy desigual durante el fin de semana: en el sentido Pirineos durante los viernes por la tarde y los sábados por la mañana, y en el sentido Barcelona durante el domingo por la tarde. La vía dispone de un carril por sentido (1+1) y tiene una capacidad insuficiente para absorber estos tráficos. No es posible ampliar un carril por sentido (a un coste razonable) porque la C-16 se encuentra, en este tramo de 15 km, encajada en el valle del río Llobregat. Para mejorar esta situación, el gestor de la carretera decidió la construcción de un tercer carril (2+1) que se habilitaría de forma alternativa en el sentido de máxima demanda, mejorando la capacidad. Para ello se utilizaría un sistema de mediana móvil (Team, 2017), que permitiría garantizar la seguridad vial.

El problema principal que se planteaba en este caso de estudio fue determinar el ancho de ampliación necesario para establecer el tercer carril, teniendo en cuenta dos puntos de vista contrapuestos: por un lado, minimizar el ancho de ampliación debido a las difíciles condiciones orográficas mencionadas anteriormente, y con ello los costes asociados a movimientos de tierras y estructuras. Por otro lado, maximizar el ancho disponible para evitar que, cuando un vehículo quede averiado en el sentido en que hay abierto un solo carril, éste no obstaculice el tráfico y provoque grandes retenciones.

La aproximación inicial al problema fue la representación estática, utilizando los programas informáticos ISTRAM y AUTOCAD, de los vehículos situados en secciones con diferentes anchos. Sin embargo, esta forma de trabajo no permitió incorporar los gálibos dinámicos del vehículo, ni validar la solución teniendo en cuenta la percepción y reacción de los usuarios. En definitiva, con un modelo estático no pudo determinarse el ancho óptimo de adelantamiento de emergencia en el carril único (Fig. 5). Por todo lo anterior, se recurrió a la realidad virtual.

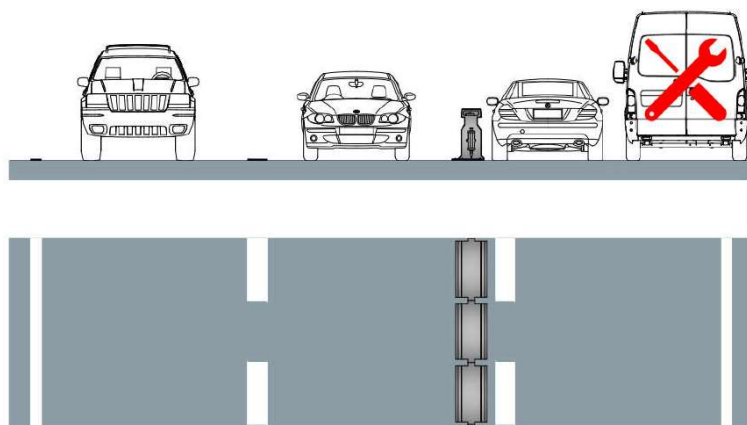


Fig. 5 Modelo estático. Fuente: elaboración propia (2019).

#### 2.1.2. Resultados

Se realizó la conducción virtual en el tramo de estudio, empleando distintos tipos de vehículos accidentados en el arcén del sentido de carril único: vehículo ligero, vehículo pesado, y autobús. El conductor percibía la escena mediante sus gafas VR, mientras en la pantalla se proyecta la cámara exterior para el seguimiento de los miembros del equipo de proyecto (Fig. 6).



Fig. 6 Simulación con un vehículo ligero accidentado en el arcén. Fuente: elaboración propia (2019).

Se iteró la simulación con distintos anchos para el carril, hasta que se encontró la solución óptima en explotación con la mínima anchura necesaria para optimizar costes de ejecución.

Se comprobó que la ampliación de la calzada en 4,65 m, estableciendo un carril en sentido único de ancho 5,65 m incluyendo arcén, permitía a un vehículo ligero rebasar a otro vehículo ligero estacionado en el arcén, a una velocidad de 67 km/h, a un autobús a 57 km/h, y a un vehículo pesado a 53 km/h. Estas velocidades se consideraron aceptables para una situación de emergencia, teniendo en cuenta que la velocidad de circulación máxima permitida en la C-16 varía entre 60 y 90 km/h para este tramo.

## 2.2. Aplicación a la mejora de la seguridad vial: carretera C-66 en Banyoles (Girona)

### 2.2.1. Planteamiento

En este caso se estudió un tramo de concentración de accidentes en el enlace de la carretera C-66 cerca de Banyoles. Se trata de una carretera con un carril por sentido, más un tercer carril que permite el adelantamiento en sentido norte. Muy próximo se localiza, en el sentido norte, el ramal de salida hacia Banyoles, con una longitud de deceleración insuficiente. Todo ello, unido a una velocidad reglamentaria elevada (90 km/h), provoca maniobras bruscas de cruce de trayectorias (vehículos que finalizan un adelantamiento por el carril central y deciden salir por el ramal), salidas de la vía por falta de longitud de deceleración en el ramal, y accidentes frontales por falta de separación entre los sentidos norte y sur. Para mejorar estos problemas el gestor de la carretera decidió: establecer el final del carril central de adelantamiento antes de la salida del ramal para evitar cruce de trayectorias, alargar el ramal de salida hacia Banyoles para disponer de una mayor distancia de deceleración, y colocar una barrera rígida para separar los dos sentidos de circulación para evitar accidentes frontales.

Este problema se afrontó inicialmente de forma estática utilizando ISTRAM y AUTOCAD. El problema principal fue fijar la distancia entre el final del carril central de deceleración, y el inicio del ramal de salida, o incluso si pudiera establecerse cierto solape entre ambos. La normativa de carreteras (Ministerio de Fomento, 2016) no define cómo debe resolverse el problema planteado. Además, no fue posible predecir las trayectorias del tráfico que se generarán utilizando un modelo estático.

### 2.2.2. Resultados

2.2.3. Se preparó varios escenarios para la simulación, con diferentes distancias entre el final del carril central y el inicio del ramal de salida. Sobre cada escenario se simularon las maniobras posibles, y en particular la más peligrosa, que consistió en el adelantamiento por el carril central, a un vehículo circulando por el carril derecho, y a continuación la salida por el ramal (Fig. 7).



Fig. 7 Simulación de un adelantamiento por el carril central. Fuente: elaboración propia (2019).

Para cada maniobra y escenario se anotaron las reacciones del conductor. La telemetría del vehículo ofreció lecturas de las velocidades y aceleraciones del vehículo en cada punto. El estudio de las velocidades en cada punto permitió validar la longitud del final del carril central, y del ramal de salida. Las lecturas de aceleraciones permitieron comprobar que los cruces de trayectorias se realizaban en condiciones de seguridad.

### 3. Discusión

El sobreesfuerzo determinado para el establecimiento del carril reversible fue fijado en la fase de diseño estática a partir de un criterio normativo general para circunstancias del tráfico ordinarias. El uso del simulador permitió ajustar el sobreesfuerzo final, lo que lleva asociado la optimización del volumen de obra, de costes económicos y medioambientales. Se observó una tendencia al desplazamiento hacia el centro de la calzada en el momento de rebasar el vehículo estacionado, de forma similar a otras experiencias en simulador en situaciones de estrechamiento de carril (Rosey *et al.*, 2009).

En el caso de estudio de mejora de la seguridad vial, un enfoque basado en un modelo estático no habría permitido determinar el grado de funcionalidad y seguridad de las diferentes propuestas. Se pudo comprobar durante la conducción virtual de la carretera en su estado actual, deceleraciones excesivas al inicio del ramal de salida, y velocidades al final del mismo, lo que es coherente con otras investigaciones en simuladores (Calvi, Benedetto and De Blasiis, 2012).

Los costes de simulación fueron muy ajustados. Se utilizó un equipo informático de gama media, de uso habitual en despachos de ingeniería. De esta forma se evitaron equipos informáticos específicos para la conducción virtual (Benedetto *et al.*, 2002; Bella, 2009), lo que habría aumentado significativamente el coste total y su repercusión en la viabilidad del proyecto.

Igualmente, los periféricos empleados son habituales en el mundo del videojuego, por lo que su coste resultó bajo, en comparación con otros simuladores que emplean periféricos que son réplicas de los mandos reales de un vehículo (Llopis-castelló *et al.*, 2016). Para lograr un nivel de realismo e inmersión similar, los autores optaron por el modelado de detalle del interior del vehículo, y el uso de gafas de VR. Los tiempos de programación también resultaron muy ajustados: la simulación se realizó a partir del modelo carretero de proyecto, y se utilizó una plataforma virtual con un motor de juego, que también permitió la configuración de físicas de objetos a partir de scripts pre-programados y que utilizan una interfaz intuitiva, facilitando el proceso. Se evidenció la falta de una comunicación más directa entre el software de modelado y la plataforma de simulación, lo que impidió optimizar aún más los tiempos y costes: esto es debido a la falta de interoperabilidad en BIM aplicado a infraestructuras, y a la urgencia de un mayor desarrollo del estándar Industry Foundation Classes (en adelante IFC) (Martínez-Ibañez *et al.*, 2017; Costin *et al.*, 2018).

Para garantizar la precisión de los resultados será necesario validar el simulador propuesto, comparando el comportamiento de los conductores entre el entorno virtual, y el mismo escenario real (Kaptein, Theeuwes and van der Horst, 1996; Bella, 2009; Llopis-Castelló *et al.*, 2016). Con todo, la simulación permitió extraer datos para la optimización de los modelos, por lo que puede decirse que la solución planteada es útil para su integración en la metodología BIM.

El uso del simulador ha permitido identificar y corregir errores y optimizar el diseño en la fase de concepción de la infraestructura. Ello conllevará la reducción costes económicos y riesgos humanos en la fase de puesta en servicio. Todo ello se ha hecho a partir de una construcción digital de la carretera, modelada mediante software BIM, y al intercambio de información entre diferentes agentes del ciclo de vida de la infraestructura: el proyectista, el usuario final (representado por el conductor virtual), y el gestor de la infraestructura, que puede también puede acceder a la simulación a partir de la aplicación SIMCOVIR en formato APK o EXE. Con todo lo anterior, la investigación realizada permite aportar nuevas evidencias sobre los beneficios de la realidad virtual aplicada a BIM para infraestructuras, y que todavía son escasas en comparación con las experiencias en edificación (Costin *et al.*, 2018).

La naturaleza de la información obtenida a partir de la conducción virtual dificulta su identificación con las dimensiones BIM habituales. Así, existe consenso sobre cómo clasificar la información relativa a las dimensiones 3D, 4D, y 5D, mientras que hay diferentes opiniones sobre qué dimensiones deben incluir la información sobre sostenibilidad, operación y mantenimiento, y seguridad (Charef, Alaka and Emmitt, 2018). A pesar de que el uso de VR se centra principalmente en las dimensión 3D (Sidani *et al.*, 2019), la información obtenida a través de la conducción virtual no es puramente geométrica, también es de tipo subjetivo (reacciones del conductor), y dinámico (velocidad, aceleración, posición en cada punto e instante). También trasciende a la fase de diseño, y tiene valor para la fase de operación, siendo relevante para la seguridad de la infraestructura. Por otra parte, no es una información intrínseca e invariable asignada a objetos del modelo, sino información que se genera a partir del uso integral del mismo. Por todo ello, cómo clasificar esta información plantea un reto. Habida cuenta que puede encontrarse referencias donde las dimensiones de BIM ya alcanzan 10D, los autores cuestionan la utilidad de emplear etiquetas sucesivas para englobar la información obtenida a partir de la conducción virtual, si bien resulta evidente que dicha información trasciende a las dimensiones de BIM reconocidas por el sector.

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado un simulador con costes de adquisición y operación bajos, de forma que su menor repercusión en los costes de proyecto permita su integración en los procesos BIM en ingenierías de mediano y pequeño tamaño. Su aplicación en dos casos reales permitió observar ventajas respecto a un enfoque estático. En el caso de un proyecto de explotación de carreteras permitió incorporar los gálibos dinámicos del vehículo, y validar la solución teniendo en cuenta la percepción y reacción del conductor. En el caso de estudio de mejora de la seguridad vial, permitió comparar el grado de funcionalidad y seguridad entre diferentes propuestas a partir de las reacciones del usuario y de la dinámica del vehículo.

La investigación realizada contribuye a aumentar las evidencias, aún escasas, sobre los beneficios de la realidad virtual en BIM para infraestructuras. El encaje de la información generada durante la conducción virtual, en el marco de las dimensiones de BIM, plantea un reto: por su carácter objetivo y subjetivo, trascendencia a diferentes fases del ciclo de vida, imposible referencia a objetos, y porque se genera de forma continua a partir del uso del modelo de una forma integral.

Aunque será necesario validar el simulador en el futuro para garantizar la precisión de los resultados, los datos generados permitieron la optimización de los modelos. Por ello, puede decirse que un simulador de bajo coste, como el planteado en este estudio, es una herramienta de mejora en la metodología BIM para el diseño de carreteras.

#### Referencias

- Bella, F. (2009). "Can Driving Simulators Contribute to Solving Critical Issues in Geometric Design?", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2138(1), pp. 120–126. doi: 10.3141/2138-16.
- Benedetto, A. *et al.* (2002). "About the Standards of a Driving Simulation for Road Engineering: A New Approach", in *Applications of Advanced Technologies in Transportation (2002)*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers, pp. 704–711. doi: 10.1061/40632(245).89.
- Calvi, A., Benedetto, A. and De Blasiis, M. R. (2012). "A driving simulator study of driver performance on deceleration

- Calvi, A., Benedetto, A. and De Blasiis, M. R. (2012). "A driving simulator study of driver performance on deceleration lanes", *Accident Analysis and Prevention*, 45, pp. 195–203. doi: 10.1016/j.aap.2011.06.010.
- Charef, R., Alaka, H. and Emmitt, S. (2018). "Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views", *Journal of Building Engineering*, 19(October 2017), pp. 242–257. doi: 10.1016/j.jobe.2018.04.028.
- Comision Europea (2010). *Hacia un espacio europeo de seguridad vial: orientaciones políticas sobre seguridad vial 2011-2020*. Brussels, Belgium. Available at: [http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/pdf/road\\_safety\\_citizen/road\\_safety\\_citizen\\_100924\\_es.pdf](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/road_safety_citizen/road_safety_citizen_100924_es.pdf).
- Costin, A. et al. (2018). "Building Information Modeling (BIM). for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations", *Automation in Construction*. Elsevier B.V., 94, pp. 257–281. doi: 10.1016/j.autcon.2018.07.001.
- Van Der Horst, A. R. A. and Hogema, J. H. (2011). "Driving Simulator Research on Safe Highway Design and Operation", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2248(1), pp. 87–95. doi: 10.3141/2248-12.
- ICGC (2010). "Especificacions per al format " AutoCAD Drawing Exchange File " ( DXF ). - Cartografia topogràfica 3D a escales 1:1000 i 1:2000 (CT-1M i CT-2M). v2.2". Barcelona: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Available at: <https://www.icgc.cat/content/download/18766/60661/version/9/file/ct1m2mv22dx0.pdf>.
- ICGC (2019). "Ortofoto de Catalunya 25 cm v4r0 Especificacions tècniques". Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Available at: [https://ftp.icgc.cat/20190319\\_ortofoto25cv40esp\\_02ca.pdf](https://ftp.icgc.cat/20190319_ortofoto25cv40esp_02ca.pdf).
- Kaptein, N. A., Theeuwes, J. and van der Horst, R. (1996). "Driving Simulator Validity: Some Considerations", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1550(1), pp. 30–36. doi: 10.1177/0361198196155000105.
- Llopis-castelló, D. et al. (2016). "Validación de un simulador de conducción de bajo coste para el diseño de carreteras convencionales", in *XII Congreso de Ingeniería del Transporte (CIT 2016)*. Valencia, Spain: Editorial Universitat Politècnica de València, pp. 1866–1879.
- Llopis-Castelló, D. et al. (2016). "Validation of a Low-Cost Driving Simulator Based on Continuous Speed Profiles", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2602(1), pp. 104–114. doi: 10.3141/2602-13.
- Llopis-Castelló, D., Camacho-Torregrosa, F. J. and García García, A. (2019). "Using Objective Parameters as Surrogate Measures for Road Safety Audits", in *7th International Conference on Road Safety and Simulation (RSS 2019)*. Iowa City, USA, pp. 1–10.
- Martinez-Ibañez, V. et al. (2017). "Retos en la implantación de BIM en la ingeniería civil y propuestas para acelerar su aplicación", in *Congreso Internacional BIM / 6º Encuentro de Usuarios BIM (EUBIM 2017)*. Valencia, Spain: Editorial Universitat Politècnica de València, pp. 256–267. Available at: <http://hdl.handle.net/10251/81903>.
- Ministerio de Fomento (2016). *Norma 3.1- IC Trazado, de la Instrucción de Carreteras, Serie normativas. Instrucciones de construcción*. Madrid: Gobierno de España. Ministerio de Fomento. Dirección General de Carreteras. Available at: [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/norma\\_31ic\\_trazado\\_orden\\_fom\\_273\\_2016.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/norma_31ic_trazado_orden_fom_273_2016.pdf).
- OCDE (2008). *Objetivo Cero: Objetivos ambiciosos para la Seguridad Vial y el Enfoque sobre un Sistema Seguro*.
- Rosey, F. et al. (2009). "Impact of narrower lane width: Comparison between fixed-base simulator and real data", *Transportation Research Record*, (2138), pp. 112–119. doi: 10.3141/2138-15.
- Schroten, A., van Wijngaarden, L., et al. (2019). *Overview of transport infrastructure expenditures and costs*. Brussels, Belgium: European Commission. Available at: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/studies/overview-transport-infrastructure-expenditures-costs-isbn-978-92-79-96920-1.pdf>.
- Schroten, A., van Essen, H., et al. (2019). *Sustainable Transport Infrastructure Charging and Internalisation of Transport Externalities: Main Findings*. Available at: <https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/2018-year-multimodality-external-costs-ce-delft-preliminary-results.pdf>.
- Sidani, A. et al. (2019). "Recent Tools and Techniques of BIM-Based Virtual Reality: A Systematic Review", *Archives of Computational Methods in Engineering*. Springer Netherlands. doi: 10.1007/s11831-019-09386-0.
- Team, P. E. C. T. (2017). *ROAD ZIPPER™*. doi: 10.5703/1288284316363.
- The World Bank (2014). *Global Road Safety Facility (GRSF) strategic plan 2013-2020*. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/648551468171846983/Global-Road-Safety-Facility-GRSF-strategic-plan-2013-2020>.

## EL PAPEL DEL FM EN LA FASE DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DEL PROYECTO

**García Montesinos, Francisco Javier**

Escuela Superior de Arquitectura de Madrid y MBA Asset Manager nivel estratégico por la UCAM y PMM Institute. España, jgarcia@creasoluciones.es

---

### **Abstract**

*In my personal experience, I have noticed that, given the lack of knowledge about the true dimension of Facility Management, many professionals in the AEC sector think that the Facility Manager is only the one who receives the building.*

*The ISO 41001 standard for Facility Management services talks about the purpose of FM being the "quality of life of people and the productivity of the organization's main activity".*

*I note that there is a vision of the BIM for FM that is limited solely to having an inventory for the development of the maintenance plan.*

*My communication will focus on the role of the FM in the strategic planning phase prior to the design and construction phase, seeing that it will be up to the FM to define the documents mentioned in the ISO 19650 standard on information management in BIM projects.*

**Keywords:** facility, management, value, asset, excellence, profitability, uses, benefits.

---

### **Resumen**

*En mi experiencia personal he podido constatar que, ante la falta de conocimiento de cuál es la verdadera dimensión del Facility Management, muchos profesionales del sector AEC piensan que el Facility Manager es, únicamente, el que recibe el edificio.*

*La norma ISO 41001 de gestión de servicios de Facility Management habla que el propósito del FM es la "calidad de vida de las personas y la productividad de la actividad principal de la organización".*

*Observo que hay una visión del BIM para FM que se limita exclusivamente a disponer de un inventario para la elaboración del plan de mantenimiento.*

*Mi comunicación se centrará en el papel del FM en la fase de planificación estratégica anterior a la fase de diseño y construcción, viendo que será él quién deba definir los documentos que se mencionan en la norma ISO 19650 sobre la gestión de la información en proyectos BIM.*

**Palabras clave:** facility, management, valor, activos, excelencia, rentabilidad, usos, beneficios.

---



## Introducción

En los cursos de formación que imparto he constatado que muchos profesionales del sector del AEC piensan que el Facility Manager es el proveedor de mantenimiento que recibe el activo a construir.

En esta comunicación quiero transmitir una idea diferente. El Facility Manager es la persona que trabaja para el propietario, el promotor o el inversor cuyo objetivo es asegurar que el nuevo activo cumple con los requisitos definidos por la Organización para cada una de las fases del ciclo de vida: diseño, construcción, operación y mantenimiento y en la fase final de demolición o de rehabilitación del activo para adecuarse a las nuevas necesidades de la Organización o del mercado.

Es importante reflejar que el Facility Manager puede también ejercer de Project Manager interno en las fases de planificación estratégica del activo, diseño, construcción y recepción del edificio y, por supuesto, será quién gestione el activo cuando esté preparado para su funcionamiento.

El Facility Manager, en proyectos estratégicos, se apoyará en empresas de gestión de proyectos (Project Management) para que le ayude a cumplir los objetivos que la alta dirección de la organización haya definido para este nuevo activo.

El Facility Manager debe decidir qué servicios presta con recursos propios y en cuáles debe apoyarse en proveedores de servicios de FM (Facility Services). Esta decisión dependerá de cada organización y debe ser justificada, para cada servicio, con un estudio de análisis coste-beneficio.

### 1. El Facility Management desde la norma ISO 41001

La norma ISO 41013 donde se centra en el alcance, los conceptos clave y beneficios del Facility Management indica que el “propósito del FM es mejorar la calidad de vida de las personas y la productividad de la actividad principal de las organizaciones”.

Para cumplir con este propósito es importante que el Facility Manager participe, e incluso lidere, la definición del programa funcional y la toma de requisitos de necesidades del nuevo activo. El Facility Manager debe aspirar a disponer de “activos de alto rendimiento”, un concepto norteamericano de gran interés que explico en la Guía BIM para Propietarios y Gestores de Activos de la Building SMART España:

“Es aquel en el que se han definido los objetivos del diseño desde el principio y se han tenido en cuenta los requerimientos a nivel de accesibilidad, estéticos, rentables, funcionales y operacionales, productivos, seguros, sostenibles y de respecto con su carácter histórico”.

Los activos de alto rendimiento, indica también la guía, “debe diseñarse desde una visión holística, en el que estos objetivos no se definan de manera aislada, sino que se establezcan también todas sus relaciones y sus dependencias. Es crítico que exista un equilibrio entre todos estos requisitos de diseño”.

Dado que algunas empresas delegan en un departamento de Facility Management la gestión de los servicios y si este departamento sigue el enfoque de la norma ISO 41001 de servicios de FM de ayudar a mejorar la calidad de vida de las personas y la productividad de la actividad principal, se podría afirmar que este departamento debería ser el mejor posicionado para tener esa visión holística de la que se habla en el concepto de activos de alto rendimiento.

Según lo traducido en la propia guía al hablar de activos de alto rendimiento, “la fase de diseño de un activo, edificio o infraestructura debe realizarse con un verdadero análisis sistemático que estudie estos requisitos de diseño y todas estas relaciones y dependencias:

- **Accesibilidad:** Se refiere a los elementos de construcción, alturas y espacios implementados para abordar las necesidades específicas de las personas con discapacidad.
- **Estética:** Se refiere a la apariencia física y la imagen de los elementos y espacios de construcción, así como al proceso de diseño integrado y al BIM.

- Económico: Se refiere a la selección de elementos de construcción en función de los costes del ciclo de vida (ingeniería de valor), así como la estimación básica de costes y el control del presupuesto.
- Funcional/Operacional: Se refiere a la programación funcional: necesidades y requisitos espaciales, rendimiento del sistema, así como durabilidad y mantenimiento eficiente de los elementos de construcción y los equipos.
- Preservación histórica: Se refiere a acciones específicas dentro de un distrito histórico o que afectan a un edificio histórico donde los elementos y estrategias de construcción se pueden clasificar en uno de los cuatro enfoques: preservación, rehabilitación, restauración o reconstrucción.
- Productivo: Se refiere al bienestar de los ocupantes (confort físico y psicológico), incluidos elementos de construcción como la distribución del aire, la iluminación, los espacios de trabajo, la acústica, los sistemas y la tecnología.
- Seguro: Se refiere a la protección física de los ocupantes y de los activos para protegerlos de los peligros naturales y de los provocados por el hombre.
- Sostenible: Se refiere al desempeño ambiental de elementos y estrategias de construcción”.

La misma ISO 41013 ya mencionada, indica que el “FM se alinea con los objetivos y las estrategias a largo plazo de toda la organización, pero también traduce esta alineación al servicio de cada día a las personas, su bienestar, su productividad y su calidad de vida”.

Para el Facility Manager el encargo de la organización de tener nuevo activo es considerado como un servicio de planificación, diseño, construcción y operación de ese activo. A su vez todas las prestaciones del edificio a nivel arquitectónico, estructural y de instalaciones son servicios que presta a las personas que usarán o visitarán el edificio.

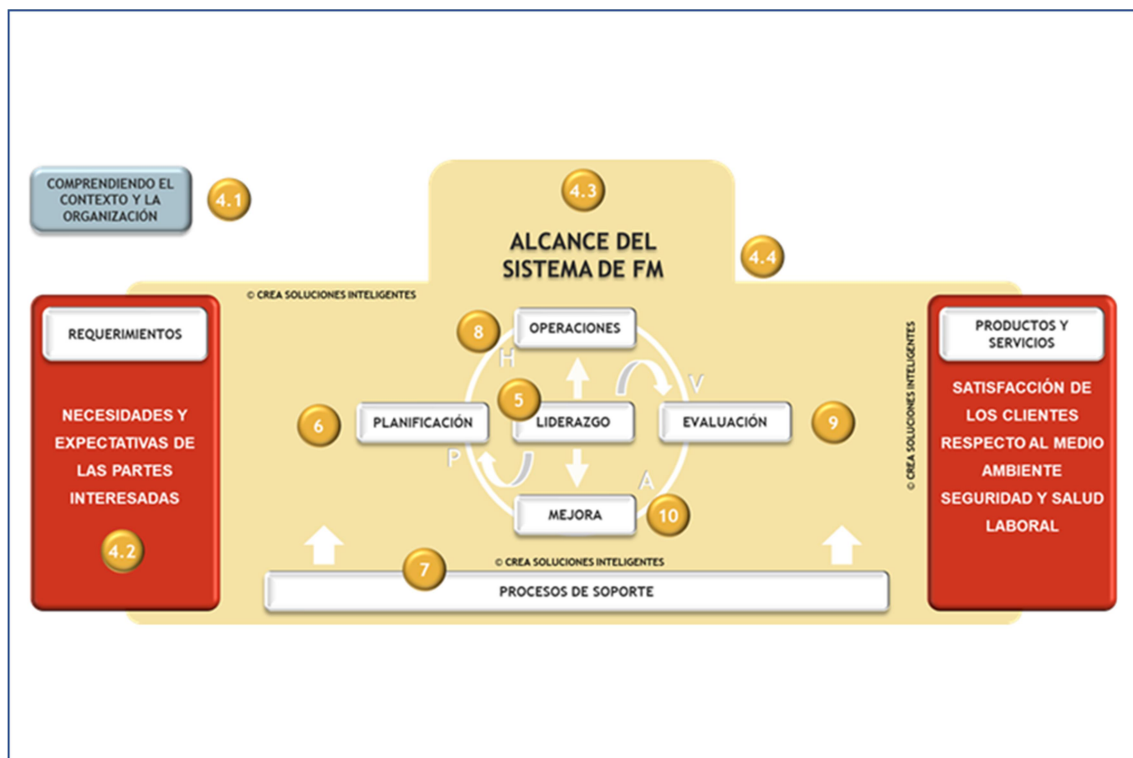


Fig. 1 Elementos principales de un Sistema de Gestión de Servicios de FM según la norma. Fuente: Elaboración propia (2020).

Esta norma nos ayuda a cómo debemos definir e implantar este Sistema de Gestión de Servicios con visión de Facility Management.

En base a conocer bien la organización para la que trabajamos y su contexto donde se ésta se mueve, de conocer bien sus objetivos estratégicos a medio y largo plazo, el equipo de FM debe realizar un análisis

para detectar todas las partes interesadas que pudieran verse aceptadas o pudieran influir de alguna manera en el diseño de sus servicios y estudiar de ellas sus necesidades o expectativas.

Una vez conocido todo lo anterior ya podemos definir nuestro catálogo de servicios de FM a nuestra organización, definiendo la política, nuestro Plan Estratégico de Gestión de Servicios (aunque la norma sólo hable de objetivos) y nuestro Manual de Procesos de Gestión de Servicios.

Después diseñamos las acciones necesarias para conseguir esos objetivos, asignando responsables y fechas de finalización de esas acciones. Realizamos seguimientos sobre su evolución, medimos cómo vamos y si detectamos desviaciones respecto lo previsto, no tenemos que dudar en definir nuevas acciones que nos permitan alcanzar nuestros objetivos, incluso, si fuera necesario, cambiar el Plan Estratégico.

Por tanto, el Facility Manager se ha convertido en uno de los gestores de servicios para las personas de nuestra organización al igual que otros departamentos como RR.HH. o el de Tecnologías de la Información. El Facility Manager debe estar centrado en las personas para diseñar sus servicios y para ello tiene delimitados los recursos sobre los que podemos influir: los edificios, los espacios, las instalaciones, el mobiliario, las áreas exteriores a los edificios, los accesos, las plazas de aparcamiento... Sobre estos elementos el FM tiene que diseñar sus servicios de gestión que garanticen que ayuden a las personas y a su organización: servicios a nivel de real estate o property management, planificación estratégica del espacio, gestión del entorno de trabajo (puestos de trabajo asignados o no asignados, gestión de salas de reuniones...), gestión de inversiones y obras, gestión de servicios (mantenimiento, limpieza, seguridad, mensajería, restauración, catering, vending, recepción, jardinería exterior e interior...), gestión a nivel de sostenibilidad, medioambiente y prevención de riesgos laborales.



Fig. 2 Visión del Facility Management para aportar valor a una organización. Fuente: Elaboración propia (2020).

## 2. El papel del Facility Manager en la Gestión de Activos de una Organización

Antes de entrar en lo que plantea el título de este apartado creo conveniente definir qué es un activo y qué debemos entender por gestión de activos según la norma ISO 55001 de Asset Management.

“Un ACTIVO es algo que posee VALOR potencial o real para una organización”. La norma también nos dice que “El VALOR puede variar entre diferentes organizaciones y sus partes interesadas”. Por tanto, será cada organización la que decida qué activos le aportan valor.

Nos recuerda también la norma que “El VALOR puede ser tangible o intangible, financiero o no financiero”. Es muy importante no confundir el valor que un bien puede aportar, con el dinero necesario para su adquisición.

Para entender que es la Gestión de Activos, la norma nos indica que son todas aquellas “actividades y las prácticas sistemáticas y coordinadas, a través de las cuales, una organización gestiona de manera óptima y sostenible sus activos, sus sistemas de activos, su rendimiento, los riesgos y todos los costes sobre su ciclo de vida con el propósito de lograr el cumplimiento de su plan estratégico organizacional”.

Ahora sí ya podemos reflexionar sobre el papel del Facility Manager en la Gestión de Activos de una Organización. Dentro de todos los “Activos que aportan Valor” en una organización hay algunos que tiene que ver con los activos físicos que son responsabilidad del FM. Sobre este subconjunto de activos, los físicos, el FM debería ser quién se haga responsable de velar por el cumplimiento de los objetivos que la alta dirección ha fijado sobre estos activos.

El problema para los gestores es que cuando hablamos de activos pensamos en equipos aplicando una visión muy operativa, muy técnica, muy propia de arquitectos o ingenieros. Así es muy difícil determinar el VALOR que aporta un equipo de caldera o una enfriadora a una Organización.

Pienso que muchos activos (sedes, oficinas, locales, espacios...) son, realmente, “ACTIVOS” que **pueden aportar VALOR** a quién invierte y a quién lo utilizará, siempre y cuando se hayan realizado desde una visión de poner a las **personas en el centro** de todo y se haya cuidado también la **rentabilidad de la propia inversión**.

Por tanto, creo firmemente en que los facility managers deben ser quienes lideren las actividades de cuidar de los activos que aportan VALOR a su organización y de cuidar de las personas que viven, trabajan o visitan sus edificios y para lo cual debe de definir los servicios que requieren esos activos y las personas.

Para ello deben de adquirir nuevos conocimientos, ya no vale sólo los conocimientos técnicos propios de arquitectos o ingenieros sobre los activos, necesitamos conocer herramientas de gestión empresarial, financieras, de trabajo en equipo, metodologías propias de gestión de activos y servicios, de contratación, de gestión de proyectos BIM, de gestión de mantenimiento, de planificación de espacios, de diseño de nuevos entornos de trabajo, de certificación WELLNESS, de certificaciones medioambientales o de sostenibilidad, de cómo medir la satisfacción de las personas y de cómo medir el estado de los activos.

## 3. El papel del Facility Manager en la fase de planificación estratégica de una nueva inversión

Según esta doble visión del Facility Manager como el “cuidador” de activos y personas, cuando una organización requiere de un nuevo activo, el FM es quién debe de recopilar toda la información necesaria sobre este activo para saber responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué esperan la alta dirección y los accionistas de ese nuevo activo? ¿Cuándo debe entrar a funcionar para la organización? ¿Cuántos años debe mantenerse operativo el activo?
- ¿Cuál es el valor de la inversión disponible para este activo? ¿cuál es el coste de operación capaz de soportar la organización para este nuevo activo?
- ¿Cuál es la rentabilidad que la organización espera de ese activo?
- ¿A qué uso se destinará el activo? ¿Qué necesidades y tipos de espacios requiere el nuevo activo?

- ¿Qué usos y restricciones normativas debo tener en cuenta para el diseño del nuevo activo?
- ¿Qué experiencias quieren vivir las personas que utilicen ese activo? ¿Cómo el diseño del activo puede ayudar a que las personas que lo ocupen vivan experiencias positivas? ¿Cuántas personas trabajarán o vivirán? ¿cuántas personas visitarán el activo?
- ¿Qué podemos hacer para tener una buena imagen entre la vecindad próxima a ese activo?
- ¿Qué podemos hacer para que ese activo sea respetuoso con el medioambiente?
- ¿Qué podemos hacer para minimizar el riesgo de accidente durante toda la vida útil del activo?
- ¿Qué máquinas o equipos serán necesarias instalar en el activo? ¿Qué condiciones necesitan esos equipos? ¿Cómo se instalará en el activo? ¿Cómo se desmontará y se cambiará por otro equipo? ¿Cuánto tiempo tiene que funcionar el equipo?

La respuesta a todas estas preguntas son las que deben ir dando forma al documento de **Requisitos de Información de la Organización (OIR)**. En este documento serán requisitos generales, no muy técnicos, con un lenguaje más de negocio que arquitectónico o de metodología BIM.

Esos requisitos empresariales hay que “traducirlos” o “transformarlos” en requisitos de información que sirvan para una gestión profesional de la fase de diseño y construcción del activo (**Documento de Requisitos de Información del Proyecto, PIR**) y en aquellos que sirvan para una gestión eficiente del activo y de todos sus elementos y equipos durante la fase de operación y mantenimiento hasta el fin de la vida del activo (**Documento de Requisitos de Información del Activo, AIR**). Esta transformación de los requisitos empresariales a requisitos de proyecto o para la gestión del activo debería ser realizado por un Facility Manager BIM o por consultores especializados que apoyen al Facility Manager de la Organización.

Lo importante es no perderse entre tantos requisitos y documentos y no olvidarnos del porqué lo hacemos: “Alinearnos con la Organización y reducir los riesgos de no cumplir con los objetivos definidos para ese nuevo activo”.

Para ello creo básico, y responsabilidad del FM de la organización, realizar un buen “**Programa funcional de necesidades**” para el nuevo activo definiendo el número y tipo de espacios que se requieren y en el nuevo activo y todas sus características técnicas asociadas.

Es muy importante para el éxito del proyecto disponer de un buen “Programa funcional de necesidades”. Al finalizar el proyecto ese documento se convertirá en el “Manual de Normalización de Espacios” del edificio, o incluso de la Organización.

El AIR deberá definir claramente el sistema de clasificación que se debe emplear para la identificación de los elementos a mantener: ONMICLASS, NRM, UNICLASS. En proyectos en España estos sistemas de clasificación podrían ser: GUBIMCLASS o los que utilizan las propias bases de precios del mercado.

El AIR es un documento muy importante para el Facility Manager pues es donde refleja la información que necesitará para la gestión del activo y de cada uno de los elementos.

En el AIR se debe hablar del estándar COBie (Construction Operation Building Information Exchange) cómo estándar para la comunicación entre el Facility Management y el resto de los agentes participantes en el proyecto.

El facility manager debe de definir la “Matriz de Información del Activo” donde se define la información de ese estándar que es solicitada, a quién se solicita y en qué momento.

Es importante destacar que el estándar COBie debe emplearse también para el seguimiento del proyecto y así ir validando el cumplimiento de los requisitos indicados. Sería una práctica muy deseable que el facility manager recibiera un archivo Excel COBie de seguimiento unido a cada certificación mensual.

Principalmente yo marcaría, al menos, tres hitos muy importantes para recibir esos archivos COBie lo más completo posibles:

- A falta de seis meses para la finalización de la obra: Con esa información podríamos ir preparando el pliego para el concurso de mantenimiento, ir seleccionando el software de gestión a utilizar

(IWMS -sistema integrado de gestión del entorno de trabajo-, EAM -gestión de activos empresariales-, CMMS -sistema de gestión de mantenimiento por ordenador-) y contratando a la empresa implantadora.

- A falta de tres meses para la finalización de la obra: Con esa información se realiza ya la contratación definitiva de la empresa de mantenimiento y se realiza una pre-carga al sistema de gestión elegido para probar que todo funciona adecuadamente, ir planificación la parametrización final del sistema y planificar y realizar la formación a los usuarios. La empresa de mantenimiento es muy importante que esté ya presente en las pruebas de funcionamiento de las distintas instalaciones y en la recepción de los trabajos finales.
- En el acto de firma de finalización de la obra: Junto al libro del edificio y a toda la documentación as-built solicitada, se debe entregar el último archivo COBie con el que realizar la carga final al sistema de gestión para tenerlo operativo y funcionando desde el primer día de funcionamiento del sistema.

Presento un esquema, a nivel de elementos, de cuándo se debe emplear esta información en cada fase de proyecto:

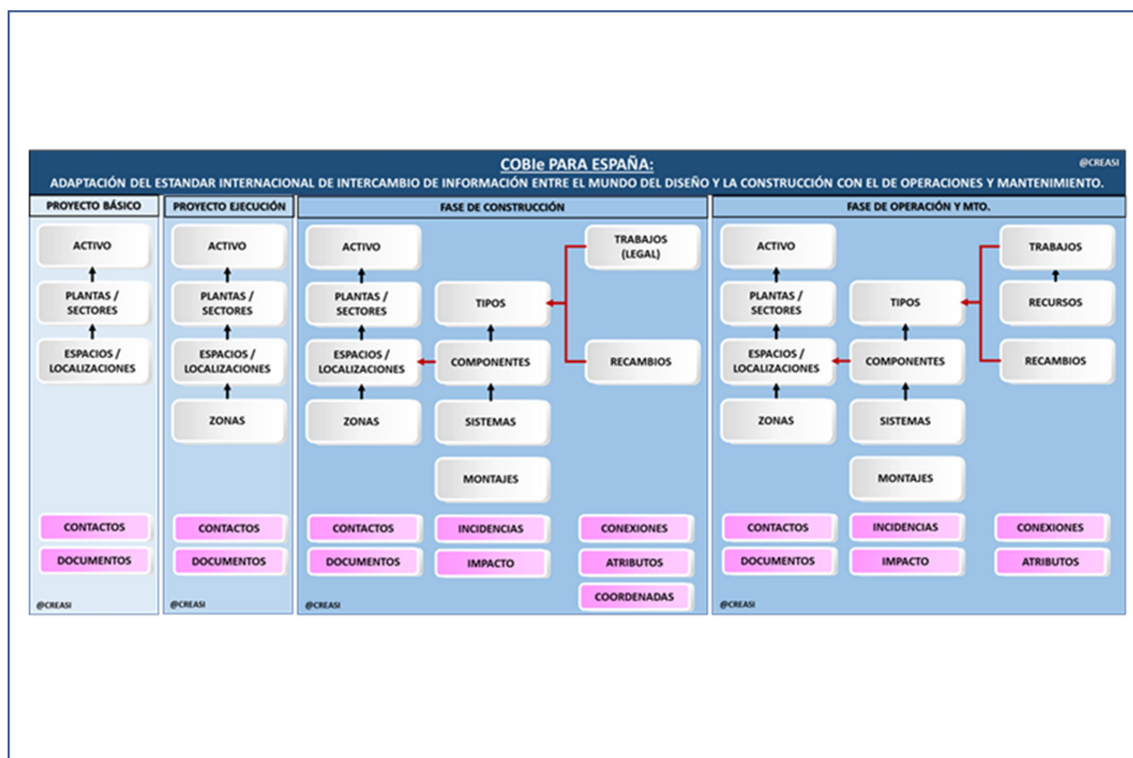


Fig. 3 Elementos del estándar COBie para cada fase de proyecto. Fuente: Elaboración propia (2020).

De toda esta información recopilada en los documentos OIR, PIR y AIR, el FM debe de decidir que información es importante compartir con los agentes que participarán en el diseño y construcción del activo y preparar el documento de **“Requisitos de Intercambio de Información”** (EIR).

El EIR debe ser un documento adjunto a los pliegos y a los contratos que se firmen.

El EIR podría tener una estructura de este tipo:

- Objeto y ámbito de aplicación del documento: que defina el propósito del documento y recoja los términos que se usarán en él.
- BIM desde la visión de asset management: donde se defina la estrategia de la organización respecto a sus activos.
- Detalles del proyecto a licitar: resumen de la información que se facilita y del personal que por parte del cliente participarán en el proyecto.

- Requisitos contractuales o comerciales: objetivos concretos a cumplir en el proyecto, hitos del proyecto...
- Requisitos de gestión: normas y directrices a seguir, protocolo legal BIM, usos BIM solicitados identificando a quién se le solicita, procesos BIM solicitados, procedimientos detallados a nivel de intercambio de información (trabajo en curso, compartido, publicado y archivado; con sus estados y revisiones), convenciones para establecer las nomenclaturas, controles de calidad a exigir a nivel de los modelos BIM, documentos exigidos, sistema de clasificación...
- Requisitos técnicos: formatos, unidades, origen de referencia para unir los modelos BIM, definiciones para el nivel gráfico (LOD), los datos asociados a los elementos (LOI)...

El FM deberá poner los medios y recursos necesarios para garantizar que los proveedores entregan la información definida en ese EIR de la forma que se solicita.

Es crítico que los modelos BIM se actualicen durante el proceso constructivo tanto a nivel gráfico como de los datos solicitados. Necesitamos que los modelos BIM que se entreguen formen el “verdadero gemelo digital” y no modelos BIM desactualizados y sin los datos necesarios.

Por este motivo, es muy importante que el FM en el proceso de adjudicación, valore adecuadamente el grado de madurez BIM de los licitadores. Para ello debe de estudiar muy bien los documentos de **“Plan de Ejecución de proyectos BIM”** (PEB, BEP en inglés).

Sería muy interesante que se adjunte a los documentos para licitar una plantilla de PEB que los ofertantes deberán completar.

Un BEP de calidad y de valor debe recoger los procesos y procedimientos que cada licitador va a implantar si son adjudicatarios para garantizar que se cumplen todos y cada uno de los objetivos estratégicos que el cliente ha indicado y todos y cada uno de los requisitos indicados en el Programa Funcional y en el EIR.

En mi opinión el BEP no debería tener ningún mención a la estructura y forma de los modelos comerciales BIM a entregar. Para ello el FM debería entregar el **“Protocolo de Modelado BIM”** (PMB). Este documento debe ser una anexo al EIR.

El Protocolo es un documento crítico para el FM, para garantizar que tendrá la información de todos los activos estructurada y modelada de la misma información. En ese protocolo se debe definir, al menos, los nombres de los archivos, de las vistas, de los planos, las tablas de planificación, los estilos de acotación, de textos, de líneas, de tramas, el estilo del cajetín y de las rotulaciones, los colores a usar para materiales y para distinguir las diferentes disciplinas.

Volveré a los procesos que hemos mencionado. En muchos BEP que veo no se incluyen flujos de trabajo para indicar los procesos y procedimientos a realizar durante el proyecto y la construcción.

El facility management y la gestión de proyectos deben de estar orientado a procesos. Para el FM los flujos de trabajo expuestos por los licitadores le ayudan a conocer si el alcance ofertado es acorde con lo solicitado en los pliegos, en el EIR y en sus anexos. Si han definido adecuadamente las actividades a realizar, habrán podido definir bien los recursos necesarios que pondrán en el proyecto.

¿Cuántos flujos de trabajo deben aparecer en un PEB?

Debe existir un primer flujo de trabajo asociado al alcance del proyecto y a las actividades que el licitador realizará dentro del proyecto.

Debe existir un segundo nivel de flujos de trabajo asociados a los procesos que garantizan el cumplimiento de los objetivos estratégicos del proyecto por parte del cliente. Es decir, un flujo de trabajo asociado a cada USO BIM ofertado por el licitador o en el que participará.

Es importante recordar que tenemos que hablar de procesos cuando hablamos de temas estratégicos. Los procesos asociados a los USOS BIM son estratégicos pues nos ayudan a estar enfocados a cumplir con los objetivos del cliente.

El tercer nivel de flujos de trabajo que deben o pueden aparecer en el PEB son los asociados a los procedimientos de trabajo que seguiremos para el intercambio de información y para otras actividades de coordinación de los trabajos más asociados a la cadena de producción del trabajo contratado. En este punto es donde deben de explicarse los estados de intercambio de información a los que se refiere la norma ISO 19650: trabajo en curso (WIP), compartido, publicado y archivado:

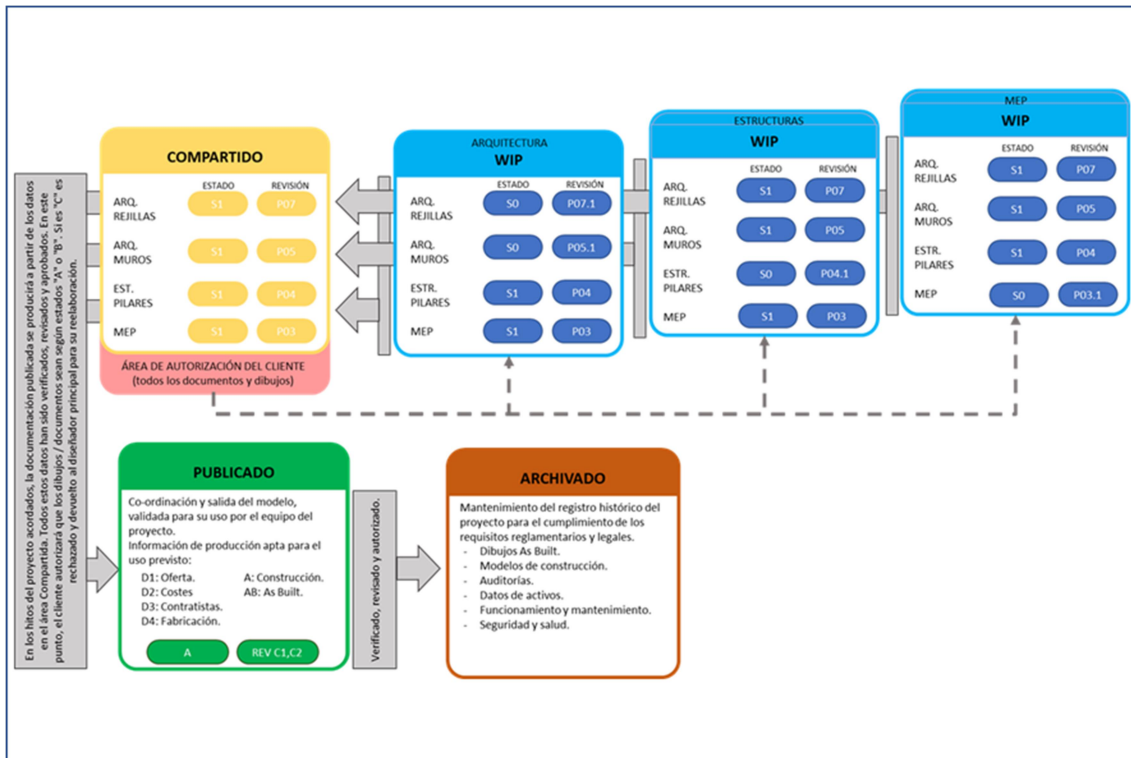


Fig. 4. Estados de los archivos. Fuente: Elaboración propia (2020) basada en estándares PAS 1192 e ISO 19650.

#### 4. La importancia de los USOS BIM para el Facility Management

Los Facility Managers deberían definir bien los “USOS BIM” que quieren incluir en el alcance del proyecto. Además de los usos tradicionales a nivel de interferencias, 4D, 5D... que son muy importantes para el FM, vamos a analizar si hay otros usos BIM que deberían incorporarse al proyecto para ayudar al cumplimiento de los objetivos del cliente.

La tecnología BIM aporta un mundo de nuevas posibilidades para el FM y no sólo por la posibilidad que le da de disponer de más información en los modelos. Me refiero a las posibilidades de simular el comportamiento del edificio antes de construirlo, poder analizar si los requisitos definidos eran los correctos.

Los FM deberían evaluar que en el alcance de su proyecto solicite simulaciones energéticas que le permiten conocer los costes de consumos, simulaciones de iluminación que aseguren los niveles en los puestos de trabajo, simulaciones para saber cómo se van a limpiar los diferentes elementos o cómo se van a sustituir cuando debamos cambiarlos, simulaciones de por donde se entrarán o sacarán los equipos de gran tamaño con el edificio ya terminado...

El FM deberá remarcar la importancia de fijar que los criterios de selección de los equipos se realicen con visión de ciclo de vida y no de coste de adquisición más económico. El FM deberá definir en el EIR sobre qué tipos de equipos se deberá realizar un análisis de coste de ciclo de vida.

Es cierto que estas simulaciones y análisis suponen un coste superior a los alcances normales definidos en los proyectos. Ese incremento en proyecto tiene un retorno muy rápido que se verá reflejado en la disminución de los costes de explotación del edificio.



Otros USOS BIM a solicitar por el Facility Manager pueden ser:

- Para la clasificación de los espacios según estándares internacionales que el área de FM emplee: BOMA (Asociación de propietarios de edificios, EEUU), RICS (Asociación de Valoración de Activos), AEO (Asociación Española de Oficinas).
- Para facilitar documentación para la contratación de los servicios de limpieza a nivel de conocer los acabados de suelos, paredes y techos y cuantificar y localizar todos los vidrios (interiores o exteriores disponibles en el edificio).
- Para Prevención de Riesgos Laborales.

## 5. Conclusión

El Facility Manager no debe tener un papel pasivo en los proyectos BIM, no sólo recibe el activo y se pone a gestionarlo. El verdadero Facility Manager debe liderar los proyectos BIM dentro de su organización para asegurarse de cumplir con los objetivos estratégicos que su dirección a definido para esos activos como sus propios objetivos de su departamento.

BIM ayuda a minimizar los riesgos de no cumplimiento de esos objetivos, riesgos a nivel de desviación del coste de construcción, de desviación de los plazos que puede incidir en tener costes muy importante no esperados, de pérdida de calidad, de incremento de los costes de operación, de aumento de riesgo de accidentes, etc.

El Facility Manager debe ser el verdadero prescriptor de proyectos BIM y el principal beneficiario de aplicar esta nueva forma de diseñar y construir que se traducirá en una nueva de gestionar los activos.

## Referencias

BUILDINGSMART SPAIN (2020). "Guía BIM para propietarios y gestores de activos". Madrid.

UNE (2018). PNE-EN ISO 41001. "Gestión de inmuebles y servicios de soporte. Sistemas de gestión. Requisitos con orientación para su uso".

UNE (2018). PNE-EN ISO 19650-1. "Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 1: Conceptos y principios".

UNE (2019). UNE-EN ISO 19650-2:2019. "Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 2: Fase de desarrollo de los activos".

UNE (2019). PNE-prEN ISO 19650-3. "Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling). Parte 3: Fase operativa de los activos".

AUTODESK. Autor: Kean Walmsley. Kean works at Autodesk Research, based in Neuchâtel, Switzerland. <<http://www.keanw.com/>>. March 06, 2020.

## EXPERIENCIAS REALES CON BIM

## OPTIMIZACIÓN DE MODELOS BIM MEDIANTE EL PROCESO DEL CONTROL DE CALIDAD

Moreno-Sánchez, Sara<sup>a</sup>; Marcos-Fernández, Sarai<sup>b</sup>;

<sup>a</sup>Directora BIM en luis vidal + arquitectos. Universidad Europea de Madrid. sm@luisvidal.com, <sup>b</sup>BIM Manager en luis vidal + arquitectos. Universidad Europea de Madrid. smf@luisvidal.com

---

### Abstract

*Continuous improvement is one of the main objectives of quality control. This consists of properly planning what has to be considered for review. In turn, to implement the strategy step by step, verify that the expected results are reached and function according to the data obtained to correct or continue.*

*Improving productivity is a key objective during the project development. To achieve this goal, it is necessary to guarantee the efficiency and performance of the BIM model, as well as compliance with standards and requirements. In this way, the quality control of a BIM model consists of performing periodic analysis that serve to check the correct execution of the processes and ensure the operability of the models.*

*The keys to accomplish the procedure are knowing the all constraints, the production of reports and the interoperability of different software. The reports obtained must be visual and intuitive to be received and understood by the team involved, who will correct the errors in a shorter time.*

**Keywords:** *improvement, reviews, quality, efficiency, productivity, consistency, reports, interoperability.*

---

### Resumen

*Uno de los objetivos principales del control de calidad, es la mejora continua. Esto consiste en planear adecuadamente lo que se va a considerar para revisar. A su vez, ejecutar paso a paso la estrategia, verificar que se obtienen los resultados esperados y actuar de acuerdo con los datos obtenidos para corregir o continuar.*

*Mejorar la productividad es un objetivo clave en el desarrollo de un proyecto, para ello hay que garantizar la eficiencia y rendimiento del modelo, así como el cumplimiento de los estándares y requerimientos. De esta forma, el control de calidad de un modelo BIM consiste en realizar análisis periódicos que sirven para comprobar la correcta ejecución de los procesos y asegurar la operatividad de los modelos.*

*Las claves para llevar a cabo el proceso son conocer los condicionantes, la realización de informes y la interoperabilidad de diferentes softwares. Los informes obtenidos deben ser visuales e intuitivos para ser recibidos y comprendidos por el equipo interviniente, quienes subsanarán los errores en un menor tiempo.*

**Palabras clave:** *mejora, revisión, calidad, eficiencia, productividad, coherencia, informes, interoperabilidad.*

---

## Introducción

En un mundo cada vez más globalizado, la calidad es un factor indispensable, para así ocupar un lugar diferenciado y estratégico en el mercado. Para alcanzarla, las empresas precisan adecuar sus comportamientos a una serie de requisitos y gestionar de forma eficaz sus distintas actividades.

Uno de los pioneros en crear los principios básicos acerca de las teorías y prácticas de gestión de calidad, fue Philip B. Crosby, un empresario estadounidense que también creó el concepto de “Cero Defectos” a principios de los años sesenta. Crosby, opinaba que la clave para mejorar la calidad consistía en cambiar la mentalidad de la alta dirección y concluyó sus principios diciendo: “La calidad de un proyecto es la conformidad con los requisitos definidos en este”. Por consiguiente, debe tenerse en consideración, la aplicación de la calidad en diferentes escalas. Pudiendo ser aplicada a todas las fases del proyecto, a la totalidad del mismo y a la propia gestión del proyecto, obteniendo como objetivo final la mejora continua.

En lo que al sistema BIM se refiere, el mencionado fenómeno de la búsqueda de la calidad total y derivado de la globalización, plantea una oportunidad en el ámbito de la industria de la construcción para mejorar sus condiciones, crear nuevas oportunidades e incrementar la competencia. Estos factores, nos empujan a ver la calidad como una característica primordial en cualquier actividad que realicemos y ofrecer a los clientes la satisfacción en el cumplimiento de sus requerimientos. Para hacer tangible el valor de la calidad en el BIM, se ha desarrollado una metodología que verifica a través de indicadores visuales el estado de los modelos que conforman un proyecto, independientemente de su escala, tipología o disciplina.

Este método engloba diferentes aplicaciones: partimos del software base, Autodesk Revit®, que es el principal contenedor de información. Posteriormente, utilizamos Ideate®, clave para la extracción de información que combinado con Microsoft Excel® nos permiten la creación de bases con datos, provenientes de diferentes fuentes como Autodesk Revit® o BIM 360®. Finalmente, Power BI®, empleado para la visualización dinámica y análisis de la información obtenida. Todos ellos consiguiendo la interoperabilidad gracias a la estrategia de gestión de datos basada en la plataforma BIM 360®, que permite el trabajo almacenamiento de datos en un entorno común de datos (CDE).

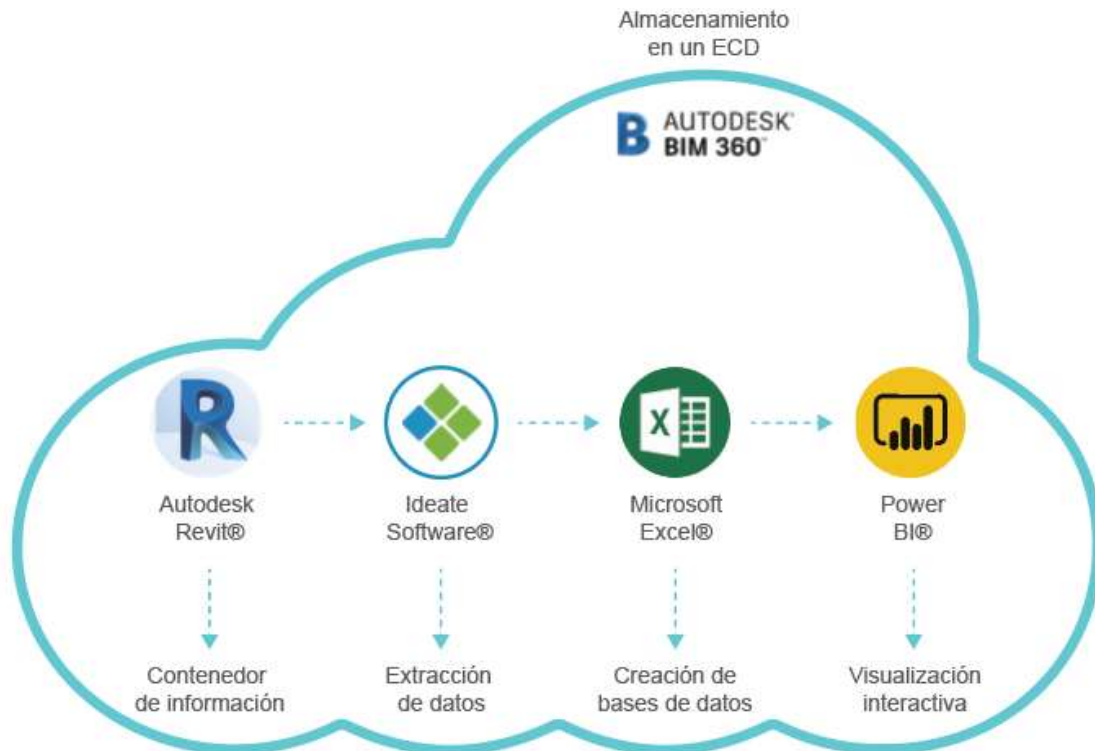


Fig. 1 Flujo de trabajo. Fuente: luis vidal + arquitectos (2019)

Una vez conseguido el flujo de trabajo entre estas herramientas, obtenemos el informe de estado, donde la principal ventaja la visualización sintética y rápida de la información, y sin necesidad de tener conocimientos profundos en materia BIM. Así, un único gráfico es capaz de comunicar inmediatamente si los requerimientos están siendo respetados.

En resumen, estos análisis que requieren un tiempo mínimo de elaboración, nos proporcionan un seguimiento de la correcta ejecución de los procesos con la máxima operatividad y el mantenimiento óptimo de los modelos. Asimismo, nos ofrecen una comparación entre distintas versiones del mismo archivo determinando su evolución y detectando sus problemáticas.

## 1. Estado del arte

En la actualidad, la Gestión de Calidad, se define como el conjunto de acciones, medidas y soluciones orientadas a la mejora continua de los procesos internos de una organización. Tomando como objetivo principal el aumento del nivel de satisfacción, de un grupo de clientes o consumidores. Este concepto ha sufrido importantes cambios a lo largo de las décadas. Especialmente, desde que dejó de asumirse la calidad como un proceso estratégico y pasó a ser considerada una necesidad empresarial a partir de los años 90.

Por otro lado, cada vez más clientes y administraciones públicas en todo el mundo demandan que los proyectos se desarrollen con tecnología BIM. Esto ha generado la necesidad de reestructurar los equipos y encontrar perfiles adecuados para estos nuevos roles, conformando equipos de trabajo donde a través de esta información, establecen una metodología para cada etapa del proceso constructivo en lo referente al modelado 3D, producción 2D, coordinación, mediciones sostenibilidad, planificación y Facility Management.

Para comprender la evolución de los estándares de calidad y motivados por los dos aspectos anteriores, podemos estudiar los cambios que han sufrido los requerimientos BIM y a su vez, han supuesto un gran cambio en la calidad y gestión del proyecto. En los primeros comienzos de la aplicación de este sistema, el único condicionante era entregar una maqueta virtual desarrollada en BIM, independientemente de si las bondades que definían el nuevo sistema pudieran ser consolidadas. Con el paso de los años, se introdujeron algunos requerimientos técnicos de formatos, recomendaciones de software o nomenclatura de elementos, entonces el único objetivo cumplido era la mejor comprensión en la lectura de información. Posteriormente, comienzan a exigirse usos como la medición o coordinación, pero sin especificar un alcance concreto y que en la mayoría de los casos, llegaba a anular el fin.

Dada esta situación, el estudio de referencias y el seguimiento de la evolución del BIM en distintos países ha dado lugar, a que los requerimientos hagan un recorrido completo por todos los objetivos y lo más importante, acoten el alcance del producto que se desea obtener y donde el denominar común de estas normas es el aspecto documental, de tal forma que se crean procedimientos para plasmar los requisitos y desarrollar los procesos asociados a éstos, consiguiendo que los proyectos y las organizaciones que los adoptan mejoren sus metodologías y obtengan un producto de mayor calidad. No sólo definir la metodología es importante, si no tener los medios necesarios para cumplir con las necesidades de la información a día de hoy. Para ello es primordial establecer un CDE (o Entorno Común de Datos) que hace visible y utilizable toda la información necesaria a tiempo real trabajando de manera colaborativa y simplificando el intercambio de datos.

## 2. Evolución

Si la evolución de los requerimientos la extrapolamos a la del control de calidad, la conclusión es que los avances en requerimientos por parte del cliente, han sufrido los mismos cambios, por tanto, no es posible definir una metodología óptima sin entender ambas.

Inicialmente, no realizábamos ningún control ni teníamos conciencia de que los procesos de calidad eran necesarios para controlar la correcta ejecución de los modelos BIM, sólo se seguían las recomendaciones básicas del software para el funcionamiento de archivos. Pero una vez analizados algunos proyectos finalizados, la deducción general fue que esto no era suficiente, la eficiencia no era total y el lenguaje no era

común. Había que ahondar en la parte más tecnológica y ligada con el software a la vez que la normalización tenía que ayudar a una mejor comprensión de la información. Así, comenzaron asentarse las primeras bases en forma de guía de usuario. Sin embargo, el control de calidad continuaba sin aplicarse en las fases adecuadas del desarrollo del proyecto y los resultados obtenidos eran pocos.

Con el tiempo y la creciente exigencia de requisitos, nos dimos cuenta de que era necesario desarrollar algún tipo de análisis eficiente para el control de los modelos durante todas las etapas. Así, el paso natural fue obtener resultados a través de la creación de informes muy detallados y sobre un largo listado de características, pero tanto el tiempo de elaboración como su posterior corrección eran poco eficientes debido a la densidad de los mismos.

Llegados a este punto, el resultado era claro, era imprescindible elaborar un proceso rápido, aplicable en cualquier tiempo y cuyos resultados fueran útiles para la valoración y corrección. Es así como comenzamos a implementar un nuevo procedimiento basado en el estudio de los siguientes fundamentos:

- a) Coherencia del modelo.
- b) Indicadores clave de eficiencia (KPI).
- c) Elementos incorrectos.

Posteriormente, este análisis debía ser materializado. Por ello, a través del estudio de la interoperabilidad de varios softwares, conseguimos un informe visual simplificando de los datos y que a su vez, requiere muy poco tiempo de elaboración, así como presenta una lectura y comprensión fácil, ya que los datos desfavorables destacan a simple vista por sus colores.

Como se explica anteriormente, este resultado de optimización de los modelos BIM ha sido posible gracias a todo el proceso de estudio e investigación llevado a cabo a lo largo de los años, a la evolución de las diferentes herramientas compatibles entre sí y la experiencia en proyectos de distintas tipologías.

### 3. Fundamentos

Una vez elegidas las categorías en las que se clasifican los parámetros y características a estudiar la comprensión de la totalidad del proceso es mayor. Por tanto, a continuación se describen los fundamentos del control de calidad de los modelos BIM:

#### 3.1. Coherencia del modelo

El aseguramiento de la coherencia entre los distintos archivos que conforman la totalidad el modelo BIM, consiste en contener la misma información y poseer una configuración común. Para ello, se ha seleccionado la información relacionada con los siguientes aspectos:

Tabla 1. Coherencia del modelo. Fuente: luis vidal + arquitectos (2019)

Vista de inicio
Información de proyecto
Sistema de coordenadas
Rejillas y niveles coordinados con respecto al Sistema de Referencia Base (SRB)
Cajas de referencia ( <i>Scope Boxes</i> ) coordinadas con respecto a Sistema de Referencia Base (SRB)
Líneas coincidentes ( <i>Matchlines</i> ) coordinadas con respecto a Sistema de Referencia Base (SRB)
Vínculos bloqueados
Subproyectos
Parámetros de proyecto

#### 3.2. Indicadores clave de eficiencia (KPI)

La calidad es un concepto que debe entenderse siempre ligado a la eficacia y productividad. Asimismo, es imprescindible tener en cuenta los indicadores clave de eficiencia o KPI (Key Performance Indicator). Estos son una medida del nivel de rendimiento de un proceso BIM.

Se establece un listado de indicadores con un valor objetivo de obligado cumplimiento para todos los participantes del proyecto. Este listado está relacionado con el mantenimiento de los archivos derivados de su funcionamiento óptimo y las recomendaciones de software:

Tabla 2. Indicadores clave de eficiencia. Fuente: luis vidal + arquitectos (2019)

KPI	Valor objetivo	Comentarios
Tamaño de archivo	< 250 MB	
Tamaño de familias	< 1MB	
Número de familias in-situ	0	
Número de vistas/tablas/planos	Mínimo posible	
Comparativa de número de elementos 3D	-	
Número de RVT vinculados	Mínimo posible	
Número de DWG vinculados	0	Excepto archivos R2D
Número de DWG importados	0	
Número de elementos no usados	0	
Número de advertencias/ errores	0	
Número de opciones de diseño	Mínimo posible	
Número de grupos	Mínimo posible	

Las desviaciones a estos valores afectan directamente a:

- Rendimiento y condiciones de manejo del modelo.
- Tiempo de procesamiento de datos (tiempos de apertura, de sincronización, etc.).
- Proliferación de problemas futuros en el funcionamiento de archivos.

### 3.3. Elementos incorrectos

Para asegurar la calidad del proyecto en el cumplimiento de los requerimientos, estandarización, y normativas que rigen un proyecto, se deben verificar con exactitud de los siguientes puntos:

Tabla 3. Listado de elementos incorrectos. Fuente: luis vidal + arquitectos (2018)

Nomenclatura de archivos, vistas, tablas y planos
Nomenclatura de familias
Categoría de familias
Nivel de Información (NI) de familias
Número mínimo de familias in-situ
Subproyecto ( <i>workset</i> ) al que pertenecen los elementos
Fase asignada a los elementos
Inexistencia de planos de referencia sin nombrar
Inexistencia de elementos huérfanos de modelos vinculados
Inexistencia de elementos duplicados
Inexistencia de avisos relacionados con habitaciones
Asignación de sistema a todos los elementos (MEP)
Asignación de los parámetros para medición, coordinación y planificación de obra
Asignación de la función GuBIMClass

## 4. Evaluación del modelo

La totalidad de los puntos anteriores y pertenecientes a los tres fundamentos se unificarán en la Matriz de Calidad (ver tabla) para comprender de forma global, rápida y fácil los resultados de la revisión de control de los modelos BIM.

Se materializarán en una valoración orientativa de cada archivo. Para que individualmente sean considerados óptimos, deberán obtener una valoración de cumplimiento de al menos el 70%. Todos los modelos que estén por debajo de dicho porcentaje necesitarán una mejora exhaustiva de los puntos

erróneos. Esta valoración media se ha obtenido después de realizar distintos tests con diferentes proyectos y tipologías, y se ha concluido establecer ese porcentaje como un valor indicativo.

Tabla 4. Matriz de calidad. Fuente: Luis Vidal + arquitectos (2019)

Información General	Nombre del modelo	OACI_nºEXP_SRB	OACI_nºEXP_TER_LOC_ARQ	OACI_nºEXP_TER_LOC_EST	OACI_nºEXP_TER_LOC_INS
	Descripción del modelo	Coordenadas, niveles y rejillas	Arquitectura	Estructura	Instalaciones
Coherencia del modelo	Vista de inicio	✓	✗	✓	✗
	Información de proyecto	✓	✓	✓	✓
	Sistema de coordenadas	✓	✓	✗	✓
	Rejillas y niveles coordinados	✓	✗	✓	✓
	Cajas de referencia coordinadas	✓	✓	✓	✓
	Lineas coincidentes coordinadas	✗	✗	✓	✓
	Vínculos bloqueados	✓	✓	✓	✓
	Subproyectos apropiados	✓	✗	✓	✓
	Parámetros de proyecto apropiados	✓	✓	✓	✓
	Indicadores Clave de Eficiencia	Tamaño del archivo (MB)	100 ✓	✓	✓
Número de familias > 1 MB		0 ✓	✓	✓	✓
Número de RVT vinculados		23 ✗	✗	✗	✓
Número de DWG vinculados		0 ✓	✓	✓	✓
Número de DWG importados		0 ✓	✓	✓	✓
Número de elementos no usados		1300 ✗	✓	✗	✗
Número de warnings (de los cuales aceptados)		357 (50) ✗	✓	✓	✗
Número de vistas/tablas/planos		98 ✓	✓	✓	✓
Número de opciones de diseño		0 ✓	✓	✓	✓
Número de grupos		89 ✗	✓	✗	✓
Evaluación del modelo	Comparativa de número de elementos 3D	84 ✗	✓	✓	✓
	Número de vistas/tablas/planos con nomenclatura incorrecta	50	1		
	Número de familias con nomenclatura incorrecta	50	1		
	Número de familias en categoría incorrecta	50			
	Número de familias con Nivel de Información (NI) incorrecto	50			
	Número de familias in-situ	50			
	Número de elementos con subproyecto incorrecto	50			
	Número de elementos con fase incorrecta	50			
	Número de planos de referencia sin nombrar	50			
	Número de elementos huérfanos de modelos vinculados	50			
	Número de elementos duplicados	50			
	Número de avisos relacionados con habitaciones	50			
	Número de elementos sin sistema asignado (MEP)	50			
	Número de elementos sin parámetros de medición, coordinación y planificación de obra	50			
Asignación de la función GuBIMClass	50				
Totales	Total de elementos en el modelo	3000	3000	3000	3000
	Total de elementos incorrectos	700	2	0	0
	Cumplimiento del modelo (%)	77%	100%	100%	100%
<b>Leyenda de Color</b>		<b>Descripción</b>			
Información General		Detalles generales del modelo y de la revisión			
Coherencia del modelo		Elementos que tienen que ser coherentes entre los distintos archivos.			
Indicadores Clave de Eficiencia		Elementos que afectan a la eficiencia y productividad de los modelos.			
Evaluación del modelo		Elementos incorrectos desde los que se obtiene la puntuación del modelo (nótese que un mismo objeto puede ser incorrecto en varios checks).			

El periodo en el que se realizarán la publicación de resultados, será convenientemente tras cada hito de proyecto y lo realizará el responsable de los diferentes modelos BIM. La comunicación de estos resultados se realiza a través del entorno común de datos (ECD).

### 5. Proceso de revisión y corrección

Una vez establecidos los criterios, responsables, herramientas y publicación de resultados, se desarrollan los métodos para materializar el control de calidad. La revisión de los modelos BIM está formada por cuatro procesos:



- a) Mantenimiento del modelo
- b) Preparación de archivos
- c) Gestión de familias
- d) Revisión de modelado 3D

Para cada una de ellas necesitamos partir de un modelo BIM, analizar su información con diferentes herramientas generando informes que se emitirán al equipo de trabajo para facilitarles la resolución de errores.

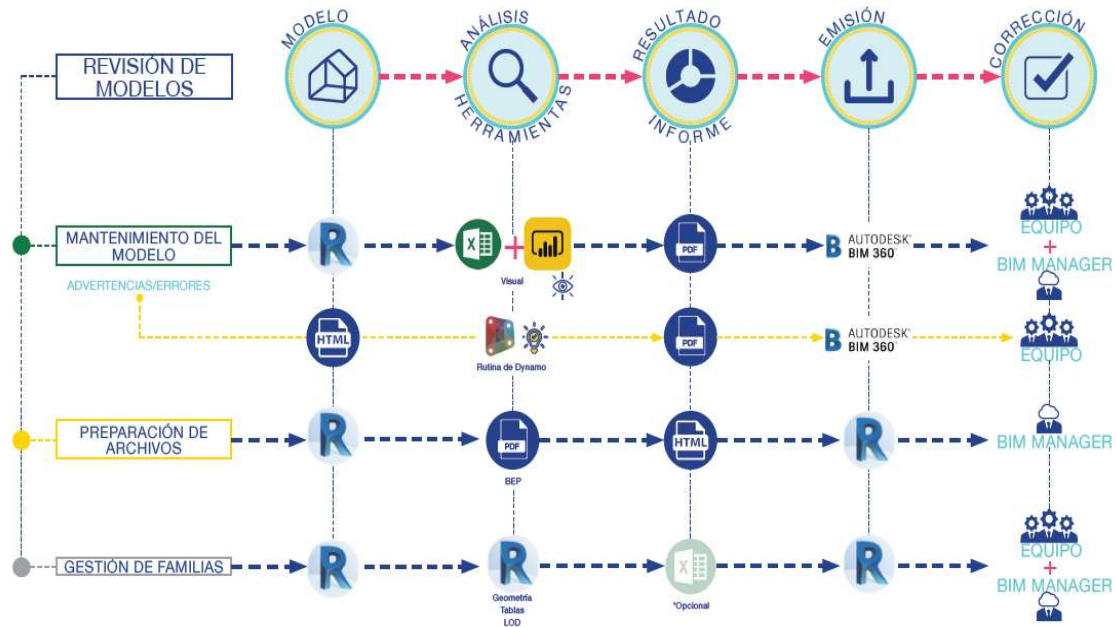


Fig. 2 Diagrama de flujo de trabajo para la revisión de modelos. Fuente: luis vidal + arquitectos (2018)

### 5.1. Mantenimiento del modelo

Esta revisión está basada en los indicadores críticos para verificar el correcto cumplimiento de estándares y mantenimiento del modelo. (Ver punto 3.2 Indicadores clave de eficiencia (KPI)). Las herramientas utilizadas son Microsoft Excel, PowerBI, Ideate, Autodesk Revit y Autodesk Dynamo. En su conjunto, filtran los datos obtenidos del modelo para obtener el informe.

Este proceso de auditoría lo documentamos y se lo entregamos al equipo una vez por semana en formato .pdf (ver imagen) para su seguimiento a través de la plataforma de datos. Además, se entrega un informe de las advertencias y errores del modelo, categorizados por severidad y tipo de error, para que el equipo pueda resolverlos según prioridad. Los valores objetivo que aparecen en rojo indican la superación de los límites recomendados para un buen funcionamiento del modelo.

Para su corrección, se organizan reuniones BIM con el equipo. En las que el BIM Manager ayuda al equipo a la resolución de estos problemas explicándoles la estrategia a seguir y la distinta gravedad de estos errores.

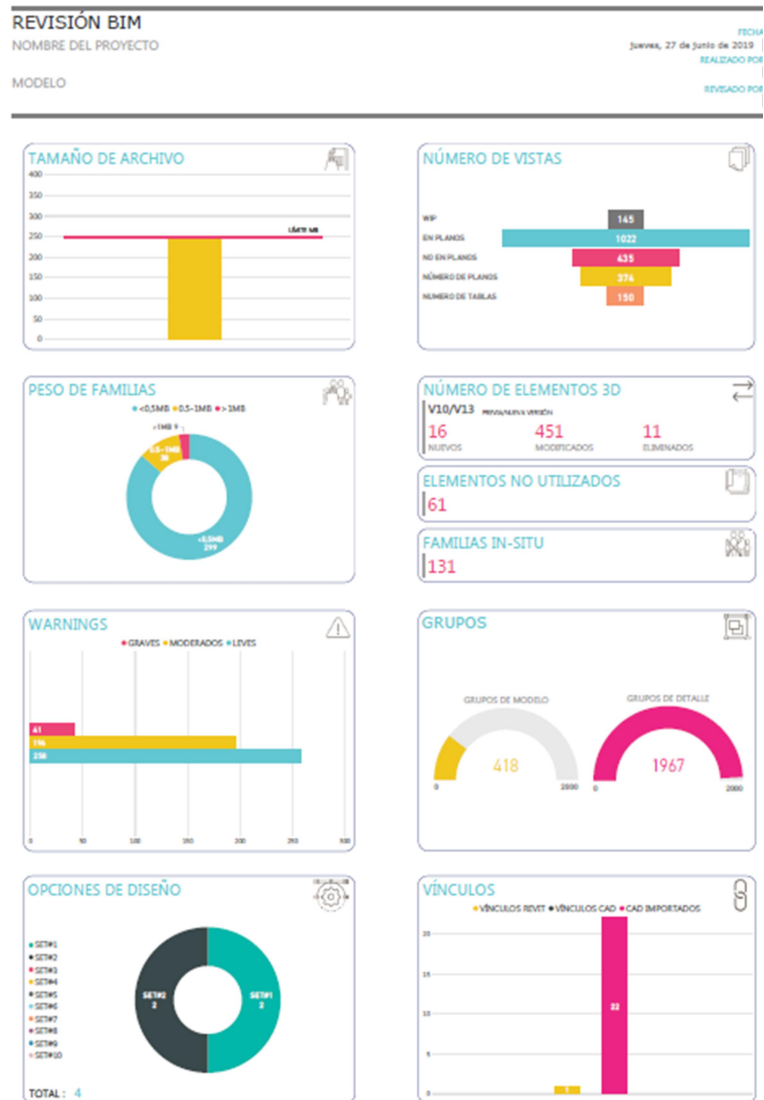


Fig. 3 Ejemplo de resultados de revisión de modelos. Fuente: luis vidal + arquitectos (2018)

## 5.2. Preparación de archivos

Este proceso está basado en el seguimiento de una serie de pasos para preparar y limpiar los modelos previamente a un hito y se realiza con el software Autodesk. En él se verifica la fidelidad en la información relacionada con la coherencia del modelado 3D y la producción 2D:

Tabla 5. Temas de revisión 3D. Fuente: luis vidal + arquitectos (2019)

Temas Revisión 3D	Comentarios
Vista de inicio	Si / No
Información de proyecto	Si / No
Organizador del navegador	Si / No
Configuración / Asignación de fases	Si / No
Configuración / Asignación de subproyectos	Si / No
Parámetros compartidos	Imagen / Comentarios
Parámetros de proyecto	Imagen / Comentarios

Tabla 6. Temas de revisión 2D. Fuente: luis vidal + arquitectos (2017)

Temas Revisión 2D	Comentarios
Tabla de planificación de vistas y planos	Si / No
- Numeración de planos	Si / No
- Nomenclatura de planos	Si / No
- Título de vistas	Si / No
- Nomenclatura de vistas	Si / No
- Plantillas de vista	Si / No
- Filtros de vista	Si / No
Grososores / Estilos / Patrones de línea	Si / No
Esquema de color	Si / No
Materiales	Imagen / Comentarios
Habitaciones	Imagen / Comentarios
Dimensiones	Si / No
Estilos de textos	Si / No
Leyendas	Si / No
Regiones rellenas	Si / No
Líneas de separación	Si / No
Etiquetas	Si / No
Dispositivos / Mecanismos	Si / No
Cajas de sección	Si / No

En este procedimiento no emitimos un informe con un formato en concreto. Los temas de revisión 3D son corregidos por el BIM Manager durante el proceso de preparación, mientras que los temas de revisión 2D los revisa el coordinador del proyecto según las directrices del director de proyecto y los rectifica el equipo, con el apoyo necesario del BIM Manager.

### 5.3. Gestión de familias

Su objetivo final es verificar la inexistencia de elementos incorrectos, es decir, asegurar el cumplimiento de los requerimientos y alcances del proyecto. Esta revisión no sólo se realiza durante el avance del proyecto, sino que también y de forma más específica previamente a cada uno de sus hitos. El formato de informe para la revisión son las tablas de planificación de Autodesk Revit aplicadas a cada categoría de familias. El BIM Manager trabajará de forma conjunta con el equipo para la resolución de estos errores.

Los temas de esta revisión están relacionados con la gestión de las familias incluidas en el modelo:

Tabla 7. Temas de la gestión de familias. Fuente: luis vidal + arquitectos (2017)

Temas	Comentarios
Nomenclatura de familias	Gestión de tablas de planificación en la plantilla de proyecto
NI (Nivel de información)	Gestión de tablas de planificación en la platilla del proyecto
Geometría de familias	BIM Content

### 5.4. Revisión de modelado 3D

Relacionado, al igual que el proceso anterior, con la inexistencia de elementos incorrectos. La revisión del modelado 3D, se lleva a cabo en el modelo de Autodesk Revit de manera visual a través de la navegación directamente desde el software o también desde la plataforma de BIM360, creando incidencias y asignando a los diferentes miembros del equipo para su corrección. Forma parte de la coordinación 3D, la cual comprende una metodología específica donde los resultados provienen del uso de Autodesk Navisworks y la emisión de sus informes a través de BIM 360.

## 6. Conclusiones

En la actualidad, la demanda de los clientes por la excelencia hace que debamos perseguir la calidad total, con el fin de cumplir con todas sus expectativas. Por esta razón, las empresas están en constante cambio inmersos en procesos de mejora continua e implementación de sistemas específicos que les permitan cumplir con las expectativas del mercado internacional. La apuesta fundamental son las herramientas que ayudan a visualizar y analizar el comportamiento de los procesos a través del tiempo, con la finalidad de identificar la variabilidad, conocer las causas y proponer mejoras.

La implementación de la metodología BIM es una de las consecuencias de este cambio de mentalidad y necesidad. Supone una nueva forma de trabajar y de entender el proceso de diseño, construcción y explotación de un activo, y para ello es preciso adaptar los procesos tradicionales de control, a esta nueva estrategia de trabajo. Las nuevas tecnologías hacen posible esta adaptación, y el desarrollo de herramientas específicas de transmisión de la información posibilitan digital.

El sistema BIM, no cumpliría con las inquietudes actuales del mercado sin el control de calidad en los modelos. Proceso indispensable para poder establecer mecanismos que permitan verificar los diferentes proyectos con el fin de mantener los estándares establecidos y poder cumplir con las especificaciones requeridas, estableciendo así un orden para el beneficio de todos los intervinientes.

## Referencias

BARCO MORENO, D. (2018). GUÍA PARA IMPLEMENTAR Y GESTIONAR PROYECTOS BIM. DIARIO DE UN BIM MANAGER. MADRID: EDITORIAL COSMOS.

SECRETARÍA INTERNACIONAL ISO (2008). "SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD - REQUISITOS". NORMA INTERNACIONAL ISO 9001. GINEBRA, SUIZA: EDITORIAL.

SECRETARÍA INTERNACIONAL ISO (2000). "SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD – DIRECTRICES PARA LA MEJORA DEL DESEMPEÑO". NORMA INTERNACIONAL ISO 9004. GINEBRA, SUIZA: EDITORIAL.

SECRETARÍA CENTRAL DE ISO (2004). "GESTIÓN DE LA CALIDAD – SATISFACCIÓN DEL CLIENTE – DIRECTRICES PARA EL TRATAMIENTO DE LAS QUEJAS EN LAS ORGANIZACIONES". NORMA INTERNACIONAL ISO 10,002. GINEBRA, SUIZA: EDITORIAL.

CARRATO GÓMEZ, A. ET AL. (2018). GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DEL PLAN DE EJECUCIÓN BIM. ESPAÑA: ESBIM.

BARCO MORENO, D. ET AL. (2017). ROLES EN PROCESOS BIM. ESPAÑA: ESBIM

KREIDER, RALPH G. AND MESSNER, JOHN I. (2013). THE USES OF BIM. UNIVERSITY PARK, PA, USA: THE PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY.

MESSNER, JOHN I. EL AL. (2019). BIM PROJECT EXECUTION PLANNING GUIDE. UNIVERSITY PARK, PA, USA: THE PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY.

LÓPEZ LEMOS, PALOMA. CÓMO DOCUMENTAR UN SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD SEGÚN ISO 9001:2015. MADRID: FUNDACIÓN CONFEMETAL, 2015. ISBN 978-84-15781-63-9.

GÓMEZ MARTÍNEZ, JOSÉ ANTONIO. GUÍA PARA LA APLICACIÓN DE UNE-EN ISO 9001:2015. MADRID: AENOR, 2015. ISBN 978-84-8143-911-3.

PÉREZ MARQUÉS, MARÍA. CONTROL DE CALIDAD: TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS. SAN FERNANDO DE HENARES: RC LIBROS, 2014. ISBN 978-84-941801-9-4.

## CDE EXTENDIDO. IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTA EN LA NUBE PARA LA GESTIÓN MASIVA DE BIM360 EN UNA PROMOTORA RESIDENCIAL

Liébana Carrasco, Óscar<sup>a</sup>; Guerra Barroso, Iván<sup>b</sup>; Liébana Carrasco, César<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Director Máster Internacional BIM Management ZIGURAT-oscar.liebana@zigurat.education, <sup>b</sup>Responsable BIM en AELCA-iguerra@aelca.es, <sup>c</sup>CTO en SAAV- [cesar.liebana@saav.es](mailto:cesar.liebana@saav.es)

### Abstract

*CDE (Common Data Environment) is one of the bases of the collaborative working in the BIM methodology, key in the success of the current implementation in projects and companies. The current cloud platforms present great graphic, communication, incidences and management qualities according to roles. But the investment is higher and higher, so it is usually used only among the project BIM technicians or collaborative platforms are used with worse performance in the workflows. This generates a devaluation of the BIM processes or separates the rest of the company's technicians from the origin of the information.*

*BIM360Tools is a cloud-based tool based on Autodesk Forge that allows real-time transfer of information from the CDE to different platforms or servers, allowing the single-source model of information to all technicians involved, even if they do not use all the features and without using costly licenses for the company.*

*This tool has been successfully implemented in a developer that uses Sharepoint by default as a corporate tool for shared information, having multiple features and massive management capabilities, without spending resources on licenses that will be used only by technicians who need it on a daily basis.*

**Keywords:** CDE, Environment, Common, Data, BIM360, Forge, Sharepoint, Flows, Implementation, Collaborative.

### Resumen

*El CDE (Entorno Común de Datos) es una de las bases del funcionamiento colaborativo de la metodología BIM, clave en el éxito de implantación actual en proyectos y empresas. Las plataformas actuales en la nube presentan grandes cualidades gráficas, de comunicación, incidencias y gestión según roles. Pero la inversión es cada vez más alta, por lo que suele utilizarse únicamente entre técnicos BIM del proyecto o se utilizan plataformas colaborativas con peores prestaciones en flujos de trabajo. Esto genera una devaluación de los procesos BIM y separa del origen de la información al resto de técnicos de la empresa.*

*BIM360Tools es una herramienta en la nube basada en Autodesk Forge que transfiere en tiempo real la información del CDE a diferentes plataformas o servidores, permitiendo el modelo de fuente única de información a todos los técnicos involucrados, aunque no utilicen todas las prestaciones y sin consumir costosas licencias para la empresa.*

*Esta herramienta se ha implantado con éxito en una promotora que utiliza por defecto Sharepoint como herramienta corporativa de información compartida, teniendo múltiples prestaciones y posibilidades de gestión masiva, y sin gastar recursos en licencias que utilizarán sólo los técnicos que lo necesiten en el día a día.*

**Keywords:** CDE, Entorno, Común, Datos, BIM360, Forge, Sharepoint, Flujos, Implantación, Colaborativo.

## Introducción

Si observamos el comportamiento de utilización del Entorno Común de Datos (CDE) en las empresas del Reino Unido en 2019 (NBS, 2019), como referencia del resto de países que están realizando implementaciones BIM, y con un comportamiento similar en otros aspectos, se podría decir que estamos acercándonos a su uso generalizado como base de la gestión de la información en el sector de la construcción.

En los últimos años han aparecido plataformas CDE de gestión en la nube, las cuales conviven con plataformas genéricas o extranet, como Dropbox, Drive, Sharepoint, etc., y que mejoran los flujos de trabajo, la visualización y las automatizaciones, al estar especializadas en el sector AEC. Estas plataformas, como BIM360 o Viewpoint, cada vez tienen más mejoras en la productividad de entornos BIM en las fases de diseño y construcción, pero debido a su elevado coste, se utilizan, en mayor medida, en entornos colaborativos de gran volumen o en proyectos singulares.

En una tercera capa están los grandes gestores documentales o plataformas de gestión de proyectos como Aconex o Thinkproject, que están incorporando mejoras para la utilización de tecnología BIM, y servidores de empresas que gestionan la información de diversos departamentos que conviven con los CDE, pero que no terminan de centralizar la gestión de la información.

### 1. Trabajo colaborativo y la ISO19650:2019

La serie UNE-EN-ISO 19650 (AENOR, 2019) es un conjunto de normas internacionales que definen el marco, los principios, y los requisitos, para la adquisición, uso y gestión de la información en proyectos y activos, tanto de edificación como de ingeniería civil, a lo largo de todo el ciclo de vida de los mismos, y está destinada principalmente a los agentes participantes en las fases de diseño, construcción y puesta en servicio de activos construidos (Fase de Desarrollo), a los agentes que desarrollan actividades relacionadas con la gestión de activos, incluidas la operación y el mantenimiento (Fase de Operación). La norma EN-ISO 19650-1 establece los conceptos y principios recomendados para los procesos de desarrollo y gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de cualquier activo de construcción. La norma EN-ISO 19650-2 define los procesos de desarrollo y gestión de la información durante la fase de desarrollo. La norma EN-ISO 19650-3 define los procesos de uso y gestión de la información durante la fase de operación y la norma EN-ISO 19650-5 establece los requisitos de seguridad de la información. Estas normas están siendo desarrolladas actualmente por el comité CEN TC442. Según la ISO 19650 las partes deben acordar unos principios básicos para trabajar colaborativamente (ANZ, 2019):

- Utilizar una tecnología competente
- Pre-adjudicación, evaluar competencias de los equipos y capacidad frente a los requisitos establecidos
- Trabajo de acuerdo a un EIR (*Exchange Information Requirement*, Requisitos de Intercambio de Información)
- Trabajo en un CDE
- Hacer referencia sólo a información COMPARTIDA
- Tener acceso seguro a la Información durante toda la vida del proyecto.

### 2. Entorno Común de Datos

Los CDE se concibieron originalmente como repositorios de archivos o sistemas de gestión de documentos electrónicos. La definición actual de la ISO proviene de la PAS 1192-2: 2013 (BSI, 2013), que también agregaba que el CDE puede usar un servidor para el proyecto, una extranet, un sistema de recuperación basado en archivos u otro conjunto de herramientas adecuado. Durante muchos años han existido métodos de sistema de colaboración electrónica y los gestores documentales han sido imprescindibles en grandes proyectos para el seguimiento de contrato. Sin embargo, actualmente se tiende a la generación de un “gemelo digital” en proyectos colaborativos a partir de los contenedores de información compartida.

El CDE es la base fundamental en cualquiera de las etapas de madurez BIM de la capa tecnológica (figura 1), es la fuente tecnológica indispensable para trabajar de forma colaborativa donde se va a producir la gestión de la información.

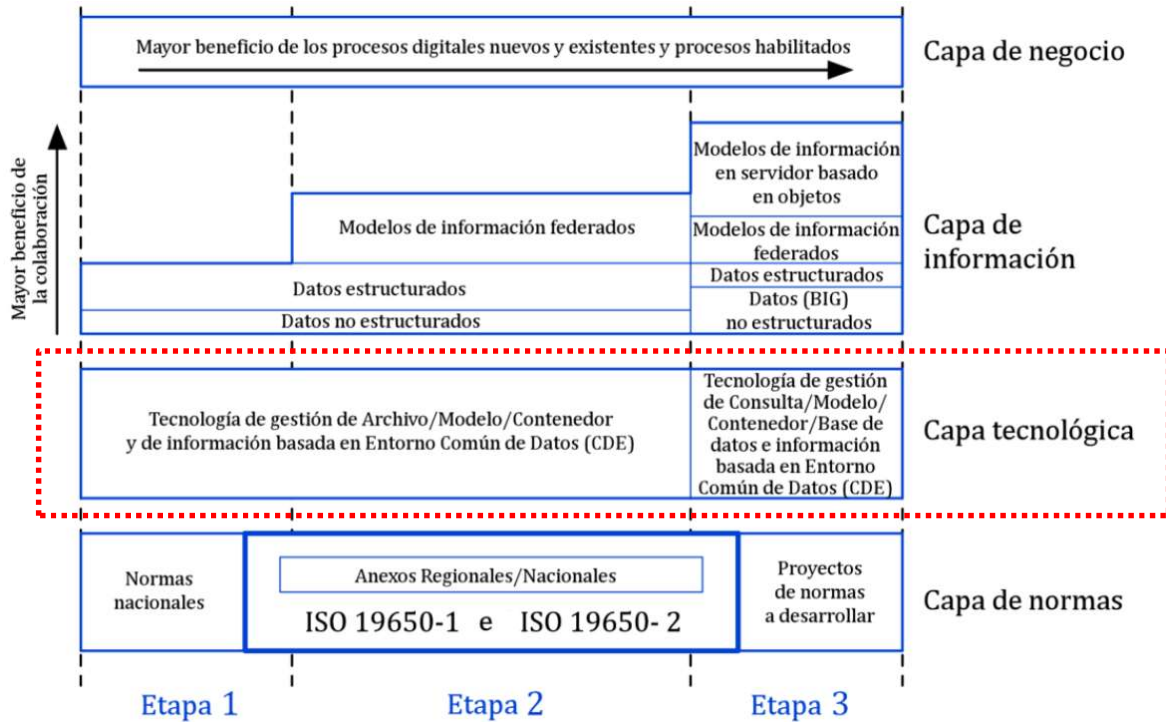


Figura 1. Etapas de madurez según la UNE-EN ISO 19650-1

Según la UNE-EN ISO 19650-1:2019, el **CDE** se define como la única fuente de información acordada para cualquier proyecto o activo para recopilar, gestionar y difundir cada contenedor de información a través de un proceso gestionado. Es la parte contratante la responsable de proporcionar el CDE para cada proyecto, ya sea directamente o a través de un tercero, como podría ser a través de alguna de las partes contratadas. Normalmente en las licitaciones se incluye como uno de los requisitos que tiene que proporcionar el adjudicatario o parte contratada principal del proyecto.

El CDE tiene que defenderse por todos los agentes participantes como la única fuente de información válida de un proyecto y en un entorno BIM, su función como contenedor digital para que todos los participantes del proyecto gestionen la información relevante. La Información relevante, evidentemente debe incluir no sólo modelos de información, planos, documentos, informes, planificaciones, mediciones, etc. sino cualquier información del proyecto que intervenga en su desarrollo.

El CDE debe utilizarse tanto en la gestión de activos como en el desarrollo del proyecto. En el cierre del proyecto, la información del PIM (Modelo de Información del Proyecto) necesaria para la gestión del activo debe trasladarse al AIM (Modelo de Información del Activo), y el resto de información quedará en estado Archivado, debiendo conservarse en caso de necesidad, auditoría y como datos de lecciones aprendidas para el futuro. Este proceso debe definirse en el EIR.

En el ámbito más tecnológico, la ISO 19650 define unas funcionalidades que un CDE debe permitir para ser considerado como tal:

- Poder asignar un identificador único basado en campos separados por un delimitador, a cada contenedor de información.
- Poder asignar atributos de estado, revisión y clasificación, a cada contenedor de información.
- Poder modificar el atributo de estado de cada contenedor de información registrando el usuario que lo modifica y la fecha en la que lo hace.
- Poder controlar el acceso a cada contenedor de información.

Estos son unos requisitos muy básicos, que hacen que muchas soluciones informáticas puedan usarse como CDE con la configuración adecuada. Podríamos tener un CDE simplemente habilitando un servidor FTP (Protocolo de transferencia de archivos) con una adecuada estructura de carpetas, nomenclatura de archivos y uso de los metadatos de cada archivo. Aunque hoy en día disponemos de soluciones en la nube, tanto de uso general como especializadas en el sector AEC, que cumplen con las funcionalidades marcadas por la ISO. A este respecto, se hace muy esclarecedor el último informe sobre tecnología en la construcción de Reino Unido, elaborado por la NBS (NBS, 2019), donde se ofrecen porcentajes de uso de este tipo de soluciones (figura 2).

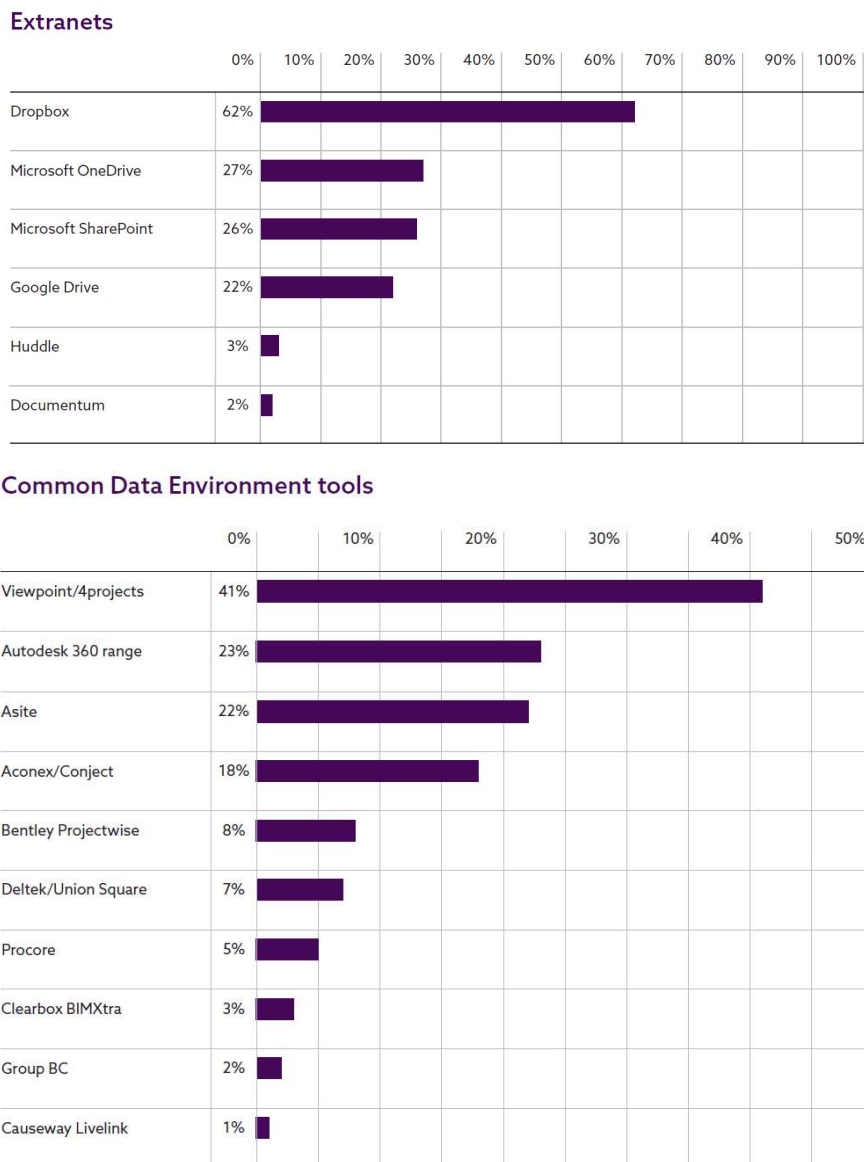


Figura 2. Uso de Extranets y CDE en Reino Unido (NBS, 2019).

Según este informe, el 45% de los encuestados usa soluciones en la nube para almacenar sus proyectos. Así mismo, analizando las gráficas que nos ofrece este informe, podemos sacar tres conclusiones:

- **Las soluciones de uso general (Extranets en la gráfica) predominan sobre las especializadas del sector (CDE Tools).** Tanto DROPBOX (2007), ONEDRIVE (2014) como GOOGLE DRIVE (2012) disponen de versiones gratuitas, son herramientas muy conocidas y llevan muchos años en el mercado. Además, en el caso de ONEDRIVE, tiene integración completa con el gestor documental de Microsoft (SHAREPOINT) y está incluido en la muy usada suite de ofimática de Microsoft. En contraposición, tenemos soluciones específicas con precios mucho más altos, y que en algunos casos llevan pocos años en el mercado. Estas soluciones se caracterizan por ofrecer



funcionalidades que van más allá de lo definido por la ISO19650, y que son de gran utilidad para los usuarios (como visores online y herramientas de gestión de incidencias) y por esto su uso se está extendiendo poco a poco, aunque no en sustitución de las herramientas de uso general.

- **Los usuarios no usan una única plataforma**, y esto se puede deber a dos circunstancias. Como la solución de CDE la impone el promotor, o en su defecto, la empresa en la que el promotor haya delegado esta responsabilidad, puede que en cada proyecto que participe una empresa deba usar una solución de CDE distinta. Independientemente de la solución que se establezca para un proyecto determinado, las empresas utilizan a nivel interno, una solución que se adapte a sus necesidades como empresa. Las empresas pueden preferir usar Autodesk BIM360 para trabajar de forma colaborativa usando Autodesk Revit, y luego subir los archivos listos para compartir con el resto de agentes a VIEWPOINT, el CDE del proyecto.
- **Mercado fraccionado con gran competencia**. Finalmente, por el reparto de porcentajes, y teniendo siempre presente que son datos de Reino Unido y recabados en la segunda mitad del 2018, podemos observar dos claros líderes (DROPBOX Y VIEWPOINT) pero con un mercado en el que hay bastante competencia, hasta 6 soluciones más que superan el 18% de uso.

### 3. CDE Extendido y comunicación entre plataformas

En la práctica, los CDE no tienen que estar en un solo lugar, especialmente en activos o proyectos de gran envergadura o complejidad. El trabajo colaborativo basado en contenedores permite realizarlo en diversas plataformas o sistemas informáticos, especialmente basados en la nube. Una práctica habitual en grandes proyectos es tener plataformas internas de WIP o archivados, otras plataformas de información compartida y plataformas específicas de control documental que contienen información en estado aprobado y archivado.

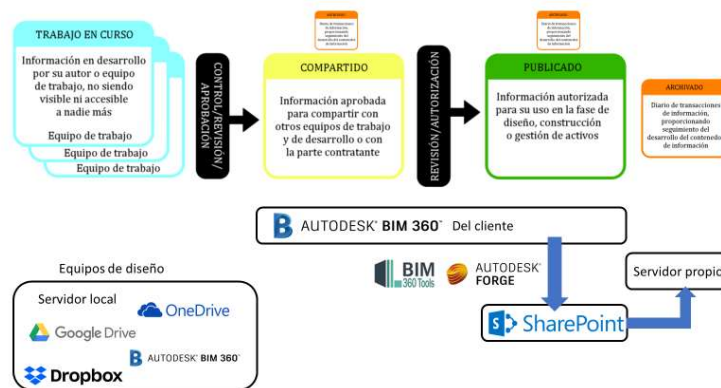


Figura 3. CDE compuesto por varias soluciones de software en distintos estados de la información

En el caso de las grandes promotoras inmobiliarias en España, por ejemplo, externalizan las tareas de diseño y construcción de los activos, con lo que cuentan con un gran número de empresas con las que colaborar. Pero también, se da el caso de que menos del 25% de los empleados de la promotora son técnicos del sector AEC, dado que pertenecen a departamentos como marketing, jurídico, negocio, financiero, comercial, entre otros (datos de promotora AELCA). En este caso, implantar una solución de CDE específica del sector para todos los usuarios no es lo más productivo, por el contrario, implantar una solución generalista, dejaría sin acceso a las funcionalidades extra que ofrecen soluciones como BIM360 a los usuarios técnicos de la promotora y a todos los proveedores técnicos. Ante esta situación es donde se decide que el CDE debe estar formado por dos o más soluciones para que cada tipo de usuario trabaje con la herramienta que mejor se adapta a sus necesidades.

### 4. BIM360

Autodesk BIM360 es la solución de Autodesk como CDE para la utilización en flujos de trabajo BIM. BIM360 es una plataforma de administración en la nube que permite compartir toda la información del

proyecto, no sólo modelos y planos. Esta plataforma tiene un visualizador de modelos y planos que permite tener un control de revisiones, realizar comentarios, incorporar incidencias y establecer flujos de aprobación a partir de roles creados por el administrador.

El módulo básico que se entiende como Entorno Común de Datos con las mejoras incorporadas de Autodesk sería BIM360 Docs, la plataforma más utilizada en la actualidad en el sector de la construcción en España. Aunque existen otros módulos como DESIGN que permite el trabajo colaborativo con modelos (WIP), o el módulo BUILD especializado en gestión en obra. En resumen, es una plataforma en continua evolución, con un grandísimo desarrollo internacional, que permite la gestión de proyectos más allá de un gestor documental, generar procesos de trabajo, coordinarlos, mejorar la gestión de la calidad y obtener un análisis de datos e incidencias avanzado.

#### 4.1. BIM360 Docs y su cumplimiento de la ISO 19650

BIM360 Docs incorpora funcionalidades suficientes para cumplir con todos los requisitos que estable la ISO19650-2 sobre CDE. Aunque en este punto hay que mencionar que Autodesk ha desarrollado una interfaz muy similar al explorador de archivos de Windows, lo que implica que, por un lado, la adaptación del usuario a las funciones más básicas de gestión de archivos dentro de la plataforma es casi inmediata, pero, por otro lado, algunos de los atributos que define la ISO19650 son más fáciles de aplicar mediante una estructura de carpetas que con el uso de metadatos. Como ilustra la figura 4, esto no es un problema para cumplir con la ISO y, sin embargo, hace algo más ágil el trabajo diario con archivos.

#### 4.2. Funcionalidades de BIM360 Docs más allá de la ISO 19650

En cuanto a visualización, BIM360 cuenta con un visor online (también disponible mediante app en dispositivos móviles) que soporta más de 60 formatos de archivos de diseño y ofimática, entre ellos, algunos de los más utilizados como, REVIT, AUTOCAD, NAVISWORKS, WORD, EXCEL, PDF e IFC. Esto permite al usuario no sólo tener una única fuente de verdad, sino, también, consumirla de forma directa y sencilla. Este visor tiene la capacidad de hacer comparaciones 2D y 3D entre versiones de archivos, con lo que el usuario puede detectar fácilmente los cambios.

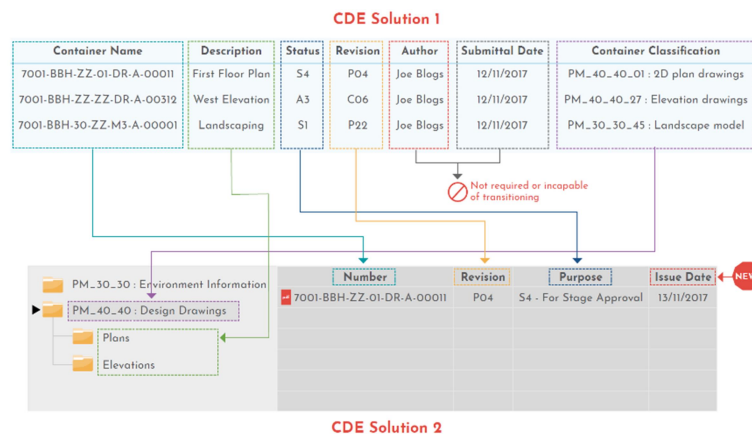


Figura 4. Guidance Part 2: Processes for Project Delivery (UK BIM Framework, 2020)

En comunicación, tiene herramientas para comunicar que un archivo ya está listo para revisar, notificaciones de cuando se publica un archivo, pero también la posibilidad de hacer marcas de revisión en planos y modelos, e incluso un gestor de incidencias con el que señalar problemas del proyecto, documentarlo con archivos adjuntos y fotografías (con posibilidad de sacarlas y subirlas directamente desde un dispositivo móvil, en una visita a la obra, por ejemplo), asignar la resolución a un usuario concreto, chat exclusivo sobre dicho problema, estado de resolución y estadísticas y resúmenes de las incidencias del proyecto. Con todo esto, BIM360 Docs se puede usar, además de CDE, como entorno común de comunicaciones, ya que,

configuración de privacidad mediante, todos los usuarios tienen acceso en un único lugar, a todas las comunicaciones relativas al proyecto y sus problemas.

### 4.3. Autodesk Forge

Autodesk Forge es una plataforma para desarrolladores que ofrece APIs para interactuar con BIM360. La idea es que terceros desarrollen funcionalidades extra o conexiones con otros servicios. Estos desarrollos pueden ser privados, o públicos, contando BIM360 con una tienda de aplicaciones con la misma mecánica que el resto de software de Autodesk. Forge ha sido creada por Autodesk como plataforma de herramientas de desarrollo basadas en la nube para todos los profesionales de ingeniería y ofrece diversos servicios y APIs: viewer, data management API, model derivative API, design automation API, BIM 360 API y muchos más.

Por diversos motivos, tanto económicos como operativos o culturales, las empresas que han migrado a esta plataforma se han encontrado con sistemas independientes donde por un lado trabajaban un conjunto de perfiles especializados y un entorno colaborativo donde trabajaba el resto de la organización. En este escenario, es donde nace la posibilidad de utilizar el Data Management API y el BIM 360 API para poder integrar ambos escenarios en un único modelo de trabajo que optimice el acceso a la información y el trabajo colaborativo.

## 5. Experiencia real: BIM360Tools, un CDE extendido

BIM360 permite a través de su plataforma Forge establecer integraciones y **BIM360Tools** permite integrarlo con los servicios de almacenamiento de información que estás utilizando en la empresa, constructora, promotora, estudio o cuenta personal, servicios en la nube (MICROSOFT OFFICE 365, GOOGLE DRIVE, DROPBOX, figura 5) o en sus propios servidores. Con esta herramienta sencilla basada en la nube y sin apenas inversión podremos tener un CDE extendido que no se limita al equipo BIM de diseño y sea cual sea su rol en la organización podrá acceder a una información correcta y actualizada, e incorporarse a los procesos de trabajo del resto de técnicos. BIM360Tools nace como herramienta de ayuda a todos los administradores de entornos BIM 360. Aunque cuenta con más funcionalidades que se han ido incorporando a la suite de herramientas, su función principal es la de poder sincronizar los proyectos en la nube de Autodesk con otras nubes donde la organización gestiona su trabajo diario: Microsoft Office 365, Dropbox, Google Drive, etc.

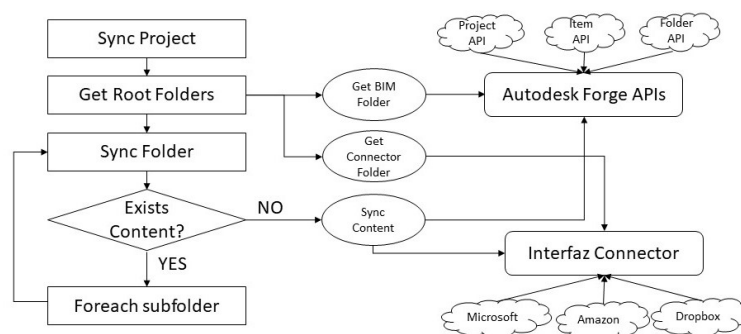


Figura 5. Entorno de gestión de BIM360Tools. Flujo de Sincronización con conectores

Al contrario que algunas herramientas genéricas de sincronización, BIM360Tools pone su foco en BIM 360 y entiende la estructura de los proyectos generados en la herramienta de Autodesk. BIM360Tools usa los APIs de Forge para acceder a todas las funcionalidades de BIM360 como repositorio de documentación, conociendo su estructura y reglas de negocio. Así mismo, los principales servicios colaborativos más utilizados exponen sus propias APIs para acceder a la información almacenada en dichos servicios. BIM360Tools usa estas APIs para establecer un modelo común de todos estos entornos propietarios para poder integrarlos con el entorno de Autodesk.

### 5.1. Desarrollo de BIM360Tools

La herramienta BIM360Tools permite la planificación de distintos planes de sincronización, donde los administradores puede seleccionar uno o varios proyectos BIM 360 y establecer los intervalos de tiempo en los que la plataforma debe actualizar todos los cambios. Así, el motor de la plataforma se ha concebido para permanecer activo en todo momento y, apoyándose en una orientación a nube eliminando la necesidad de los clientes de mantener costosas infraestructuras, ejecutar con la periodicidad seleccionada los planes de sincronización de cada cliente.

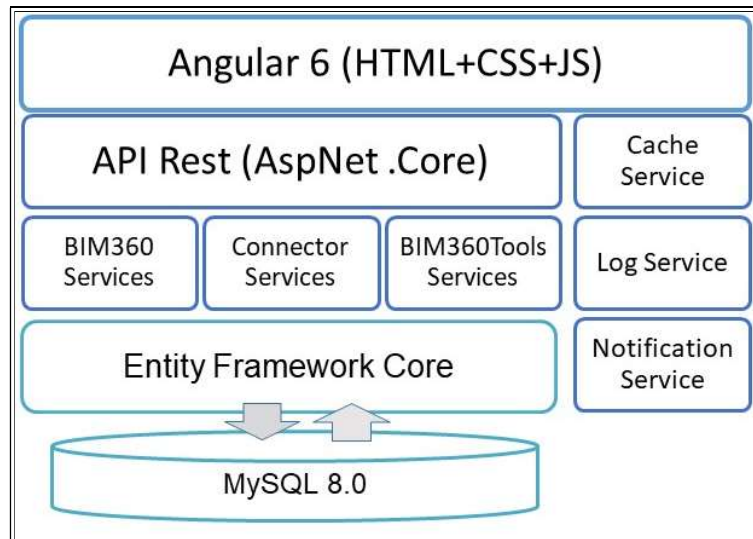


Figura 6. Desarrollo de BIM360Tools

La herramienta BIM360Tools se ha desarrollado para poder escalar de forma sencilla en cuanto a servicios ofrecidos. Su arquitectura basada en la nube presenta una capa frontal que actualmente es consumible vía Web en cualquier dispositivo. Así mismo, esta capa se apoya en una nueva capa API Rest donde se publican mediante los estándares más actuales e interoperables todos los servicios que la herramienta ofrece. Por debajo de este API, existe un bus de servicios concretos que entregan toda la potencia del sistema. Naturalmente, el sistema de información se apoya en un sistema de base de datos relacional.

### 5.2. Tecnología de desarrollo

BIM360Tools se ha desarrollado utilizando únicamente tecnologías abiertas como Microsoft AspNet.Core, Oracle MySQL o Linux. Para garantizar la seguridad en un sistema de esta naturaleza se han utilizado los estándares más actuales y extendidos del mercado como OAuth2 y JWTs.

## 6. Implementación del CDE en la promotora, caso real de éxito

### 6.1. Fase 1: Análisis de necesidades

En una de las promotoras residenciales más grandes de España se decide que hay que implementar un gestor documental para toda la organización. Siendo el departamento técnico el principal defensor de la idea, y conocedores del concepto de CDE, se contacta con varias distribuidoras de software especializado en el sector AEC y BIM.

Tras una ronda de sesiones de demostración comercial, se llega a la conclusión de que, existiendo soluciones con funcionalidades muy interesantes para el departamento técnico, dichas soluciones pueden resultar ineficientes en comparación con el uso de Microsoft SharePoint (de uso ya incipiente dentro de la organización), para el resto de los departamentos de la empresa.

Se decide entonces que se van a usar dos plataformas, por un lado, BIM360 por sus funcionalidades en revisión de proyectos, compatibilidad nativa con los formatos más extendidos en el mercado, y su menor coste a esta escala, en comparación con otras soluciones similares. Y por otro lado SharePoint, por su perfecta integración y funcionalidades extra con la suite de ofimática Microsoft Office, además de estar ya incluido en el coste de la suite, que la empresa ya tenía.

## 6.2. Fase 2: Definición de flujos de trabajo y desarrollo de sincronizador

Aquí surge la necesidad de mantener ambas plataformas sincronizadas, al menos, en lo que respecta a la documentación técnica de los proyectos, y comienza el desarrollo de la herramienta B360tools.

En paralelo al desarrollo del sincronizador, se crea una estructura de carpetas que refleja los flujos de información que propone la ISO19650 (trabajo en curso, compartido y publicado) adaptándola a las etapas y estructura departamental de la empresa. Además, en dicha estructura de carpetas se tienen en cuenta que carpetas estarán sólo en BIM360 y sólo en SharePoint, cuales en ambos sitios, y de estas últimas, qué carpeta (la de BIM360 o la de SharePoint) es fuente de información y qué carpeta es copia sincronizada.

Varios ejemplos:

- Las carpetas que pertenecen a trabajo en curso de los técnicos, y las carpetas del estado compartido, estarán sólo en BIM360.
- Las carpetas de Atención al cliente y Postventa estarán sólo en Sharepoint.
- Las carpetas que pertenecen al estado Publicado estarán en ambas plataformas, pero la información se creará en BIM360, siendo las carpetas de SharePoint una copia. A excepción de la carpeta Licencias, que al estar estas gestionadas por personal administrativo que no usa BIM360, la información se generará en SharePoint y se copiará a BIM360.

Definir la estructura de carpetas, teniendo en cuenta la ISO19650, las necesidades de la empresa (sesiones de trabajo interdepartamentales), y las características de sincronización entre plataformas es un trabajo que dura unos cinco meses. En este tiempo se desarrolla la primera versión funcional de B360tools. A partir de este momento estará operativo el CDE basado en dos soluciones.

## 6.3. Fase 3: Formación de los usuarios y resistencia al cambio

Durante la fase anterior se dan formaciones de BIM360 a los usuarios técnicos. Es una plataforma muy sencilla y de interfaz similar al explorador de Windows, por lo que estas formaciones no suponen un reto. El reto está en la elevada cantidad de usuarios externos a la empresa a los que hay que formar, y aquí se decide producir una serie de videotutoriales explicando temas como registro en la plataforma, el concepto de trabajo en curso, compartido, publicado de la ISO19650, las herramientas de notificación, incidencias, etc.

Por otro lado, los usuarios de BIM360 (tanto los de la propia promotora como los colaboradores externos), aunque asimilan rápido que los archivos deben guardarse y compartirse en BIM360 y no mediante correo electrónico, envíos de datos online y otros sistemas, siguen usando el teléfono y el correo electrónico para comunicar incidencias del proyecto. También siguen imprimiendo planos, rotulando sobre papel los posibles errores, cuando BIM360 permite hacer estas tareas de forma completamente digital. En este aspecto se sigue trabajando, haciendo formaciones de refuerzo, resaltando las ventajas de tener no sólo los archivos, sino también las comunicaciones centralizadas en BIM360.

En lo que respecta al hecho de que el CDE esté formado por dos plataformas, no ha supuesto ningún problema para los usuarios, ya que cada perfil de usuario utiliza sólo una de las dos plataformas. Sólo al principio surgen algunas dudas relacionadas con qué carpeta se sincroniza y dónde.

#### 6.4. Fase 4, gestión masiva de usuarios en BIM360

A medida que pasan los meses y BIM360 va creciendo en número de proyectos y de usuarios externos (los usuarios de la promotora permanecen estables), gestionar las invitaciones a proyectos con las herramientas que ofrece BIM360 empieza requerir mucho tiempo.

Teniendo ya desarrollado B360tools, se plantea añadirle la funcionalidad de poder invitar a los usuarios de forma masiva en los proyectos. Se desarrolla un nuevo apartado dentro de B360tools que permite seleccionar usuarios de forma rápida en un listado y agregarlos a uno o varios proyectos, seleccionados

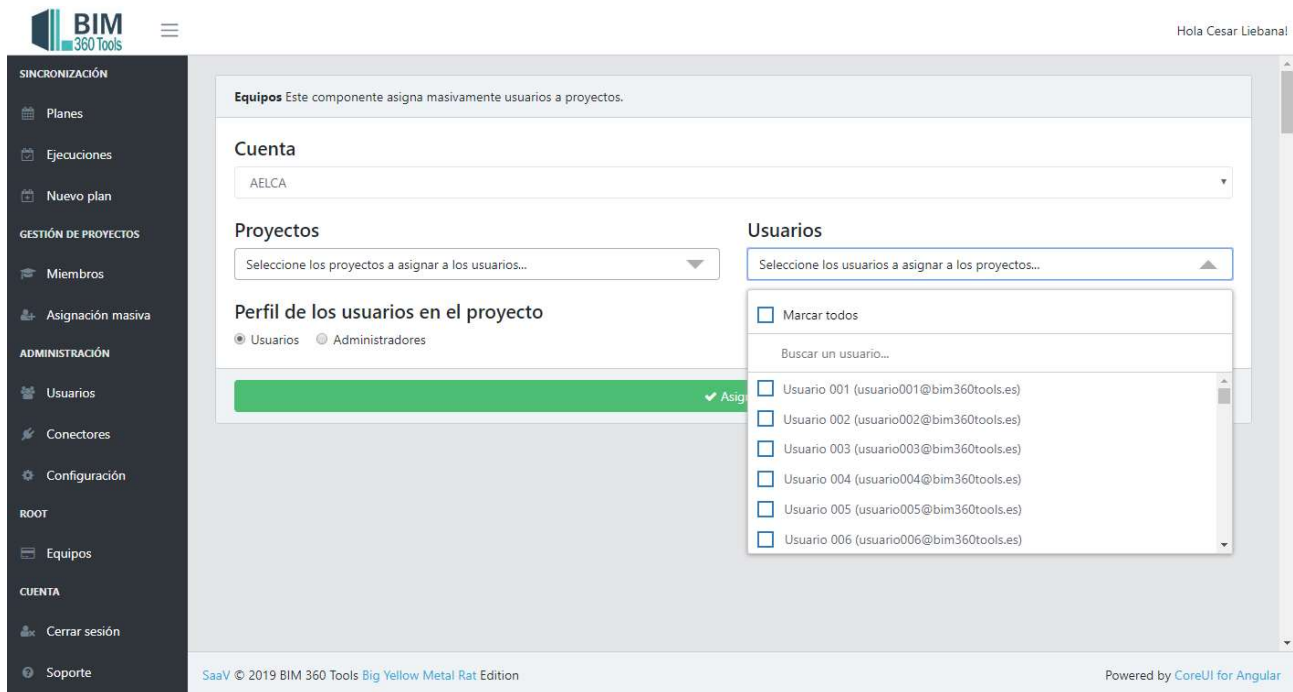


Figura 7. Interfaz de B360Tools, página de asignación masiva de usuarios.

también mediante un listado (figura 7). Con esta nueva funcionalidad se pueden agregar cientos de proyectos, decenas de usuarios, en segundos. Para poder comparar, dos ejemplos: agregar a 40 usuarios a un único proyecto desde la interfaz de BIM360 sin B360tools es una tarea de 7 minutos, agregar a un único usuario a 40 proyectos distintos es una tarea de 18 minutos.

### 7. Conclusiones

La utilización del Entorno Común de Datos se está consolidando como la base del trabajo colaborativo en la gestión de la información según la ISO19650. Según los datos de utilización en el Reino Unido, esta única fuente de información se está convirtiendo en múltiples plataformas, principalmente en la nube, que necesitan interoperabilidad según necesidades de la empresa y de cada proyecto.

El caso real de esta comunicación presenta un desarrollo propio de CDE extendido para toda una promotora residencial, en el que un 25% de los empleados son técnicos, los cuales manejan herramientas BIM y que colabora con más de 200 empresas externas. Esta empresa utiliza la plataforma BIM360 y mediante este desarrollo a partir de Autodesk Forge, integra las diferentes plataformas de gestión de información de las empresas, tanto en la nube (Sharepoint) como en los servidores locales.

Este caso de éxito permite establecer un entorno único de información compartida y actualizada, no sólo por técnicos que utilizan una plataforma especializada y costosa como BIM360, sino para todos los empleados y empresas colaboradoras. Además, es un sistema escalable y de mínima gestión para un crecimiento muy importante de la promotora en los próximos años.

Los datos estudiados de implementación de los CDE y las conclusiones sobre su utilización en este caso de éxito, permiten concluir que esta solución de CDE extendido puede permitir en los próximos años un

desarrollo masivo en grandes empresas y en pequeños colaboradores, con unas grandes mejoras en productividad a bajo coste.

Esta implementación podría incorporarse de una manera sencilla en los sistemas de gestión de proyectos de las administraciones públicas. Pero también, y a través de los colegios profesionales se podría incorporar en la gestión a menor escala de pymes y profesionales con infraestructuras mínimas.

## Referencias

AENOR (2019). *Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling) Parte 1: Conceptos y principios*. UNE-EN ISO 19650-1:2019. Madrid. AENOR.

AENOR (2019). *Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM (Building Information Modelling). Gestión de la información al utilizar BIM (Building Information Modelling) Parte 2: Fase de desarrollo de los activos*. UNE-EN ISO 19650-2:2019. Madrid. AENOR.

ANZ (2019). *AUSTRALIA AND NEW ZEALAND GUIDE TO ISO19650*. [[http://brisbim.com/wp-content/uploads/2019/10/ANZ-Guide\\_ISO19650\\_Industry-Preview.pdf](http://brisbim.com/wp-content/uploads/2019/10/ANZ-Guide_ISO19650_Industry-Preview.pdf)]

BAC (2019). *The New Zeland BIM Handbook a guide to enabling BIM on built assets 2019. Third Edition. Acceleration Committee*. Mayo 2019. [<https://www.biminnz.co.nz/s/NZ-BIM-Handbook-May-19.pdf>]

BRITISH STANDARDS INSTITUTION, BSI (2013). PAS 1192-2:2013 Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling (incorporating corrigendum No.1). 2013.

BSSCH (2019). *Introducción a la Serie EN-ISO 19650, Partes 1 y 2. BuildingSMART Spanish Chapter. Madrid 2019*. [<https://www.buildingsmart.es/app/download/12527207526/Actualizaci%C3%B3n%20Int.%20Normas%20EN-ISO%2019650.pdf?t=1580465880>]

MORDUE, S. (2015). *The common data Environment. The digital space where BIM data flows*. Retrieved March 2018. [<http://www.bimplus.co.uk/management/com8mon-data-environm5ent-dig6ital-space-where-bim/>]

NBS (2019). *CONSTRUCTION TECHNOLOGY REPORT 2019*. RIBA ENTERPRISES LTD. 2019 [<https://www.thenbs.com/knowledge/nbs-construction-technology-report-2019>]

THE BIM DELIVERY GROUP FOR SCOTLAND (2018). *Scottish Future Trust (SFT), Implementation of a Common Data Environment The Benefits Challenges & Considerations August 2018*. [<https://www.scottishfuturetrust.org.uk/storage/uploads/cdeimplementaionresearchaug18.pdf>].

UK BIM FRAMEWORK (2020). *Information management according to BS EN ISO 19650. Guidance Part 2: Processes for Project Delivery*. Edition 3. UK BIM Framework. Enero 2020. [[https://ukbimframework.org/wp-content/uploads/2020/02/ISO\\_19650\\_Guidance\\_Part\\_2\\_Processes\\_for\\_Project\\_Delivery\\_ThirdEdition.pdf](https://ukbimframework.org/wp-content/uploads/2020/02/ISO_19650_Guidance_Part_2_Processes_for_Project_Delivery_ThirdEdition.pdf)]

## Software

REVIT de Autodesk. Software BIM multidisciplinar. [<https://www.autodesk.es/products/revit/overview>]

BIM360 de Autodesk. Construction Management Software. [<https://www.autodesk.com/bim-360/>]

VIEWPOINT de Trimble. [<https://www.viewpoint.com/>]

ACONEX de Oracle. [<https://help.aconex.com/aconex/our-main-application>]

DROPBOX. [<https://www.dropbox.com/>]

GOOGLE DRIVE. [<https://www.google.com/intl/es/drive/>]

SHAREPOINT. [<https://products.office.com/es-es/sharepoint/collaboration>]

## Programación

ASP.NET Core [<https://docs.microsoft.com/es-es/aspnet/core/?view=aspnetcore-3.1>]

MySQL [<https://dev.mysql.com/doc/>]

Java Web Tokens [<https://jwt.io/>]

OAuth 2.0 [<https://oauth.net/2/>]

Linux [<https://www.linux.org/>]

Forge. [<https://forge.autodesk.com/>]

## GENERACIÓN AUTOMÁTICA DE MODELOS BIM DE CARRETERAS A PARTIR DE DATOS DE INVENTARIO EXISTENTE

Moya Sala, Joaquim<sup>a</sup>; Jardí Margalef, Agustí<sup>b</sup>

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

---

### Resumen

*A partir de los datos existentes del catálogo e inventario de carreteras (VIC), Visor de Inventario de Carreteras, del Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya, se ha realizado un proceso de digitalización automático y de elaboración y conversión a elementos BIM. Para hacer este proceso se ha seleccionado un tramo de 5 km de la carretera C-12, entre Lleida y Tortosa des del pk 85+00 hasta el pk 88+00.*

*Esta prueba de digitalización del catálogo ha permitido en primera instancia realizar una validación de los datos existentes y comprobar la coherencia general, el grado de detalle, las tipologías de elementos representados, la capacidad de combinarse con otros tipos de datos, la precisión y otros aspectos relacionados con las necesidades de información en el sector.*

*Los elementos abordados han sido el terreno, los firmes, la señalización horizontal y vertical así como también elementos de contexto (luminarias, muros, edificios,...) Este trabajo permite plantear los retos futuros y las complejidades asociadas para digitalizar toda la red de carreteras existentes.*

**Palabras clave:** BIM, ingeniería civil, digitalización, inventario, automatización

---

### Abstract

*From the existing data of the catalog and inventory of roads (VIC), Road Inventory Viewer, Department of Territories and Sustainability of the Generalitat de Catalunya, an automatic digitalization process has been carried out and development and conversion to BIM elements. To do this process, a section of 5 km of the C-12 road has been selected, between Lleida and Tortosa from pk 85 + 00 to pk 88 + 00.*

*This catalog digitization exercise has allowed, in the first instance, to validate existing data and check the overall coherence, the degree of detail, the typologies of elements represented, the ability to combine with other types of data, accuracy and other aspects related to information needs in the sector.*

*The elements addressed were the terrain, the firm, the horizontal and vertical signals as well as context elements (luminaires, walls, buildings, etc.) This work allows us to pose the future challenges and associated complexities to digitize the entire existing road network.*

**Keywords:** BIM, civil engineering, digitization, inventory, automation

---



## Introducción

La obra civil está experimentando un uso creciente de la metodología BIM en los últimos años, de modo que aquello que se ha desarrollado para la arquitectura ahora se está empezando a utilizar para las infraestructuras. A diferencia de lo que se observa en arquitectura, en infraestructuras la gestión de activos toma un papel tan relevante o más que las demás fases del proyecto (Bradley, A., Li, H., Lark, R. and Dunn, S., 2016)<sup>1</sup> aunque en realidad se trata de un área que aún no ha sido investigada a fondo. Es por ello que integrar la metodología BIM en las infraestructuras puede suponer un avance significativo en lo concerniente al mantenimiento de dichas infraestructuras. Sin embargo, esta integración presenta ciertas dificultades ya que el software generado para abordar proyectos de arquitectura no es del todo compatible con las necesidades que puede tener la obra lineal (Del Grosso, A., Basso, P., Ruffini, L., Figini, F. and Cademartori, M., 2017)<sup>2</sup>, por ello es necesario usar estrategias avanzadas que superen dichas limitaciones y así poder generar modelos BIM de infraestructuras. Por otro lado, debido a que su aplicación es especialmente significativa en lo concerniente al mantenimiento aparece la necesidad de modelar infraestructuras preexistentes para poder realizar su mantenimiento de forma mucho más adecuada. Esto conlleva que en algunas ocasiones la documentación que presentan una infraestructura existente diste mucho de lo que normalmente se utiliza para definir un proyecto de arquitectura en BIM, de tal modo que la introducción del modelo debe plantearse de una forma distinta a la habitual en el caso de edificación como podemos ver en (Vilgertshofer, S., Stoitchkov, D., Esser, S., Borrmann, A., Muhič, S. and Winkelbauer, T., 2018)<sup>3</sup> o (Tibaut, A., Pečnik, S., Korošec, M.R., Mihalič, K. and Zabreznik, I., 2015)<sup>4</sup>.

Actualmente el nivel de adopción de la metodología BIM en infraestructuras es aún bajo (<sup>1</sup> Shou, W., Wang, J., Wang, X. and Chong, H.Y., 2015)<sup>5</sup>, sin embargo, en lo que concierne al uso de esta metodología para el diseño y gestión de carreteras hay experiencias previas (Chong, H.Y., Lopez, R., Wang, J., Wang, X. and Zhao, Z., 2016)<sup>6</sup> y desarrollos (Lee, S.H. and Kim, B.G., 2011)<sup>7</sup> en los que se puede apreciar avances en este sentido. Por ello se prevé que en los próximos años aumente el uso de esta metodología en el sector de la obra civil y las infraestructuras. En este contexto el ámbito de la carretera es sin duda uno de los más importantes, en el que ya se han presentado metodologías para el cálculo de las mismas desde modelos BIM (Moya Sala, Q., García García, A., Camacho-Torregrosa, F.J. and Campoy Ungria, J.M., 2017)<sup>8</sup>, para el mantenimiento de la carretera (Heikkilä, R. and Marttinen, M., 2013)<sup>9</sup> y otros.

### 1. Contenido

Es por ello que el desarrollo de metodologías avanzadas para la conversión de las bases de datos actuales a modelos BIM puede ser un área de investigación que gane importancia en los próximos años. En este sentido presentamos un trabajo que precisamente aborda esta cuestión desde una perspectiva multidisciplinar que pretende lograr sintetizar la información obtenida de muy distintas fuentes a un solo modelo BIM.

#### 1.1 Objetivo

Con este trabajo se pretendía comprobar la viabilidad de generar modelos BIM de forma automática a partir del catálogo VIC de carreteras, del *Departament de Territori i Sostenibilitat* dentro Generalitat de Catalunya y por parte de la *Direcció General d'Infraestructures de Mobilitat*.

La utilización del BIM en los primeros proyectos piloto de carreteras generó un requerimiento de entrega de proyectos BIM As Buid de carreteras, en donde se tienen que facilitar los modelos vía IFC de diferentes especialidades (subsistemas) agrupando elementos en función de las unidades de los sistemas actuales de gestión, los cuales comprenden elementos de diferente naturaleza y con diferentes necesidades de información.

Para ello el cuerpo principal de este trabajo ha consistido en interpretar una base de datos en forma de tablas para convertirla en un modelo BIM de carreteras que luego pudiera ser exportado a IFC en varios subsistemas y con las propiedades específicas que son necesarias en cada uno de los elementos en temas

de mantenimiento. Además, se están preparando las futuras campañas de captación de datos de las carreteras para mejorar el VIC como base de inventario, con lo que de los resultados y conclusiones obtenidos del ejercicio se pretendía exponer las lagunas actuales para mejorar dicho proceso futuro.

## 1.2 Metodología

Este proceso se ha planteado de forma completamente automática. Esto se debe principalmente al hecho de que se pretendía explorar la posibilidad de un mecanismo que fuera capaz de convertir cualquier tramo de carretera descrito en una base de datos que contiene 6000 km a un modelo BIM útil para el mantenimiento y la coordinación. Ello lógicamente debe ser completamente automático, pues la intervención manual se debe minimizar cuando tratamos con una base de datos tan extensa.

Cabe mencionar que el objetivo del estudio es explorar la posibilidad de extraer tramos de la base de datos de los 6000 km de forma puntual para poder trabajar sobre los mismos, no una reproducción sistemática del modelo completo de toda la red de carreteras por lo que se priorizo la interpretación de la base de datos sobre los aspectos relacionados con la eficiencia y la velocidad de cálculo.

La plataforma elegida para crear el modelo BIM de la carretera ha sido REVIT, principalmente por la capacidad de generar datos y exportarlos al modelo IFC según las especificaciones dadas en el proyecto.

Los datos originales de la carretera se encontraban en formato (.mdb) generalmente utilizado por la Herramienta Microsoft Acces, en forma de tablas clasificadas por contenidos. Dichos datos contenían tanto información correspondiente a la geometría de la carretera como información sobre la señalética, las características del firme, iluminación y elementos especiales que se encontraban en la misma. Esta información por sí misma no era suficiente para definir el modelo pues aun necesitábamos datos del terreno y del eje, por lo menos para cotejar y contrastar con los datos contenidos en la base de datos, por ello se han utilizado también fuentes de datos externas como el Modelo Digital del Terreno del ICGC<sup>10</sup> (*Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya*) o los datos actualmente disponibles de los ejes de Transporte en el GRAFO<sup>11</sup> de infraestructuras de terrestres de la Generalitat de Cataluña.

Una vez obtenidos los datos se ha utilizado principalmente DYNAMO para la interpretación de los mismos y la construcción del modelo dentro de la plataforma REVIT. DYNAMO es un plug-in que permite automatizar procesos mediante programación visual. A través de este sistema hemos podido convertir toda la información de las tablas de datos a entidades y parámetros de REVIT.

Por otro lado, se han creado elementos en REVIT de señales y luminarias adaptadas al proyecto, con parámetros generados para contener los datos de las tablas que no sean de geometría. Estos elementos se han adaptado para admitir la información geométrica de las tablas y adaptarse a la misma.

## 1.3 Tablas de datos

Los datos de los que partía el estudio estaban clasificados en tablas de contenidos donde se facilitaban las características de cada uno de los elementos o punto de la carretera categorizado. En general se facilita el PK en el que se encuentra el elemento así como la distancia desde el punto mismo, para tener su posición exacta respecto al eje. Al mismo tiempo también se facilita su posición X, Y y Z en UTM de modo que también puede situarse en el plano, dando así la posición por duplicado. Dicho esto, los contenidos se encontraban clasificados en las siguientes categorías:

- Geometría: Datos geométricos del vial que nos describen aspectos clave como la plataforma, los peraltes, radio de giro, número de carriles, ancho de la calzada, arcén derecho y arcén izquierdo. Estos datos son los básicos para reconstruir la carretera, sin embargo, no había datos sobre qué tipo de curva define el tramo de modo que solo teníamos la polilínea definida por los puntos donde se habían facilitado datos de geometría.

Tabla 1. Datos de geometría contenidos en el VIC – Visor de Inventario de Carreteras (2015)

	ID	CodiEix	CodiSentit	FRAME	PKInici	DistanciaPK	PKFinal
Enllumenat	994030	C-17/17-RB	Anada	48	0	122	0
Estructures	994031	C-17/17-RB	Anada	49	0	127	0
Geometria	994032	C-17/17-RB	Anada	50	0	132	0
imatges	994033	C-17/17-R	Anada	154	0	0	0
interseccions	994034	C-17/17-R	Anada	155	0	5	0

- Estructuras: En esta tabla se definían los elementos que cruzan la carretera. Dichos elementos están definidos por pk de inicio y de final, su longitud y descripción breve.
- Señalización horizontal: En este caso se define principalmente las líneas de señalización horizontal presentes en la carretera, su distancia al eje de la carretera en el pk inicial y en el final, su tipo de línea (línea continua, discontinua, etc.), su pk de inicio y de final, así como su longitud. Todos estos datos se utilizarán más adelante para reconstruir dicha línea de la carretera.
- Señalización vertical: Para la señalización vertical se dispone de la posición en el pk, el tipo de señal y el sentido de esta. Estos datos son suficientes con señales estandarizadas, sin embargo, hay señales de carácter local que no se pueden reproducir solo a partir de estos datos. Estas han sido recreadas con formas genéricas.
- Iluminación: La iluminación aparece definida a partir de la posición, altura y sentido de cada luminaria, de modo que se puede reproducir su situación exacta.
- Sistemas de contención: Finalmente en la tabla de elementos de contención, se facilita el Pk de inicio, el PK de final y la longitud del elemento. También se facilita el sentido de circulación en el que se encuentra.

Tabla 2. Datos de Elementos de contención contenidos en el VIC – Visor de Inventario de Carreteras (2015)

ID	CodiEix	CodiSentit	CodiSentit2	Codi	Sustentacio	Data	IDTRI	Xini	Yini
22711	C-12	Doble	Anada	BMD	C/Tubular	20150604	680	294484.8979	4567400.798
22712	C-12	Doble	Tornada	BMD	C/Tubular	20150604	681	294472.9152	4567420.11
22713	C-12	Doble	Tornada	PM	NA	20150604	682	294398.7577	4567647.518
22714	C-12	Doble	Anada	PX	NA	20150604	683	294482.9026	4567411.501
22715	C-12	Doble	Anada	BMS	C/Tubular	20150604	684	294401.1442	4567666.764
22716	C-12	Doble	Anada	BMD	C/Tubular	20150604	685	294403.0241	4567659.718

DistanciaPK	Pendent	Peralt	RadiCorbatt	Calçada	AmpleCarril	NumCarril	Plataforma	VoralDret	VoralEsquer
127	-6	0,7	2145	12,62	3,92	2	13,9	0,4	0,88
132	-6	0,4	2145	11,92	3,79	2	13,28	0,4	0,96
137	-6	-0,1	2145	11,43	3,81	2	12,8	0,4	0,97
5	1	0,9	-224	8,12	3,96	2	10,1	1,98	0
10	1	1,4	-224	8,19	4,13	2	8,19	0	0

Zini	PKInici	DistanciaPKInici	Xfi	Yfi	Zfi	PKFinal	DistanciaPKFina	Longitud	Sentit
48.3806	85	561	294482.9026	4567411.501	48.6894	85	571	10.89	A
47.9981	85	582	294476.0486	4567404.123	48.0184	85	565	16.3	T
47.654	85	821	294472.9152	4567420.11	47.9981	85	582	239.2	T
48.6894	85	571	294403.0241	4567659.718	48.1471	85	832	260.79	A
47.599	85	839	294432.0783	4567753.842	46.3693	85	939	97.06	A
48.1471	85	832	294401.1442	4567666.764	47.599	85	839	7.3	A

### 1.4 Terreno

Los datos de terreno no estaban incluidos en lo que era la base de datos, por ello hemos recurrido a bases de datos externas. Estas nos han permitido obtener un mapa de relieve con mucho detalle de la zona.

El proceso que seguimos para generar el terreno es utilizar una nube de puntos y asignarla como dato de partida a la función de REVIT que crea el terreno. Por ello la parte fundamental es definir la nube de puntos que dará lugar al terreno.

Sin embargo, la nube de puntos inicial del terreno ha implicado en primera instancia cierta problemática ya que el archivo era de gran tamaño y eso lo hacía imposible de procesar por la herramienta REVIT. Por otro

lado, simplificar la nube suponía una simplificación nada satisfactoria para el modelo de la carretera que no facilitaba la comprensión del modelo especialmente en el ámbito más cercano a la carretera.

Para mantener la calidad de los datos de la parte de carretera y reducir la carga de los datos de contexto, se ha realizado una rutina para el procesamiento de las nubes de puntos. Para ello se ha utilizado DYNAMO como sistema de tratamiento de datos en el que se combina una nube de puntos relativamente liviana, con una nube de puntos más densa para el ámbito más cercano a la carretera. La nube resultante es más liviana a nivel de cómputo general sin que implique una pérdida de calidad en el ámbito propio de la carretera.

Todos los datos sobre nubes de puntos se han obtenido desde la herramienta AutoCAD Civil 3D y se han exportado a DYNAMO mediante archivos .txt, donde se han procesado los puntos. Este hecho nos ha permitido aislarnos de la idiosincrasia propia de la herramienta y de las problemáticas de geoposicionamiento derivadas de insertar de forma directa cualquier tipo de formato a REVIT.

Así pues los pasos seguidos durante el proceso de tratamiento de la nube de puntos del terreno son los siguientes:

- En primer lugar, seleccionar datos de terreno de mucha precisión solo en el ámbito de la carretera. En esta parte se han transmitido los puntos, con una alta densidad y capacidad de definición.
- En segundo lugar, se ha seleccionado el resto del terreno correspondiente a la zona en que se ubica la carretera, pero con menos densidad de puntos.
- Finalmente y gracias a la elaboración de un script propio se genera un archivo .txt nuevo donde se combinan en una única nube de puntos la nube más densa con la nube menos densa. Este archivo genera los puntos necesarios para que REVIT reconstruya el terreno, dando más precisión al ámbito cercano a la carretera y menos al más alejado.

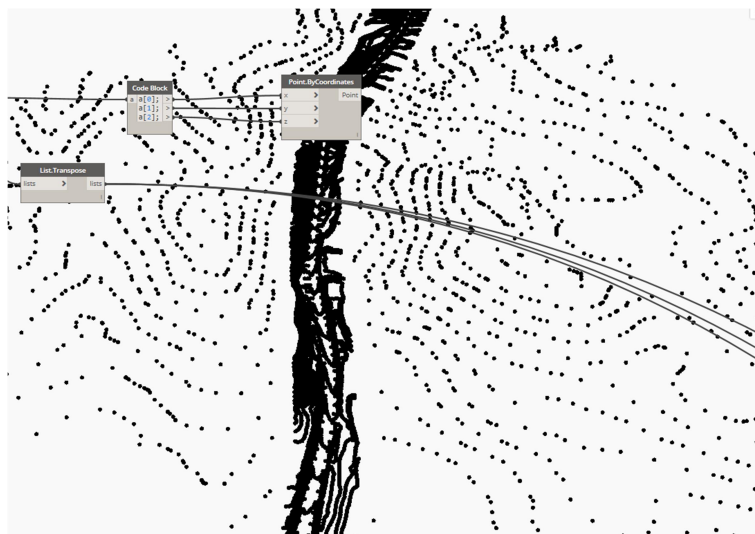


Fig. 1 Preparación de datos del terreno. Fuente: Elaboración Propia (2020)

## 1.5 Reconstrucción del eje

A partir de la tabla de datos del firme podemos reconstruir el recorrido del coche que tomó los datos de la carretera. El sensor se encontraba a 2.36 m del suelo y recogía información del carril en sentido flix. Por otro lado, disponemos de datos sobre el eje de la C-12 proveniente del GRAFO, sin embargo, en esos datos no dispone de la elevación del eje, solo de la posición en planta, de modo que hemos cotejado ambas fuentes de datos considerando que los tomados por el vehículo son más exactos. Con todo esto hemos podido reconstruir el eje de la carretera. Una vez obtenido el eje hemos podido verificar que estos datos cuadran

con los datos que ya teníamos de terreno de modo que se ha añadido una doble verificación (Grafo y topografía) a los datos que teníamos del eje para obtener el recorrido final de la carretera.

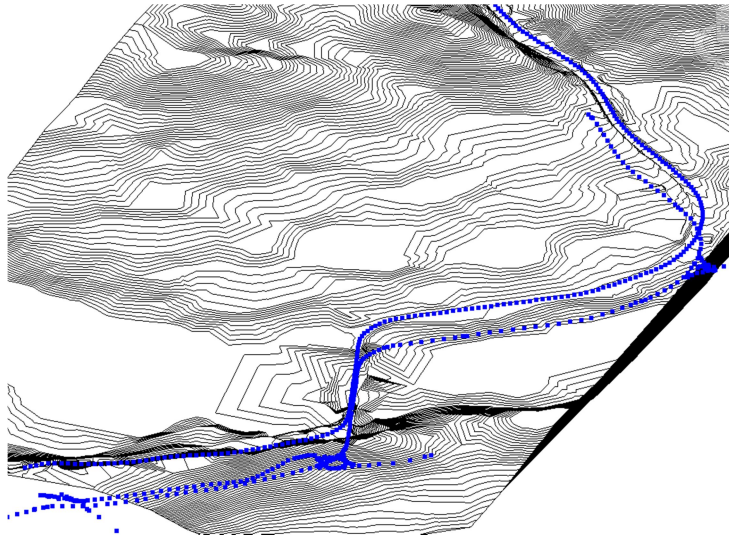


Fig. 2. Comparación del eje del GRAFO con el eje de la base de datos. Fuente: Elaboración Propia (2020)

### 1.6 Reconstrucción del firme

Una vez obtenido el eje se ha podido reconstruir el firme de la carretera. En este caso hemos utilizado la información de la tabla de datos sobre los carriles, arcenes y peraltes para obtener la geometría. Mediante un proceso automatizado en el que se ha creado como un forjado todo el perímetro de la carretera y luego se ha elevado, hemos podido adaptar el firme a una entidad propia de REVIT. El resultado ha sido un elemento continuo, que sigue exactamente la forma de la carretera más los arcenes y que permite la inserción de parámetros.

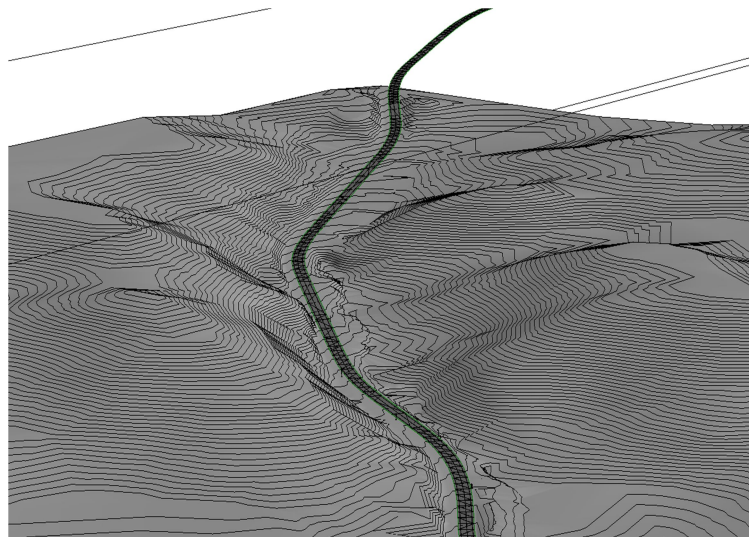


Fig. 3. Vista del firme modelado. Fuente: Elaboración Propia (2020)



Fig. 4. Cama a 326 m de altitud sobre el nivel del mar. Fuente: Google Earth (2020)

### 1.7 Inserción de señales verticales

En el caso de las señales verticales disponemos de la posición, el tipo y la orientación. En estos casos hemos dispuesto una serie de elementos de REVIT para aquellas señales que son estandarizadas y que por lo tanto se puede identificar su tipo con precisión y asignarle un modelo característico. También utilizamos un modelo de señal de carácter genérico para las señales que son locales y que al no estar estandarizadas no podemos saber qué geometría y características presentan. El mayor reto de colocar las señales es lograr orientarlas correctamente respecto al eje de la carretera, de tal modo que según el sentido indicado en la tabla de datos estas señales se orientaran respecto al eje hacia el carril adecuado.

Este proceso automatizado lo hemos verificado visualmente mediante el servicio de “Google Street view”, de modo que pudiéramos verificar que el modelo obtenido de forma automatizada se correspondía con la realidad. Lo que hemos observado es que en líneas generales el proceso funciona correctamente, pero en algunos casos la base de datos puede contener déficits de información que dan lugar a diferencias entre lo obtenido en el modelo BIM y la realidad. Algunas de estas diferencias se deben a errores humanos en la introducción de datos y la interpretación del modelo, otros ponen de relieve faltas de información, por ejemplo, en la señalización horizontal tal y como se puede ver en las siguientes imágenes. Por ello resulta una herramienta muy útil para la verificación.

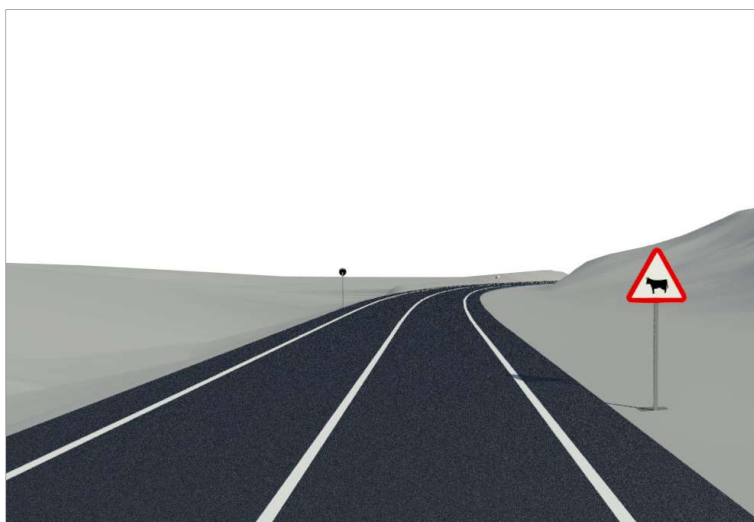


Fig. 5. Imagen de un tramo modelado de la carretera C-12 en el pk 87+000 Fuente: Elaboración propia (2020)



Fig. 6. Imagen real de la carretera C-12 en el pk 87+000 Fuente: Google Street View (2020)

En las anteriores imágenes se puede apreciar la comparación entre la imagen real y la obtenida con el modelo BIM. En ellas se encuentran señales verticales y horizontales. Las imágenes muestran algunas diferencias en la señalización horizontal que en la base de datos no estaba plenamente reflejada. Tampoco aparecen las vallas de protección que no estaban presentes en la base de datos.

#### 1.8 Inserción de señales horizontales

En el caso de la señalización horizontal disponíamos tanto del punto inicial en UTM como del punto final, así como los pk y la longitud de la señalización. Con estos datos hemos podido medir la distancia al eje de cada línea de modo que hemos interpolado valores de distancia al eje entre el pk inicial y el pk final. Estas medidas interpoladas se han situado siempre en perpendicular al punto del eje más cercano. Con ello hemos logrado reproducir punto a punto el recorrido de la señalización horizontal.

#### 1.9 Inserción de datos

Realizadas las construcciones de las geometrías con el conjunto de scripts y automatismos, era necesario realizar la inserción y relleno de datos a los elementos del modelo.

Para ello se tuvieron en cuenta en primer lugar los actuales requerimientos que se están especificando en la entrega de modelos BIM as Built de carreteras, en temas de identificación, geometría, localización, prestaciones comunes y prestaciones específicas para todos los elementos.

Los parámetros de identificación, localización y prestaciones comunes se introdujeron de forma manual teniendo en cuenta que actualmente no existen en la base de datos. Por otro lado, los parámetros de geometría se obtienen de forma directa desde la propia herramienta, mientras que los datos de las prestaciones específicas se obtienen a partir del traslado y mapeo de los datos contenidos la Base de datos de partida.

#### 1.10 Exportación a IFC y generación del modelo Coordinado

Para la exportación de los datos a IFC, uno de los requisitos indispensables del ejercicio, ha sido necesario realizar la preparación del exportador a IFC en Revit teniendo en cuenta la organización de las Psets que se requieren, así como también, la preparación de vistas de exportación para agrupar las exportaciones en función de los elementos requeridos en cada uno de los subsistemas (especialidades). A grandes rasgos, se ha realizado la exportación a los subsistemas de Topografía, Firmes, Elementos Funcionales (señalización vertical y horizontal) e Instalaciones (Luminarias), teniendo un IFC para cada uno de ellos. Resultados

Tras exportar cada una de las tablas de datos en elementos de REVIT con sus parámetros, hemos podido reconstruir el modelo completo de la carretera descrito según estaba especificado en las tablas

almacenadas en la base de datos. Tanto la señalización, como la luminaria, el firme de la carretera así como algunos de los sistemas de contención han podido ser introducidos en el modelo de REVIT.

El proceso se ha llevado a cabo de forma modular, exportando o reexportando cada una de las partes de forma separada y así corrigiendo los problemas en cada sector de la información.

Entre los errores detectados en la base de datos hemos encontrado incoherencias en los siguientes campos:

**Señalización horizontal:** Hemos observado que en algunos casos se dan incoherencias en la señalización horizontal y su tipificación en la base de datos, por ejemplo, en el caso de rotondas



Fig. 7. Imagen de Rotonda en carretera C-12 en el pk 86+100 Fuente: Google Earth (2020)

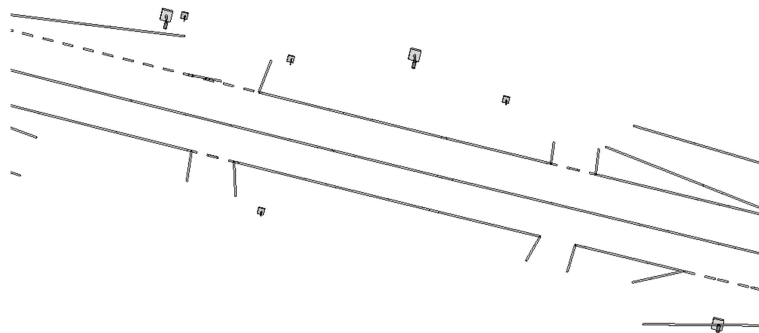


Fig. 8. Imagen de Señalización horizontal en la Rotonda de la carretera C-12 en el pk 86+100 Fuente: Elaboración Propia (2020)

**Altura de señales verticales:** La altura de algunas de las señales verticales y de luminarias ha dado valores erróneos, debidos principalmente a la presencia de vegetación y otros elementos que distorsionan el campo visual y que dan lugar a errores manifiestos en la base de datos.

**Pavimento:** El firme de la carretera se ve limitado a lo que corresponde al carril de circulación, no se tienen en cuenta las desviaciones del carril principal de modo que en rotondas y otros nudos de conexión el resultado resulta extraño. Se pueden apreciar solo la fracción de elementos más cercanos al carril principal.

En todos los casos los errores se deben a la base de datos, tanto por la presencia de errores como por la falta de información. Ante la imposibilidad de verificar si la información contenida era correcta, ésta no ha podido ser corregida. Sin embargo, usando esta metodología rápidamente se han podido no solo detectar



donde se producen los mayores errores si no también donde hay falta de información y donde se producen errores recurrentes al captar datos.

El tiempo total empleado en generar el modelo completo en REVIT teniendo en cuenta solo las rutinas que generan el archivo txt de nube de puntos, el firme, las señales horizontales y verticales, así como elementos de contención, es de aproximadamente media hora, dependiendo de la complejidad del tramo, la cantidad de señales y otros aspectos. El proceso sin embargo no ha sido optimizado, se trata de una prueba piloto para verificar la viabilidad de esta aproximación que se ha realizado con herramientas y procesos poco eficientes en cuanto a tiempos de cálculo.

## 2. Conclusiones

Gracias a este desarrollo hemos podido verificar que la conversión de bases de datos a modelos IFC es posible en el caso concreto de la base de datos VIC. Esto nos ha permitido contrastar los datos que contenían las tablas con un modelo tridimensional donde las incoherencias, imprecisiones y carencias se han hecho muy evidentes, al tiempo que se ha podido verificar la precisión de los datos contenidos tal y como hemos visto en el apartado anterior.

El resultado final muestra la carretera C-12 de forma aislada, sin tener en cuenta rotondas ni conexiones con otros viales, sin embargo, se dejan entender dichas conexiones en los datos de señalización horizontal. Algunas señales que han salido representadas en el modelo no corresponden a la C-12, cosa que hemos podido verificar al comparar el recorrido por la carretera con las imágenes obtenidas de "google Street view" en el mismo recorrido.

Hemos observado que hay una necesidad de uso de las bases de datos externas en lo que se refiere a la reconstrucción del terreno, que difícilmente puede almacenarse junto a los datos de la carretera, de forma que se tiene que replantear su necesidad o no de tenerlas en cuenta en un futuro o bien plantear otras formas para su inclusión.

De cara al futuro se plantea la posibilidad de utilizar sistemas de programación más avanzados para reducir el tiempo de procesado e interpretación de los datos. Este proceso se podría reducir considerablemente hasta llegar a trabajar prácticamente a tiempo real. Este sería un aspecto a explorar en futuros desarrollos.

Estos procesos permiten facilitar la coordinación de las distintas bases de datos mediante un modelo fácilmente verificable en el que los elementos puedan ser seleccionados y editados en el mismo modelo. Sin embargo, estos modelos se generarían procesualmente en el momento de necesitarlos y solo para facilitar la edición de datos que luego se coordinarían con las demás disciplinas.

En las próximas campañas de actualización de la Base de Datos del VIC se requiere la adición de más propiedades; ya que muchos de los datos que actualmente se piden en los entregables BIM asBuilt a día de hoy no están presentes. Además de tener en cuenta una mayor capacidad de automatismo para evitar errores humanos durante su elaboración. En varios sitios analizados del tramo los datos contenidos en cuanto a características de la señalización horizontal distaban de la realidad al igual de la no existencia de más datos con respecto a la tipificación de las señales verticales.

## Referencias

- (1) BRADLEY, A., LI, H., LARK, R. AND DUNN, S., 2016. BIM FOR INFRASTRUCTURE: AN OVERALL REVIEW AND CONSTRUCTOR PERSPECTIVE. AUTOMATION IN CONSTRUCTION, 71, PP.139-152.
- (2) DEL GROSSO, A., BASSO, P., RUFFINI, L., FIGINI, F. AND CADEMARTORI, M., 2017. INFRASTRUCTURE MANAGEMENT INTEGRATING SHM AND BIM PROCEDURES. IN PROCEEDINGS.
- (3) VILGERTSHOFER, S., STOITCHKOV, D., ESSER, S., BORRMANN, A., MUHIČ, S. AND WINKELBAUER, T., 2018. THE RIMCOMB RESEARCH PROJECT: TOWARDS THE APPLICATION OF BUILDING INFORMATION MODELING IN RAILWAY EQUIPMENT ENGINEERING. IN PROCEEDINGS OF THE.
- (4) TIBAUT, A., PEČNIK, S., KOROŠEC, M.R., MIHALIČ, K. AND ZABREZNIK, I., 2015. BIM-BASED PARAMETRIC MODELING OF ROADS AND INFRASTRUCTURE OBJECTS. IN 32ND CIB W78 CONFERENCE, EINDHOVEN, THE NETHERLANDS.

- (5) SHOU, W., WANG, J., WANG, X. AND CHONG, H.Y., 2015. A COMPARATIVE REVIEW OF BUILDING INFORMATION MODELLING IMPLEMENTATION IN BUILDING AND INFRASTRUCTURE INDUSTRIES. ARCHIVES OF COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING, 22(2), PP.291-308.
- (6) CHONG, H.Y., LOPEZ, R., WANG, J., WANG, X. AND ZHAO, Z., 2016. COMPARATIVE ANALYSIS ON THE ADOPTION AND USE OF BIM IN ROAD INFRASTRUCTURE PROJECTS. JOURNAL OF MANAGEMENT IN ENGINEERING, 32(6), P.05016021.
- (7) LEE, S.H. AND KIM, B.G., 2011. IFC EXTENSION FOR ROAD STRUCTURES AND DIGITAL MODELING. PROCEEDIA ENGINEERING, 14, PP.1037-1042.
- (8) MOYA SALA, Q., GARCÍA GARCÍA, A., CAMACHO-TORREGROSA, F.J. AND CAMPOY UNGRIA, J.M., 2017. BIM PARA INFRAESTRUCTURAS DE CARRETERAS: VERIFICACIÓN DE LA NORMATIVA DE DISEÑO GEOMÉTRICO. SPANISH JOURNAL OF BIM, 17(1), PP.10-18.
- (9) HEIKKILÄ, R. AND MARTTINEN, M., 2013. DEVELOPMENT OF BIM BASED REHABILITATION AND MAINTENANCE PROCESS FOR ROADS. IN ISARC. PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AUTOMATION AND ROBOTICS IN CONSTRUCTION (VOL. 30, P. 1). IAARC PUBLICATIONS.
- (10) ICGC – MODEL D'ELEVACIONS DEL TERRENY < [HTTPS://WWW.ICGC.CAT/DESCARREGUES/ELEVACIONS/MODEL-D-ELEVACIONS-DEL-TERRENY-DE-2x2-M](https://www.icgc.cat/DESCARREGUES/ELEVACIONS/MODEL-D-ELEVACIONS-DEL-TERRENY-DE-2x2-M)>
- (11) 11 GRAFO – DATOS DE INFRAESTRUCTURAS TERRESTRES DE CATALUNYA  
[http://territori.gencat.cat/es/01\\_departament/12\\_cartografia\\_i\\_toponimia/bases\\_cartografiques/infraestructures\\_mobilitat/infraestructures\\_terrestres/graf\\_infraestructures\\_terrestres/](http://territori.gencat.cat/es/01_departament/12_cartografia_i_toponimia/bases_cartografiques/infraestructures_mobilitat/infraestructures_terrestres/graf_infraestructures_terrestres/)

## DIGITALIZACIÓN DE LA SUBESTACIÓN DEL EMBALSE DE BELESAR

Abellán-Alemán, José María<sup>a</sup>; Vázquez-Rodríguez, José Antonio<sup>b</sup>; Miquel-López, José Carlos<sup>c</sup>; Cano-Alderete, Amparo<sup>d</sup>; Perales-Portillo, Germán<sup>e</sup>; Martínez-García, Pedro Antonio<sup>f</sup>; Buendía-Peláez, Juan Ignacio<sup>g</sup>; Sánchez-Juncal, Evelio<sup>h</sup>; Carballo-Solla, Rogelio<sup>i</sup>

<sup>a</sup>Arquitecto, BiMMate, [jm.abellan@BiMMate.com](mailto:jm.abellan@BiMMate.com); <sup>b</sup>Dr. Arquitecto, UdC, [jose.vazquez@udc.es](mailto:jose.vazquez@udc.es); <sup>c</sup>Arquitecto, BiMMate, [jc.miquel@BiMMate.com](mailto:jc.miquel@BiMMate.com); <sup>d</sup>Arquitecta, BiMMate, [a.cano@BiMMate.com](mailto:a.cano@BiMMate.com); <sup>e</sup>Arquitecto, BiMMate, [g.perales@BiMMate.es](mailto:g.perales@BiMMate.es); <sup>f</sup>Arquitecto, BiMMate, [asac1220@gmail.com](mailto:asac1220@gmail.com); <sup>g</sup>Arquitecto técnico, BiMMate, [ignaciobuendia@gmail.com](mailto:ignaciobuendia@gmail.com); <sup>h</sup>Arquitecto, ediliciaBIM, [evelio@ediliciabim.com](mailto:evelio@ediliciabim.com); <sup>i</sup>Arquitecto, ediliciaBIM, [rogelio@ediliciabim.com](mailto:rogelio@ediliciabim.com);

**Abstract**

Among the publications on BIM there are few references to real experiences of digitalization where the work done is debriefed exposing the problems found and the solutions adopted, where in addition several modelling platforms are used and the theoretical concepts on BIM methodology are applied; that is to say, few success stories share the procedure followed step by step and each of the documents generated, which is equivalent to delivering the know-how acquired during years of practice.

This is precisely what was developed at the workshop on the digitalization of the Belesar reservoir in Lugo organized by the Associations of Architects of the Northern Spain under the auspices of a subsidy from the Ministry of Transport, Mobility and Urban Agenda managed by the CSCAE, an opportunity to transmit to other professionals the knowledge that a team of 9 professionals has acquired over more than a decade of applying the BIM methodology, from planning the work and drafting the key documents, to preparing the deliverables.

**Keywords:** *Digitization, Dam, Reservoir, Belesar, Methodology, Knowledge.*

**Resumen**

Entre las publicaciones sobre BIM hay pocas referencias a experiencias reales de digitalización donde se desgrane el trabajo realizado exponiendo la problemática encontrada y las soluciones adoptadas, donde además se empleen varias plataformas de modelado y se apliquen los conceptos teóricos sobre metodología BIM; es decir, pocos casos de éxito comparten paso a paso el procedimiento seguido y cada uno de los documentos generados, lo que equivale a entregar el know-how adquirido durante años de ejercicio.

Eso es justamente lo que se ha desarrollado en el taller sobre la digitalización del embalse de Belesar en Lugo organizado por los Colegios de Arquitectos del arco norte de España al amparo de la subvención del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana gestionada por el CSCAE, una oportunidad de transmitir a otros profesionales el conocimiento que un equipo de 9 profesionales ha adquirido durante más de una década de aplicación de la metodología BIM, desde la planificación de los trabajos y la redacción de los documentos clave, hasta la preparación de los entregables.

**Palabras clave:** *Digitalización, Presa, Embalse, Belesar, Metodología, Conocimiento.*

## Introducción

Existe en la actualidad una innumerable cantidad de documentos teóricos sobre BIM: guías, manuales de usuario de utilización de software, blogs y vídeos sobre resolución de problemas concretos, plantillas, etc., y una grave carencia: la aplicación práctica de la metodología BIM a un activo concreto, quizá porque ello supone exponer y compartir el know-how de una empresa o un equipo de profesionales que se atesora a lo largo de años de ejercicio de la profesión. La presente comunicación tiene por objeto exponer, precisamente, las estrategias y procedimientos utilizados por los profesionales que han intervenido en la digitalización de la subestación del embalse de Belesar, en Lugo.

Fruto del acuerdo entre el Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España y el Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, los diferentes Colegios de Arquitectos del territorio nacional han recibido subvenciones para el desarrollo de actividades formativas y de difusión de la metodología BIM entre los arquitectos. Algunos de estos colegios se han unido para desarrollar una iniciativa común que trasciende la segregación regional tradicional y permite intercambiar conocimientos y experiencias entre territorios. Es el caso del Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia, que, junto con sus homólogos de Asturias, Aragón, Castilla y León Este, Ciudad Autónoma de Ceuta, La Rioja, Ciudad Autónoma de Melilla, León, Murcia y Vasco-Navarro, ha liderado la propuesta de realización de un taller para la digitalización de un edificio representativo integrado en el registro del DOCOMOMO ibérico, que destaca, además, por las características físicas de su entorno, lo que ha permitido extender el trabajo desarrollado el modelado del terreno y de la presa. Se trata de un trabajo colaborativo donde un equipo de nueve profesionales con más de diez años de experiencia ha digitalizado la subestación del embalse de Belesar, en Chantada (Lugo), utilizando metodología BIM, desde la fase de planificación y toma de datos hasta el modelado de instalaciones, incidiendo en el valor de la colaboración entre equipos y sistemas. Con el objetivo de compartir todo el trabajo realizado con los alumnos participantes en el taller.

El equipo ha desarrollado sus tareas desde la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de A Coruña y desde la sede del Colegio Oficial de Arquitectos de Murcia, desde el 10/02/2020 hasta el 21/02/2020, quedando todo el proceso convenientemente documentado y transmitida su evolución diaria mediante sesiones online a los alumnos que han seguido el taller a través de la plataforma de formación dispuesta a tal efecto.

### 1. Estrategia y planificación

Antes del comienzo de cualquier trabajo profesional se impone, necesariamente, una fase de definición de la estrategia y de planificación de los trabajos, que se conoce también como primera dimensión del BIM.

Es en ese preciso instante cuando debe establecerse el Plan de Ejecución BIM del Proyecto (Naticchia, 2020), en adelante PEBP, documento maestro que regula todos los aspectos de la implementación BIM en un proyecto y que debe entenderse como una fuente de información en continua evolución. Para la ocasión se ha utilizado la guía para la redacción de dicho plan propuesta por la comisión ES.BIM española (Jimenez, 2018), aunque incidiendo, sobre todo, en la nomenclatura de toda la información que se ha de generar (Vázquez, 2020).

Una de las primeras tareas en la planificación de un trabajo profesional con aplicación de la metodología BIM es el establecimiento del Entorno Común de Datos, en adelante CDE (Radl, 2019). Si bien hoy es ya frecuente entender este entorno como un servicio web que lo hace universalmente disponible, se ha optado por desplegar una solución convencional de carpetas compartidas en un servidor físico que se controla por los directores del proyecto, y al que pueden conectarse los participantes mediante una red privada virtual. El motivo es que esta solución es fácilmente escalable, se dispone del control absoluto de los datos compartidos, lo que permite establecer convenientemente los permisos de acceso de los usuarios, y se trata de un sistema muy adecuado para administraciones públicas que no pierden el control sobre los datos ni requiere cesiones a terceros.

Un punto clave de la planificación inicial es la definición de los equipos, tareas y herramientas de software utilizadas para el desarrollo de los trabajos, y su establecimiento en el PBEP. Para la ocasión se ha creado un equipo formado por nueve profesionales provenientes de diferentes empresas, organizado de acuerdo con lo indicado en la Tabla 1. También se ha acordado emplear el formato IFC en su versión 2x3 para el intercambio de información entre diferentes plataformas.

Tabla 1. Organización de equipos y tareas. Fuente: Elaboración propia (2020)

Equipo 0	Toma de datos	CloudCompare Autodesk Recap
Equipo 1	Desarrollo de modelo del edificio de control	Autodesk Revit
Equipo 2	Desarrollo de modelo de presa	Graphisoft Archicad
Equipo 3	Desarrollo de modelo de torre de toma	Nemetscheck Allplan
Equipo 4	Desarrollo de modelos de emplazamiento y modelos infográficos	Autodesk Revit Lumion
Equipo 5	Fabricación digital	Rhinoceros + Grasshopper Vcarve Slicer for fusión Cura
Equipo 6	Supervisión y control	Trello Slack Autodesk Revit Autodesk Navisworks BIMcollab zoom

Al modelar un territorio muy amplio (9 kilómetros cuadrados) con cuatro activos muy bien diferenciados (el entorno, la presa, el edificio de tomas y el edificio de control), resulta clave la estrategia de organización y fragmentación de modelos. Como norma general, el criterio que se aplica es el de evitar al máximo la concurrencia, lo que permite esquivar el problema del acceso simultáneo al mismo archivo en entornos WINDOWS:

Se definen los siguientes modelos parciales:

- 9 modelos de 1 km<sup>2</sup> cada uno organizados en una retícula de 3x3 para el emplazamiento desarrollados con AUTODESK REVIT y las herramientas de emplazamiento (Abellán, 2018) de BIMMATE más un modelo para los edificios de los 9 sectores.
- Varios modelos para el edificio de control en REVIT
- Modelo del edificio de tomas en NEMETSCHKEK ALLPLAN.
- Modelo de la presa en GRAPHISOFT ARCHICAD.

En el caso de REVIT se opta por organizar el modelo en los siguientes archivos:

- Modelos de referencias individualizados para niveles, para alineaciones y para ejes, de modo que sus elementos puedan supervisarse en los modelos en que se requieran sin duplicar ninguno de ellos. Esto permitirá una gestión organizada de cambios que, si bien no es de especial utilidad en la digitalización de un activo existente, sí que suponen una indudable ventaja en el desarrollo de proyectos de nueva construcción por la facilidad en la gestión de cambios que implican.
- Modelos de estructura para cimentación y para superestructura.
- Modelos de arquitectura para envolvente, para particiones y para equipamiento. Algunos de los elementos del modelo de envolvente comparten función de cerramiento y estructural por lo que deben incluirse, también, en los modelos de estructura que corresponda. La solución aquí, para evitar la duplicidad de elementos y mantener coordinados los elementos de los diferentes modelos, vuelve a ser la supervisión y mapeado de elementos (un muro estructural en un modelo de estructura se copia y supervisa en el modelo de envolvente a un tipo distinto que incorpora ya capas de revestimiento).
- Modelos para superficies útiles y construidas: modelo de habitaciones y modelo de áreas que permiten obtener los cuadros de superficie que se necesita incorporar en los planos del modelo federado de documentación 2D.

- Modelos para instalaciones organizados por disciplina.

La existencia de modelos parciales implica la generación y utilización de modelos federados para la supervisión del conjunto y la creación de documentación coherente:

- Se establece un primer modelo federado de coordinación basado en el formato IFC, para lo que se utilizará la herramienta BIMCOLLAB ZOOM en aras de supervisar la calidad de cada modelo y la información que éstos contienen.
- Se opta por utilizar REVIT como herramienta de preparación de la documentación 2D, uno de los usos BIM recogidos en el PBEP, lo que implica que exista un modelo federado de conjunto para dicho fin.
- Como consecuencia de lo anterior, se decide crear un tercer modelo federado de coordinación en REVIT especializado en coordinar y chequear la coherencia entre todos los modelos parciales de las diferentes plataformas, lo que permite trabajar sin interferir en la creación de documentación 2D.
- Por último, se crea modelo federado de coordinación para AUTODESK NAVISWORK especializado en la detección de colisiones.

Una vez definida la estrategia y redactado inicialmente el PBEP, los miembros del equipo 0 se encargaron de documentar el estado actual del activo mediante las siguientes actividades:

- Búsqueda de documentación histórica del activo.
- Estacionamiento topográfico para posterior georreferenciación de toma de datos.
- Vuelo de dron con generación de vídeos y fotografías conforme al plan de vuelo establecido.
- Escaneado láser de los interiores del edificio de control.
- Documentación fotográfica y de vídeos de todos los aspectos y detalles del activo.



Fig. 1. Imagen aérea del activo y su entorno. Fuente: Elaboración propia (2020).

## 2.Preparación del entorno de trabajo

Habitualmente se denomina a esta tarea segunda dimensión del BIM (Abellán-Alemán, 2018), aunque es frecuente confundirla con la extracción de entregables 2D desde el modelo tridimensional.

Una de las primeras tareas a desarrollar en esta fase es el volcado de los datos recopilados durante la inspección del activo al Entorno Común de Datos, que, pese a parecer una tarea trivial, implica el renombrado de archivos conforme al criterio de nomenclatura descrito en el PBEP.

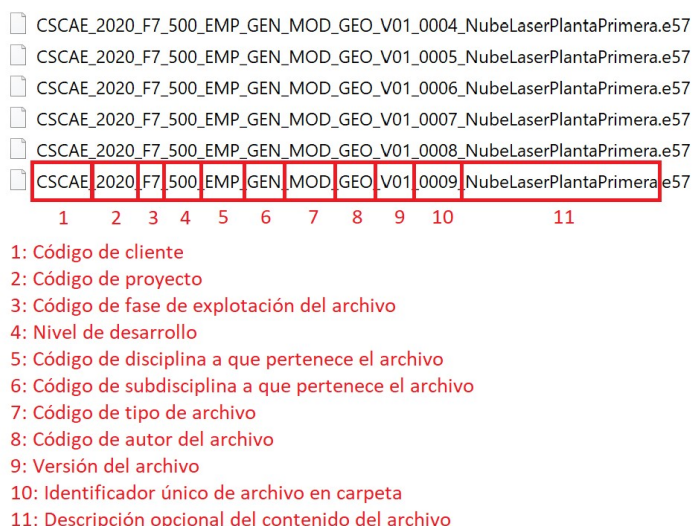


Fig. 2. Criterio de nomenclatura para archivos. Fuente: Elaboración propia (2020).

La preparación de las plantillas de trabajo es otra de las tareas esenciales previas al comienzo de los trabajos de modelado, especialmente en el caso de REVIT. Por lo que se procede a preparar un archivo base, totalmente limpio de parámetros compartidos, sin materiales ni elementos superfluos, donde todas las familias del sistema se han renombrado conforme al criterio de nomenclatura establecido en el PBEP, y donde se ha procedido a georreferenciar el archivo y se han vinculado los modelos de referencias que habrán de utilizarse (niveles, alineaciones y ejes). Además, es crítico en el caso de Autodesk® Revit™ que los diferentes modelos compartan sistema de coordenadas, lo que se hace adquiriéndolas desde el mismo modelo que siempre se carga como vínculo: el modelo de niveles.

La creación de materiales es también una tarea de la segunda dimensión del BIM y conviene acometerla desde etapas tempranas, aunque permanece en ejecución hasta la misma finalización del proceso, pues continuamente se requieren nuevos materiales que inicialmente no se hubieran contemplado. En el caso de ARCHICAD y ALLPLAN los materiales se definen en el proyecto BIM único, en tanto que en el caso de REVIT, por su fragmentación física en modelos vinculados, conviene almacenarlos en un archivo-biblioteca para que siempre se cuente con ellos sea cual fuere el modelo en el que se trabaje. En el PBEP se ha definido la nomenclatura para los materiales, para los activos de los materiales y para las texturas que usan los activos de aspecto de los materiales.

Otra de las tareas críticas de la segunda dimensión del BIM, y una de las más problemáticas, son las pruebas de interoperabilidad. En efecto, cuando sólo se trabaja con una única plataforma de modelado, como mucho se exporta al final a IFC para cumplir con los eventuales requisitos para los entregables, pero, en la digitalización de la subestación de la presa de Belesar, la interoperabilidad constituyó una exigencia crítica de los trabajos por las plataformas de modelado involucradas. Las conclusiones que hemos extraído de estos flujos son las siguientes:

- Tras la creación de las plantillas de proyecto debe generarse un volumen prismático en todas las plataformas de modelado en diferentes coordenadas y comprobar que la exportación a IFC es correcta (revisando las posiciones de los elementos IFC). Puede usarse el modelo federado de coordinación de BIMCOLLAB ZOOM para ello.
- En el caso concreto de la interoperabilidad entre REVIT y ARCHICAD (en nuestro caso Archicad>IFC>Revit), lo mejor es que el punto de reconocimiento de REVIT tenga una coordenada Z igual a cero, aunque el punto base puede tener las coordenadas que se deseen. En ARCHICAD, el nivel de la cota cero de proyecto se inserta en REVIT en la cota Z del punto de reconocimiento, independientemente de la configuración que se plantee en la cota Z del Survey Point de ARCHICAD. Si se asigna una coordenada Z al punto de reconocimiento del proyecto en REVIT igual a la del punto base, por ejemplo, el modelo IFC de ARCHICAD se insertará a dicha cota, con lo que la geometría resultante estará Z metros por encima de la cota Z.

- En el caso concreto de la interoperabilidad entre REVIT y ALLPLAN (en nuestro caso Allplan>IFC>Revit), la única precaución necesaria ha sido la de contemplar en cada exportación a IFC la necesidad de indicar el desplazamiento de coordenadas considerado en el modelo de REVIT. Cuestión al margen es el reconocimiento por parte de REVIT de la totalidad de los elementos nativos de ALLPLAN una vez exportados a IFC; a pesar de la aceptación y reconocimiento general de los elementos, en el caso concreto de la generación del modelo de habitaciones, el reconocimiento de elementos de cierre de las mismas no funcionó adecuadamente por lo que se recurrió al cierre de las habitaciones en las uniones de los elementos muro cortina con elementos pilares.

Otra tarea importante de la segunda dimensión del BIM es establecer los canales de comunicación entre los miembros de los equipos, algo de especial importancia cuando se trabaja de manera remota. En este caso se ha optado por dos herramientas para las comunicaciones y la planificación: SLACK y TRELLO:

- SLACK ha sido el medio de comunicación principal, por su capacidad de organizar los temas por canales y la posibilidad de agrupar mensajes por hilos. Como norma general se evitan los mensajes privados. Una clave importante que proporciona SLACK es la trazabilidad en las comunicaciones, por lo que se prohibió, expresamente, cualquier otro medio de comunicación como correos electrónicos o conversaciones telefónicas. Dentro de los canales establecidos, el canal #08\_leanbim ha sido una buena iniciativa, porque en él cada uno de los miembros del equipo ha podido incluir las propuestas de mejora de los flujos de trabajo, que serán cuidadosamente analizadas en el futuro.
- TRELLO ha sido el sistema de planificación y control de progreso del proyecto, una herramienta basada en el método KANBAN que permite, de un vistazo, conocer el estado de desarrollo. La organización en listas permite definir tareas, establecer las que están en curso, terminadas o anuladas, o, simplemente, mostrar el avance gráfico del proyecto. Dentro de las listas que se han establecido, la de consultoría ha sido una interesante aportación, porque en ella se han documentado las horas de dedicación de cada miembro de los equipos a cada una de las tareas, lo que permitirá extraer conclusiones sobre costos de desarrollo de modelos BIM tras su estudio detallado.

### 3. Técnicas de modelado

El modelado tridimensional configura lo que se conoce como tercera dimensión del BIM, siendo la dimensión más importante porque sirve de base o soporte al resto de dimensiones de los modelos.

#### 3.1. Revit

Todos y cada uno de los modelos que configuran tanto el emplazamiento como el edificio de control, cuentan con sus niveles monitorizados desde el archivo maestro de referencias específico, de modo que cualquier cambio se ejecuta una única vez en el archivo maestro de niveles, resolviendo las alertas de coordinación para cada uno de los archivos.

Al fragmentarse el modelado del activo en diferentes modelos organizados por disciplina (envolvente, particiones, estructura, etc.) suele ocurrir que algunos elementos deben estar presentes en varios de ellos. En estos casos se decide cuál es la disciplina que mejor representa la función de dicho elemento y se incluye originalmente en el modelo de dicha disciplina; a partir de ahí se copia y supervisa en el resto de los modelos aplicando, cuando proceda, un mapeado de tipos.

Se han creado modelos específicos como contenedores de las nubes de puntos en lugar de consumir éstas directamente en los modelos por disciplina en que son necesarias, al objeto de tener un control absoluto en los modelos federado de base REVIT.

La definición de la compleja escalera principal del edificio de control permitió mostrar a los participantes en el taller las elevadas capacidades de modelado paramétrico dentro del entorno de familias de REVIT



tomando como base la nube de puntos interior. Por otra parte, los componentes del equipo desgranaron a los alumnos los procedimientos y estrategias óptimas para la consecución de la envolvente del edificio, utilizando las posibilidades de personalización de la familia de muros cortina.

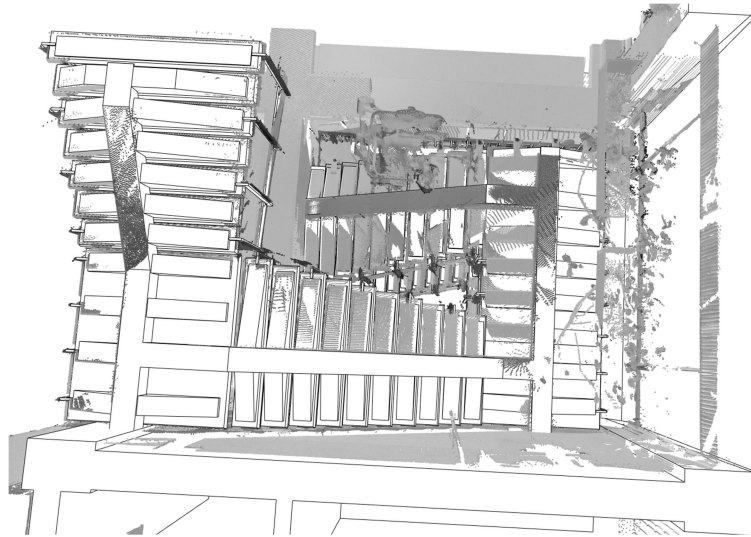


Fig. 3. Modelado de la escalera principal en Revit. Fuente: Elaboración propia (2020).

### 3.2. Archicad

ARCHICAD ha sido utilizado, en las etapas iniciales de modelado, como herramienta de chequeo del correcto geoposicionamiento de las nubes de puntos y de comprobación de coherencia entre todas ellas, pues se ha contado con hasta cuatro archivos de nubes, una procedente de fotogrametría exterior con vuelo de drones, y otras tres procedentes del escaneado láser interior de cada uno de los niveles del edificio de control.

Posteriormente se utilizó, para el modelado de la presa, la nube fotogramétrica junto con la planimetría recopilada en las labores bibliográficas. La reconstrucción de los volúmenes de la presa se realizó en dos partes:

- Sus extremos y coronación se recrearon con las herramientas de modelado básico de ARCHICAD al tratarse de primitivas simples.
- La geometría de la presa requirió de un planteamiento más complejo, siendo necesario definir las superficies no equidistantes del intradós y del extradós de la bóveda parabólica de la presa a través de una serie de secciones horizontales separadas 10 metros que reproducen las existentes en la planimetría previa.
- Una vez generadas estas secciones horizontales se trasladó su geometría al entorno integrado de ARCHICAD con RHINOCEROS y GRASSHOPPER, donde se definió un algoritmo gracias al cual se logró reproducir de forma fidedigna el volumen de la bóveda existente.

Los modelos IFC exportados desde ARCHICAD resultaron extraordinariamente pesados, con tiempos de procesado de hasta 20 minutos, debido al alto número de polígonos generados en el proceso. Se hicieron pruebas con formato IFC 2x3 e IFC 4, con geometría paramétrica y con superficies BREP, mostrando variaciones significativas en el número de polígonos, aunque no tanto en los tiempos de generación del archivo de intercambio. En base a estas consideraciones se decidió utilizar el formato IFC 2x3.

Se detectaron ciertos problemas de fidelidad al desaparecer entidades en REVIT que sí eran visibles en los visores IFC. También se perdió, en determinadas condiciones, la georreferenciación de los archivos IFC en visores IFC, por lo que fueron necesarias correcciones manuales puntuales de traslación sobre el modelo federado.

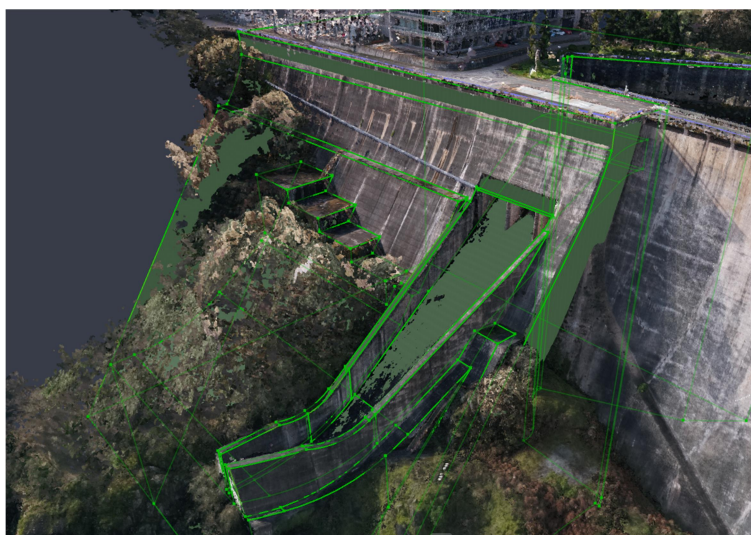


Fig. 4. Modelado de la presa en Archicad con superposición de nube de puntos fotogramétrica. Fuente: Elaboración propia (2020).

### 3.3. Allplan

ALLPLAN ha mostrado importantes limitaciones para la gestión y manejo de información nativa de nubes de puntos ya que la utilización de las mismas requiere de *plugins* de terceros o de la conversión de éstas a formatos procesables (tipo DXF). La solución finalmente adoptada como operativa fue la de gestionar la nube de puntos fotogramétrica con software específico, en este caso la solución de código abierto CLOUD COMPARE utilizada para visualizar y recortar el gran volumen de datos de la nube de puntos de partida y generar secciones manejables en ALLPLAN previa exportación al formato DXF.

Las secciones de la nube de puntos recibidas, insertadas como archivos independientes de ALLPLAN, han servido de referencia directa para la elaboración de la geometría del edificio de torre de toma, si bien la densidad de información ha obligado a un intenso apoyo en la documentación gráfica obtenida durante la fase de toma de datos.

Una de las primeras dificultades del manejo de ALLPLAN desde el punto de vista de la interoperabilidad ha sido la de gestionar los diferentes conceptos con los que trabajan las otras plataformas de modelado. La inexistencia de una traducción directa de la estructura de archivos y capas de ALLPLAN a REVIT, ha determinado que se haya optado por la asimilación de la estructura de archivos de ALLPLAN a los requisitos de división de modelos planteada en el PBEP. Esto ha permitido generar, desde un único proyecto de ALLPLAN, la totalidad de modelos IFC requeridos.

En general, una de las características de ALLPLAN que más ha llamado la atención es su capacidad para disociar creación de geometría y características de elementos constructivos, de modo que las mismas herramientas de creación geométrica sirven para crear diferentes categorías de elementos, pudiendo elegirse qué información se incrusta en el elemento resultante.

## 4. Supervisión de modelos y control de calidad

Cuando se fragmenta un proyecto BIM en diferentes modelos, lo cual puede requerirse por la extensión del activo o por la utilización de diferentes plataformas de modelado, aparece necesariamente la figura de la federación (Pärn, 2017). En general son raros los casos en que puede hablarse de modelo BIM único en un proyecto, incluso en los más pequeños, independientemente de la plataforma de software de modelado utilizada. En el caso de la digitalización de la subestación del embalse de Belesar, y tal y como se define en el PBEP, se han desarrollado varios modelos federados con diferentes propósitos, cada uno de los cuales ha requerido de su herramienta más adecuada:

- Para la supervisión de la calidad de los modelos de intercambio en formato IFC se ha creado un modelo federado con la herramienta BIMCOLLAB ZOOM. Esta herramienta ha permitido comprobar la nomenclatura de archivos, elementos BIM y materiales y su alineación a las prescripciones del PBEP. También se ha utilizado para verificar la información contenida en los elementos de los modelos. En general la supervisión de modelos IFC suele ser la más ágil.
- Para la detección de colisiones de instalaciones con elementos estructurales y particiones se ha creado un modelo federado en NAVISWORKS. Este modelo aprovecha el potente motor de *clash detection* de NAVISWORKS pudiendo extraerse completos informes de colisión.
- Para la preparación de la documentación 2D (planos) se ha creado un modelo federado específico utilizando la plataforma de REVIT, tal y como establece el PBEP. En general suele ser conveniente separar la documentación del modelado, lo que permite preparar ésta incluso en etapas tempranas sin interferencia con otros miembros del equipo.

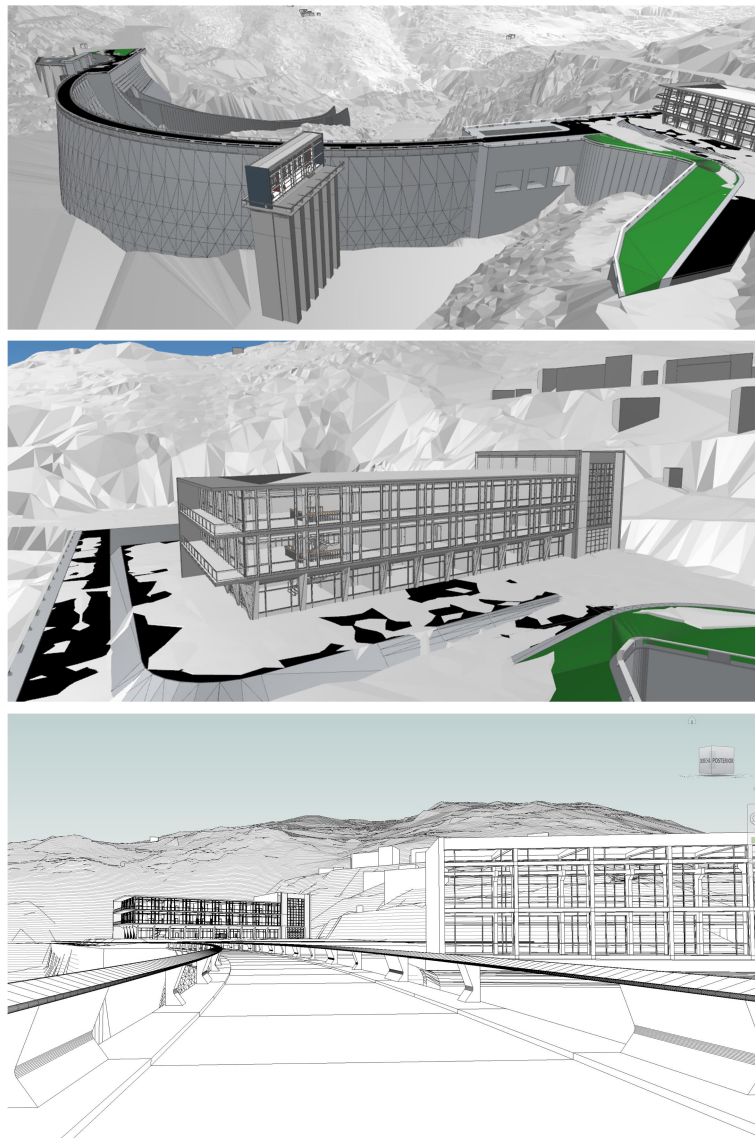


Fig. 5. Modelos federados en BIMcollab y en Revit. Fuente: Elaboración propia (2020)

Por otro lado, el modelo federado de REVIT para preparación de la documentación 2D requiere de niveles, alineaciones y ejes exactamente igual que cualquier otro modelo, por lo que se procederá de manera análoga a como se ha explicado con anterioridad. Como curiosidad, si en el mismo modelo federado se han de representar planos arquitectónicos y planos estructurales, un mismo nivel debe supervisarse con dos cotas diferentes (cota de suelo terminado y cota de

cara superior de forjado), lo que no es posible solucionar en REVIT; para estos casos puede supervisarse sin desfase el nivel maestro de suelo terminado desde el modelo vinculado de niveles, y, una vez hecho, copiar y supervisarse éste desde el mismo modelo pero con desfase negativo igual al espesor del solado.

- Por último, se ha creado un último modelo federado para coordinación, con el mismo propósito que el modelo federado de BIMCOLLAB, pero orientado a la plataforma de REVIT. El motivo es poder detectar las incidencias en la coordinación sin interferir con la preparación de planos, aunque dependiendo del tamaño del proyecto y la cantidad de documentación a elaborar, este modelo puede llegar a ser prescindible.

Un caso aparte en la federación de modelos lo constituyen los modelos de realidad virtual y/o realidad aumentada. Para este proyecto se ha desarrollado también un modelo de realidad virtual en LUMION. Estos modelos, aunque pueden utilizarse para la coordinación gracias especialmente a los avances en la sincronización en tiempo real que aportan sus plugins de conexión con las herramientas de modelado, se utilizan habitualmente para la comunicación visual con el cliente y personal no técnico.



Fig. 6. Modelo de RV/RA en Lumion. Fuente: Elaboración propia (2020)

## 5. Conclusiones

La comunicación recoge la actividad realizada por un equipo de nueve profesionales a lo largo de diez intensas jornadas de trabajo para la digitalización de un activo existente. Tal y como estaba previsto desde el inicio de los trabajos, toda la documentación integrada en el CDE ha sido compartida con los alumnos participantes en el taller, adicionalmente a los resúmenes diarios y prácticas propuestas a los alumnos, una vez finalizado el taller se realizó una sesión online para explicar su contenido y extensión al objeto de facilitar la adquisición de conocimientos y estrategias a los más de 200 alumnos participantes en la iniciativa.

Si bien el taller finalizó en febrero de 2020, el equipo sigue planteándose retos, en primer lugar, se está desarrollando un script de llenado y vaciado del embalse, en segundo lugar, se trabaja sobre los escenarios de LUMION incorporando diversas mejoras y actualizaciones, y por último se está procediendo a la fabricación del modelo a escala con la maquinaria de control numérico disponible en el Laboratorio de Fabricación Digital de la Escuela de Arquitectura de A Coruña.

Queremos agradecer a las empresas colaboradoras, Naturgy, Geomati-K, MydroneFactory, BiMMate, Lumion, así como a todas aquellas desarrolladoras de las herramientas de modelado y visualización utilizadas por el equipo. Al Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, al Consejo Superior de Arquitectos de España y al Colegio Oficial de Arquitectos de Galicia por la oportunidad y apoyo para el desarrollo de la actividad, Por último, a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad de A Coruña y al Colegio Oficial de Arquitectos de Murcia por las facilidades para realizar en sus sedes el trabajo del equipo.

## Referencias

ABELLÁN-ALEMÁN, J. (2018). "Las D del BIM: integración del modelo en la documentación del proyecto." Consejo Andaluz de Colegios de Arquitectos.

<<https://www.cacoa.es/actualidad/documentacion-lectiva-del-curso-fundamentos-de-bim/#tema11>> [Consulta: 17 de abril de 2020]

ABELLÁN-ALEMÁN, J. (2018). "Geolocalización y generación automática de emplazamientos a través de servicios y datos de plataformas gubernamentales mediante la API de Autodesk® Revit™" En: *Experiencias reales con BIM. EUBIM 2018 BIM international conference*. Valencia: Editorial Universitat Politècnica de València. pp. 226-235

JIMÉNEZ-ABÓS, P. a. (2018). "Guía para la elaboración del plan de ejecución BIM" Comisión es.BIM.

<<https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2018/10/GUIA-ELABORACION-PLAN-DE-EJECUCION-BIM.>> [Consulta: 17 de abril de 2020]

NATICCHIA, B., et al. (2020). "Framework based on building information modeling, mixed reality, and a cloud platform to support information flow in facility management." *Volume 7. Frontiers of engineering management*. pp 131-141

<<http://dx.doi.org/10.1007/s42524-019-0071-y>> [Consulta: 17 de abril de 2020]

PÄRN, E., EDWARDS, D., & SING, M. (2017). "Origins and probabilities of MEP and structural design clashes within a federated BIM model" *Automation in Construction*. *Volume 85*. pp. 209-219.

< <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.010>> [Consulta: 17 de abril de 2020]

RADL, J., & KAISER, J. (2019). "Benefits of Implementation of Common Data Environment (CDE) into Construction Projects". En: *IOP Conference Series: Materials, Science and Engineering*. *Volume 471, Issue 2*.

<<http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/471/2/022021>> [Consulta: 17 de abril de 2020]

VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, J., & ABELLÁN-ALEMÁN, J. (2020). Plan de Ejecución BIM del Proyecto. Disponible en:

<[https://drive.google.com/file/d/1wxofruIs2OVJbxy\\_Cm-3Y5EICKUnEKA8/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1wxofruIs2OVJbxy_Cm-3Y5EICKUnEKA8/view?usp=sharing)> [Consulta: 17 de abril de 2020]

## KUBIK, LA CONSTRUCCIÓN DE UN “DIGITAL TWIN” MEDIANTE METODOLOGÍA BIM

San Mateos-Carreton, Rosa<sup>a</sup>; Varela-Acevedo, Agustín<sup>b</sup>, Maiza-Anton, Iñaki<sup>c</sup>; Olaizola-Martija, José Manuel<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Ingeniera Industrial-Tecnóloga Senior-TECNALIA Basque Research and Technology Alliance (BRTA) [rosa.sanmateos@tecnalia.com](mailto:rosa.sanmateos@tecnalia.com) <sup>b</sup>Arquitecto-Jefe de proyectos en Berrilanbim [avarela@berrilanbim.com](mailto:avarela@berrilanbim.com)

<sup>c</sup>Ingeniero técnico industrial-CEO de Berrilanbim [imaiza@berrilanbim.com](mailto:imaiza@berrilanbim.com) <sup>d</sup>Ingeniero Informático-Project Manager-TECNALIA Basque Research and Technology Alliance (BRTA) [josemanuel.olaizola@tecnalia.com](mailto:josemanuel.olaizola@tecnalia.com)

### Abstract

*The “KUBIK DIGITAL TWIN” building is considered one of the world's first buildings as a DIGITAL TWIN, in which a virtual model with the use of 10D was developed, that is, a virtual model for the generation, integration and management of geometric information and semantics, allowing real-time iteration of the data flow between the virtual model and the building. The process developed has been an important challenge, both for the functionality and complexity of the facilities that make up the building itself, and for the type and amount of information to be integrated into the model. It has been necessary a previous process of debugging the existing documentation to generate a DIGITAL TWIN with the hypersensitized facilities from the treatment of a cloud of points and existing planimetric information. The model incorporates specific parametric objects, with the aim of creating links that allow the centralization of information and its connection in real time with the SCADA control and verification parameters. The result obtained allows the optimal management of the building as an experimental infrastructure of energy-smart systems, the centralization of information for the operation and maintenance work and access to real-time information of its users.*

**Keywords:** DIGITAL TWIN, coordination, 10D, IoT, generation, point cloud, parametric characterization

### Resumen

*El edificio “KUBIK DIGITAL TWIN” es considerado uno de los primeros edificios del mundo como GEMELO DIGITAL, en el que se ha desarrollado un modelo virtual con el uso 10D, es decir una maqueta virtual para la generación, integración y gestión de la información geométrica y semántica, permitiendo la iteración en tiempo real del flujo de datos entre el modelo virtual y el edificio. El proceso desarrollado ha sido un importante desafío, tanto por la funcionalidad y complejidad de las instalaciones que componen el propio edificio, como por el tipo y cantidad de información a integrar en el modelo. Ha sido necesario un proceso previo de depuración de la documentación existente para generar un GEMELO DIGITAL con las instalaciones hipersensitizadas a partir del tratamiento de una nube de puntos y de información planimétrica existente. El modelo incorpora objetos paramétricos específicos, con el objetivo de poder crear vínculos que permitan la centralización de la información y su conexión en tiempo real con los parámetros de control y verificación del SCADA. El resultado obtenido permite la gestión óptima del edificio como infraestructura experimental de sistemas energéticamente inteligentes, la centralización de la información para las labores de operación y mantenimiento y el acceso a la información en tiempo real de los usuarios del mismo.*

**Palabras clave:** DIGITAL TWIN, 10D, IoT, coordinación, generación, nube de puntos, caracterización paramétrica

## Introducción

La incorporación de tecnologías digitales en el Sector de la Construcción está permitiendo una transformación en la forma de diseñar, construir, rehabilitar y mantener los edificios. Uno de los desarrollos tecnológicos que hacen posible esta innovación son los Gemelos Digitales.

Los "Digital Twin" no son modelos estáticos, sino que son sistemas entre los que existe una iteración entre lo físico y lo digital en tiempo real. Esta tecnología vehicula nuevas posibilidades de gestión en los edificios, que permite una mejora en la eficiencia de la operación y mantenimiento de estos.

Por otro lado, cada vez son más las posibilidades de digitalizar el entorno construido, a partir de diferentes tecnologías como la incorporación de sensores, la IoT (Internet of Things), los análisis avanzados de información (IA) y la posibilidad de generación de modelos tridimensionales de visualización, a través de la metodología BIM. Todas estas nuevas tecnologías, hacen que los Gemelos Digitales que se pueden construir, tengan cada vez más capacidades y permitan dar solución a las necesidades de los clientes en diferentes ámbitos de interés, como por ejemplo: el mantenimiento, el ahorro energético, la gestión de activos, etc.

Tecnalia dispone de una infraestructura experimental desde hace más de 10 años, denominada KUBIK, donde se han llevado a cabo ensayos a escala real, para el desarrollo de nuevos conceptos, productos y sistemas, de envolventes activas y pasivas; y de instalaciones para el acondicionamiento térmico interior, orientadas a la mejora de la eficiencia térmica de los edificios, al confort y a la seguridad y salud de los usuarios.

Durante el último año, esta infraestructura experimental ha renacido como un "Digital Twin", actualizándose con la incorporación de las nuevas tendencias de digitalización aplicadas al sector de la construcción. Esto ha permitido que dicha infraestructura, además de mantener las funciones para las que originalmente se concibió, pueda también servir como laboratorio para el diseño y experimentación de nuevas soluciones digitales aplicadas, en una implantación real antes de comercializarse. Los Gemelos Digitales centralizan y pueden integrar grandes cantidades de la información y además facilitar una interacción dinámica del modelo virtual, con la realidad en tiempo real. Esto suministra a los operadores información actualizada para diagnosticar problemas remotamente y tomar decisiones. Además, la posibilidad de almacenar los datos y posteriormente ir aprendiendo de todos los eventos pasados, mejora la gestión de los edificios en ámbitos como el mantenimiento y operación.

El objetivo de este artículo es el de exponer la experiencia de la creación del modelo virtual 3D construido bajo la metodología BIM, base sobre el que se ha construido el "Digital Twin" de KUBIK, denominado KUBIK 4.0. Se describe tanto la generación geométrica de la maqueta virtual del edificio existente, como la parametrización de los elementos que lo componen. Esta conexión a través de los parámetros creados en los elementos de los modelos BIM, permiten la conexión en tiempo real con los registros de los sensores y los equipamientos de los sistemas de la instalación HVAC del edificio experimental.

## 2. Contextualización del Proyecto Kubik 4.0

### 2.1. Descripción de KUBIK

La infraestructura de KUBIK es compleja, no es un edificio convencional tanto desde el punto de vista constructivo como desde las instalaciones y desarrollos experimentales que alberga. Una de sus características principales es que es cambiante en el tiempo, ya que se incorporan continuamente nuevos desarrollos, tanto en el ámbito de las instalaciones como en los elementos de envolventes activas y pasivas y sensorética.

Las instalaciones del edificio están compuestas principalmente por los equipos de generación que se encuentran ubicados en sótano y los sistemas de distribución de aire y agua. Es una instalación que se encuentra hipersensorizada y está equipada con sondas de temperatura, caudalímetros, bombas, válvulas,

contadores, etc. El número de señales que hay que integrar solamente en el ámbito de las instalaciones y sensores asciende a la cantidad de 3400.

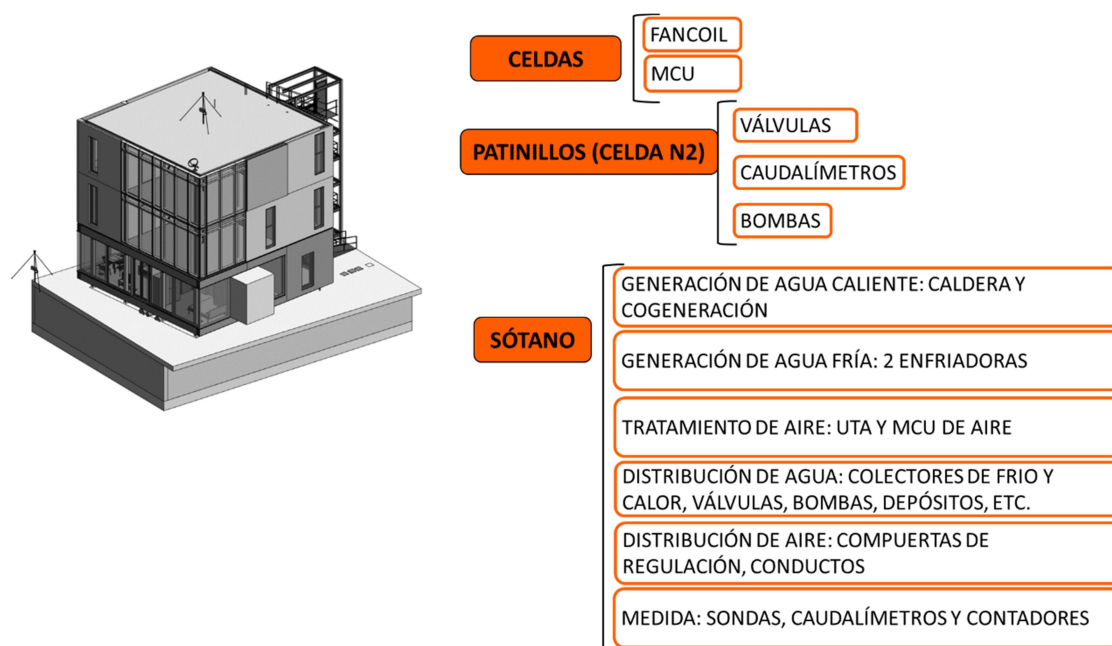


Fig. 1 Descripción de las instalaciones de KUBIK. Fuente: Elaboración Propia (2020)

La estructura del edificio está construida en base a perfilaría metálica tanto en pilares como vigas. Los muros de sótano están fabricados con hormigón de árido siderúrgico.

La arquitectura de KUBIK es totalmente configurable, es decir cada tramo de envolvente de la fachada es tipológicamente diferente y se pueden cambiar según las necesidades de validación de prototipos, ya sean muros cortina, fachadas con acabados de madera, elementos de fachada prefabricada, soluciones de envolventes activas, etc.

En lo que respecta al sistema de monitorización instalado en KUBIK, se pueden diferenciar varios tipos de sensores:

- sensores meteorológicos situados en la cubierta y jardín.
- sensores estructurales, que son los que se encuentran fijos en interior del edificio y aportan datos de Temperatura y Humedad.
- los sensores asociados a cada uno de los ensayos, que por término medio suponen del orden de 100 sensores por ensayo y obtienen datos de temperatura, humedad, flujo de calor, niveles de CO<sub>2</sub>, etc.
- sensores asociados a las instalaciones, como contadores térmicos, contadores de gas, contadores eléctricos, etc.

Este edificio está orientado a la investigación, por lo que tiene unas necesidades claras, de disponer de información en tiempo real de todos de los parámetros de evaluación de los experimentos, que en él se desarrollan. Además y dado su carácter experimental, es una plataforma donde poder probar y validar nuevas tecnologías, que provienen de otros sectores como el Industrial y trasladarlas al ámbito de la construcción en general y en el de la rehabilitación en particular. Por lo tanto, la generación de un “Digital Twin” de KUBIK ha sido clave para la mejora de la gestión de la infraestructura experimental, ya que se suministra el acceso en tiempo real, a todos los resultados de los experimentos que se llevan a cabo, desde cualquier lugar del mundo a través de un modelo que muestra la realidad de forma totalmente intuitiva. Este acceso se lleva a cabo en base a un visor web basado en IFC, en el que se ha vinculado toda los datos experimentales e información de los elementos del edificio.

Por otro lado, para la gestión experimental del KUBIK se dispone de un SCADA de control (Supervisory Control And Data Acquisition), tanto para el sistema de monitorización, producción y distribución de las



instalaciones, y que además permite el diseño de experimentos por parte de los investigadores. Esta plataforma segura, proporciona el control total de todas las infraestructuras, integrando todos los sistemas existentes en tiempo real, con el fin de supervisar y controlar las instalaciones, y facilitando que toda la información pueda estar disponible para todos los perfiles usuarios de la instalación.

Además, cuenta con un repositorio común, universal, clasificado con datos únicos y normalizado, que facilita una interoperabilidad entre las aplicaciones de gestión disponibles. Por otro lado, proporciona la conexión de investigadores y desarrolladores, a los ensayos que tienen implementados en Kubik, a través de nuevos elementos de recogida de datos API, QUERY o protocolos HTTP REST. Asimismo, el sistema está conectado con una infraestructura Hadoop (BIG DATA) en la que se albergan los datos serializados de la plataforma de control.

La infraestructura se encuentra equipada con numerosos sensores, dispositivos y sistemas de comunicación basados en nuevos desarrollos tecnológicos (Zwave y Lora), que permiten la obtención de múltiples datos. Esto ha permitido que en los últimos años KUBIK se haya convertido además, en una plataforma de validación de tecnologías de IoT. El número de dispositivos y tecnología de comunicación empleada para captar y comunicar la información, evoluciona basándose en los nuevos avances tecnológicos disponibles. Estos se incorporan paulatinamente en los experimentos en Kubik, según se van desarrollando innovaciones en este campo.

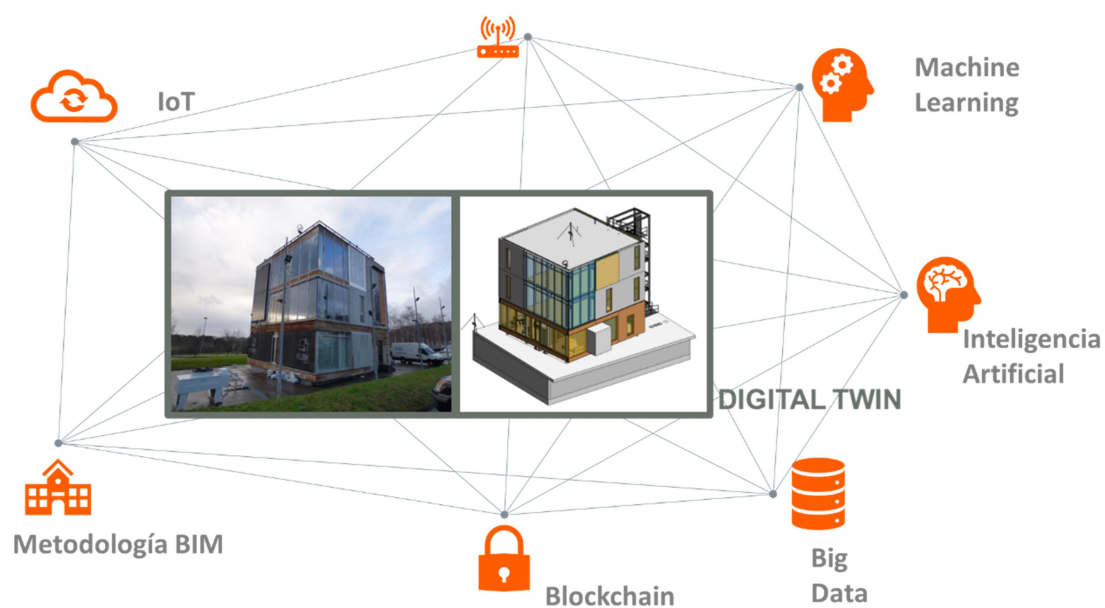


Fig. 2 Tecnologías que se integran en un GEMELO DIGITAL. Fuente: Elaboración Propia (2020)

Sin embargo todos estos desarrollos necesitan, para una interacción con la información de manera intuitiva y sencilla, un modelo geométrico completo. En este caso la metodología BIM aporta esta base fundamental, ya que además de la información geométrica tridimensional perfectamente entendible por las personas, aporta información semántica de los elementos modelados y, permite además su conexión con otro tipo de datos disponibles en el edificio, que no se encuentran inicialmente incluidos en el modelo generado bajo la metodología BIM.

Por lo tanto, la generación de un Gemelo Digital basado en metodología BIM, IoT y analítica de datos, facilita la centralización de toda la información asociada al edificio, en una plataforma de gestión, conectada con los sistemas y equipamiento. Esto hace que el gestor y usuario de la infraestructura tenga un acceso más sencillo e intuitivo para la operación, mantenimiento y uso como infraestructura experimental.

## 2.2. Importancia de la metodología BIM en la generación del Gemelo Digital

Una de las funcionalidades más novedosas del “Digital Twin” de KUBIK” es la interacción entre el modelo digital BIM y la captura automática de datos en tiempo real proveniente de los sistemas implementados en KUBIK HVAC y la sensorética implícita en cada uno de los ensayos y en el propio edificio.

Además, permite la centralización y análisis de toda esta información para la fase de operación y mantenimiento de la infraestructura experimental.

Por lo tanto, una de las necesidades clave del nuevo Gemelo Digital, es el acceso por parte de los investigadores y operadores del edificio, a los datos de los parámetros controlados tanto en tiempo real como al histórico de los mismos. El acceso a la información debe ser a través de cada uno de los elementos del modelo BIM, y por supuesto tiene que ser intuitiva y transparente .

Con respecto la información que incorporan los modelos BIM, hay ligeras discrepancias entre lo que significan las dimensiones del BIM, dependiendo de los autores que se consulten. En el caso de la definición que Building Smart aporta a la dimensión 6D, no se contempla todos los “usos BIM” que se requirieren en el Gemelo Digital, ya que además del uso como modelo “as built” (son los modelos donde se incorporan las actualizaciones que reflejan la adaptación de los modelos de Proyecto de Ejecución a los cambios pedidos durante el transcurso de la misma) y de inventario de equipos, hay que añadir, la necesidad de tener conectada la información en tiempo real. Por lo tanto, es inevitable hablar de dimensiones adicionales BIM.

En esta línea, en Latinoamérica (Mata, 2019), se comienza a hablar de la dimensión 10D que hace referencia a la construcción de modelos “as built” y la construcción de Gemelo Digital. Dada la complejidad de creación y desarrollo de los “Digital Twin” y los “usos BIM” identificados y futuros que se podrán implementar en él, se sugiere el uso de esta nueva dimensión 10D que aporta ese valor adicional con respecto a la dimensión 6D.

## 2.3. Requisitos de Proyecto

Si hacemos una simplificación muy básica, los edificios son en realidad un conjunto de elementos. Si esos elementos se modelan de acuerdo a la metodología BIM, disponemos de entidades geométricas que representan elementos constructivos y sistemas, que tienen asociada cierta semántica. La información que se les puede asignar es infinita, pero para que los modelos sean efectivos es necesario tener claro cuál es el objetivo que se quiere conseguir con el modelo y que necesidades tiene el “DIGITAL TWIN” que se quiere crear.

Para el caso de KUBIK se ha comenzado con la definición de cuáles son los requisitos de información que deben tener cada uno de los elementos constructivos, componentes de las instalaciones y sensores. Esto permite crear el modelo semántico de cada una de las entidades modeladas, es decir que parámetros tienen que tener asociados cada uno de ellos. En paralelo se establecen como son los requisitos de intercambio que especifican el contenido, la estructura y metodología del modelo de información del proyecto, que a su vez contribuye al modelo semántico del activo. Por lo tanto, se ha definido una estrategia de proyecto BIM, que es la base sobre la que se fundamenta la creación del “Digital Twin KUBIK 4.0”.

El modelo virtual debe tener unas características muy concretas, ya que tiene que permitir el acceso a diferentes usuarios a toda la información que en él se centraliza, que puede ser parcial o total, en función del rol que desempeñe en su relación con el “Digital Twin”. El modelo que se ha creado tiene que ser capaz de:

- Gestionar Información estática. La asociada a cada elemento, dimensiones, propiedades, fecha de compra, etc.
- Gestionar Información dinámica. La asociada a los módulos de IoT, como los consumos diarios, temperaturas, humedad relativa, medición de CO<sub>2</sub>, etc.

- Gestionar control de acceso a los elementos del modelo. Dado que se desarrollan varios experimentos, en muchos casos confidenciales, de forma simultánea, es necesario poder tramitar niveles de acceso a los diferentes elementos del modelo.
- Debe estar discretizado por disciplinas, ensayos y por sistemas de operación.

Además, se han establecido las normas y directrices en cuanto a la nomenclatura a seguir para poder gestionar el flujo de información en tiempo real.

Por otro lado, y con el objetivo de poder supervisar el acceso a la información, se ha diseñado como debe organizarse y descomponerse el modelo, para su gestión desde el punto de vista de los accesos a los elementos. Se han creado 4 modelos: el de arquitectura, el de estructura, el de instalaciones y otro de sensorética, donde se incluyen tanto los sensores estructurales como los meteorológicos y los asociados a los ensayos. Los dispositivos de control y monitorización vinculados a las instalaciones están incorporados en el modelo de instalaciones.

Otro aspecto clave, es el tamaño de los archivos de los modelos BIM. El hecho de que la plataforma de visualización e interacción con el modelo BIM sea web, supone que los modelos no deben ser muy grandes ya que el proceso de carga de los modelos debe ser rápido.

Los formatos de intercambio de información son siempre IFC para su revisión e interacción por parte de los investigadores. Y además, dado el espíritu open de las aplicaciones que se emplean en la interacción y manejo del Digital Twin, los archivos en los que se basan las aplicaciones web también son en IFC.

Dado que los elementos, instalaciones y sensores del edificio son cambiantes, el software para la actualización de los modelos de los nuevos desarrollos que se implementen en el edificio, debe ser compatible con el que se ha empleado para la generación inicial de los modelos.

#### 2.4. Documentación Disponible

Para la generación del modelo virtual se ha recopilado toda la información gráfica disponible del edificio en forma de planos "As-built" del proyecto de construcción de KUBIK. De las instalaciones únicamente se dispone de esquemas de diseño y de funcionamiento.

En el año 2016 se realizó una nube de puntos del edificio para comenzar a construir un modelo BIM de la Kubik, pero únicamente se elaboró un modelo de arquitectura y estructura en BIM.

Por otro lado, se dispone de una base de datos con todos los equipos, sistemas y elementos de monitorización existentes en KUBIK, que permite llevar a cabo los controles de calibración y de mantenimiento, además de incorporar los manuales de información asociada a los mismos. Hay que indicar que el equipamiento de sistemas de control se encuentra estandarizados en cuanto a los modelos de equipos (válvulas, bombas, caudalímetros, sensores de temperatura ,etc).

Finalmente hay que señalar que, coincidiendo con la generación del GEMELO DIGITAL, en el sótano de KUBIK, prácticamente se han duplicado las instalaciones, al coincidir con la implantación de un nuevo proyecto para la producción de frío solar y producción de calor solar térmica.

### 3. Proceso de Modelado

Para la creación de los modelos geométricos, la primera tarea consiste en la recopilación de toda la información de modelos BIM existentes, nube de puntos, documentación gráfica en forma de planos, croquis y esquemas de funcionamiento, etc.

Como la información no era suficiente para elaborar los modelos que constituyen del Gemelo Digital, se llevó a cabo un trabajo de documentación fotográfica de los elementos que forman parte de la instalación.

Una vez reunida e identificada la información técnica de los equipos, el siguiente paso fue buscar los elementos que formaban parte de las instalaciones y estuviesen en formato digital, y ver si la información gráfica y paramétrica se adaptaba a la realidad, a las necesidades de modelado y a las del Gemelo Digital.

Posteriormente y una vez obtenida la biblioteca de elementos (familias) inteligentes de los sistemas que forman parte de la instalación, se procedió a la creación de los parámetros descritos en el apartado anterior, que facilitan poder relacionar la información del modelo físico con el modelo virtual. Esto se emplea tanto para la gestión de la documentación asociada al mantenimiento, el control de permisos de acceso y la conexión con la información en tiempo real.

Con toda la información recopilada y analizada, se crea una plantilla de parámetros compartidos que permiten mapear los registros documentales y de datos de KUBIK con su Gemelo Digital.

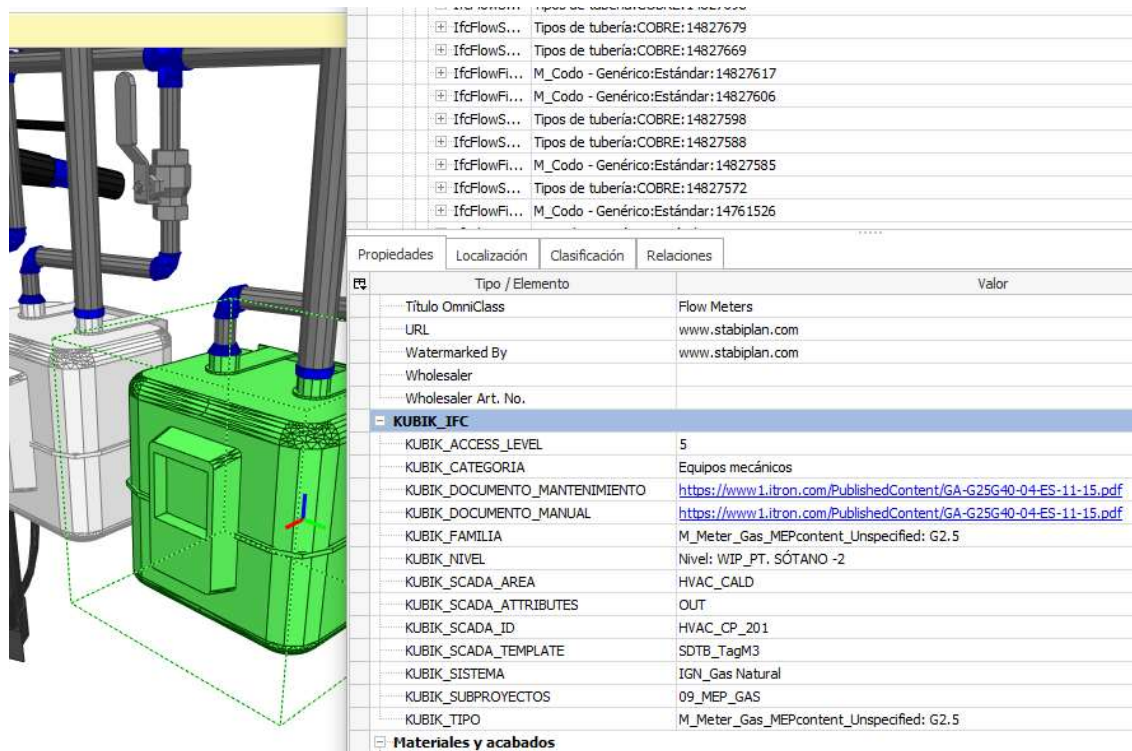


Fig. 3 Modelo semántico de Contador de Gad Natural. Fuente: Elaboración Propia (2020)

En base a los requerimientos expuestos en los apartados anteriores, los parámetros creados se clasifican en:

- Parámetros documentales asociados a la información de los activos de las instalaciones que permitan acceder a la información relativa a los manuales de los equipamientos, manuales de mantenimiento etc.
  - Información de los manuales o sobre los sistemas de envolvente
  - Información de mantenimiento asociada
- Parámetros de conexión con el SCADA, que permitan relacionar los activos modelados con los activos gestionados a través del sistema de control.
  - Área asignada en el sistema SCADA (En base a la estructura existente)
  - Valor del atributo (dato) que se vincula al elemento
  - Topología del atributo (dato) de acuerdo al SCADA
  - Identificador del elemento en el SCADA
- Parámetros de navegación, que permitan la gestión de accesos a los elementos, en función de los permisos de los que se disponga para la consulta de la información.
  - Tipo de acceso (permite gestionar el nivel de permiso para acceso de la información)
  - Subproyecto al que pertenece (en base a la organización de cada uno de los modelos)

- Categoría de los elementos
- Familia de elementos
- Nivel en el que se ubica
- Sistema al que pertenece

Una vez organizada la información semántica tanto estática como dinámica, se procede a la generación de los modelos de cada una de las disciplinas.

### 3.1. Modelado de Arquitectura y Estructura

El modelo de arquitectura y de estructura se genera a partir de los modelos existentes del año 2017, que se ordenan sobre todo en los ámbitos de orientación y ubicación del modelo, el sistema de coordenadas y el sistema de vinculación.

### 3.2. Modelo de sensores

El modelo de sensores se crea desde cero. En el caso de que los elementos dispongan de elementos inteligentes (familias) se incorporan. Pero en algunos casos los sensores no disponen de esta información y se crean nuevas familias de elementos en forma de esferas y cajas que permiten incorporar la información necesaria.

### 3.3. Modelo de instalaciones

El modelo de instalaciones ha sido el más complejo de generar, tanto por el tipo de información que es necesario incorporar, como porque la información de la que se disponía no era la óptima.

La nube de puntos de apoyo para el modelado disponible se había creado en origen para otros fines y aunque ayudaba a entender algunas zonas complejas, no era suficiente para poder realizar un modelado masivo de instalaciones, ya que requería una gran inversión de tiempo.

Por esta razón se decide llevar a cabo un segundo escaneado, ya enfocado al trabajo que se quiere realizar de modelado de las instalaciones. Se diseña para ello un planteamiento de posicionamiento, con el que se pretende cubrir incluso las zonas más conflictivas y los equipos incorporados recientemente.

El escaneo se llevó a cabo utilizando la metodología Cloud2Cloud (C2C), empleando un láser escáner y una cámara fotográfica 360. Se realizaron 24 escaneos a resoluciones de 12mm@10m y 6 mm@10m, en función de la zona del sótano y la densidad de instalaciones y equipos escaneados. Además, se obtuvieron fotografías panorámicas en las mismas posiciones de los estacionamientos del láser escáner. Debido a las condiciones de escasa iluminación del sótano fue necesaria la colocación de focos de iluminación LED en los alrededores de cada escaneo y toma de fotografías para conseguir una mejor captura de la información espacial.

El procesado de toda la información se llevó a cabo empleando un software de procesado 3D. Se registraron todos los escaneos entre sí hasta obtener una nube de puntos global. Posteriormente, se procesaron las fotografías tomadas en campo, obteniéndose fotografías panorámicas de cada estacionamiento. Estas fotografías se vincularon a los escaneos mediante un proceso en el que cada punto de la nube es coloreado con el valor RGB de cada pixel de la fotografía panorámica.

A continuación, se limpió la nube de ruido (personas en movimiento y objetos fuera de lugar) y se segmentó en varias unidades que fueron exportadas en formato .ptx. Por último, las nubes fueron modificadas al formato .rcp, nativo del software de modelado BIM Autodesk Revit.

Una vez disponible la nube de puntos, se ha realizado un posterior modelado masivo con edgewise, y para ello se solicitaron los datos de posicionamientos en ptg.

El resultado del modelado, en este caso con REVIT, es el modelo digital, en este caso en formato RVT, que se depura eliminando todo aquello que no se corresponde con tuberías y conductos. Además, se crearon

los tipos de tuberías y se asignaron al sistema correspondiente, ya que no estaban fijadas a ninguna familia ni sistema.

El modelado MEP se planteo en 3 fases mediante la asignación de filtros:

- En primer lugar, se procedió a la asignación. En esta primera fase se asignaron los tipos de tuberías, la unión entre ellas y los sistemas.
- En segundo lugar y una vez realizado el modelado de trazado, se procedió a la incorporación de todos aquellos elementos que forman parte del sistema, tanto las válvulas, equipos, accesorios, sensores, etc.
- En tercer lugar, se asignaron los elementos a los subproyectos definidos en el esquema del Gemelo Digital de acuerdo con el funcionamiento de los sistemas.

Una vez obtenido el modelo geométrico, fue necesario vincular la información que se considera clave en el proyecto a los elementos correspondientes del modelo. Para ello a través del plugging (rudfor tool) se realizó una exportación a Excel de los parámetros.

Este documento Excel se completó con los datos ya clasificados y ordenados para cada uno de los elementos en base al inventario de equipamiento existente, a los parámetros de vinculación del SCADA y a la información de la base de datos disponible. Para ello diseñó un proceso personalizado a través de Excel y Dynamo.

Una vez volcada la información al Excel se incorporó dicha información al modelo tridimensional, con lo que se obtuvo finalmente el Gemelo Digital conectado a elemento físico real y a su información en tiempo real.

#### 4. Conclusiones

Los Gemelos Digitales, permiten vincular modelos virtuales, con la realidad física y los datos registrados por los equipamientos conectados, en este caso al sistema SCADA en tiempo real. Su utilidad como herramienta para la gestión y explotación de los edificios es indudable, ya que toda la información estática y dinámica es capaz de centralizarse en el propio activo. Esto supone un salto cualitativo y cuantitativo en la gestión de los edificios.

La generación del “Digital Twin” de KUBIK ha demostrado cómo es posible la generación de una réplica digital y exacta, tanto de la parte constructiva como de los sistemas implementados en una compleja infraestructura experimental y, su conexión en tiempo real con la información que se genera en la misma.

Se ha podido comprobar que para que la generación del Gemelo Digital sea un éxito es clave disponer de información suficiente para la generación del modelo virtual. Es habitual que en edificios existentes la documentación disponible sea escasa e inexacta, por lo que el empleo tecnologías como el escáner láser y fotografías 360, resultan fundamentales para la creación del modelo virtual que nos permita acceder a la información. El detalle de la geometría representada depende de la utilidad final que se le quiera dar al Gemelo Digital, por lo que se debe tener claro cómo se va a usar el modelo, para no crear representaciones excesivamente complejas, que visualmente son muy atractivas, pero que desde el punto de vista práctico son inmanejables por los soportes digitales.

Otro de los aspectos relevantes de los Gemelos Digitales es la información tanto estática como dinámica que permiten centralizar. A este respecto, la recopilación, clasificación y normalización de la información existente y la que se obtiene en tiempo real de los diferentes dispositivos, son procesos básicos para poder obtener un Gemelo Digital funcional y exitoso.

La metodología BIM es fundamental, ya que permite aunar estos dos pilares (maqueta virtual e información en tiempo real) fundamentales que constituyen los Gemelos Digitales.

En el caso de aplicación de KUBIK, esta nueva tecnología, ha permitido conseguir una infraestructura experimental innovadora que facilita a los usuarios y gestores una nueva forma de iteración en tiempo real integrada, eficiente y avanzada.

## Referencias

ARUP. (2019). DIGITAL TWIN. "Towards a meaningful framework". London. [www.arup.com/digitaltwinreport](http://www.arup.com/digitaltwinreport)

CHICA, JOSÉ & APRAIZ, INES & ELGUEZABAL, PERU & RRIPS, MARC & SANCHEZ, VICTOR & TELLADO, BORJA. (2011). "Kubik: Open building approach for the construction of an unique experimental facility aimed to improve energy efficiency in buildings". Open House International. 36. 63-72.

JAMES HEATON, AJITH KUMAR PARLIKAD, JENNIFER SCHOOLING, "Design and development of BIM models to support operations and maintenance", Computers in Industry, Volume 111, 2019, Pages 172-186, ISSN 0166-3615, <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.08.001>

KULKARNI, AMBARISH & RANJHA, SAGHEER & RAJEEV, PAT & SANJAYAN, JAY & SIERRA, CRISTOBAL. (2018). Building Information Modelling-Enhancing Productivity in Rail Infrastructure Construction.

LU, QIUCHEN & XIE, XIANG & HEATON, JAMES & PARLIKAD, AJITH KUMAR & SCHOOLING, JENNIFER. (2020). From BIM Towards DIGITAL TWIN: Strategy and Future Development for Smart Asset Management. 10.1007/978-3-030-27477-1\_30.

REVISTA DIGITAL FORO/CHAT IBEROAMÉRICA (2019). Edición nº1. EL BIM en todas sus dimensiones. Ing. Leonardo Mata. [www.forochatiberoamerica.com](http://www.forochatiberoamerica.com). <https://datalaing.com/site/las-7-dimensiones-del-bim/>

## INDUSTRIALIZACIÓN Y ESTANDARIZACIÓN CON BIM EN LOS PROCESOS DE MONTAJE DE INSTALACIONES DE TUBERÍAS

Soria-Zurdo, M<sup>a</sup>-Lorena<sup>a</sup>; Policarpio-Queralt, Jesús<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Consultora y formadora, directora BIM Arumani Engineering, responsable área BIM en Arquitectura Jorge Catalán, Co-directora Postgrado de Gestión de Proyectos BIM, Universidad Europea de Valencia, España, marilorearq@gmail.com <sup>b</sup>Ingeniero técnico obras públicas (UPV), Executive MBA Máster en Administración y Dirección (ESIC), Director general Arumani Ibérica y Arumani Engineering, jesus@arumani.es

### Abstract

*In our future communication we will show the trajectory of Arumani, a pipe company that was exclusively dedicated to assembly and whose objective is to cover the entire project cycle. What are the motivations to get out of the comfort zone from traditional to innovation?*

*The strategic plan followed has been based on the commitment established with our clients and with ourselves, for process optimization. To achieve this goal, we develop in the direction of the constant search for new ways that improve our capabilities, as well as productivity and performance, that generate value to our projects, increase production, qualitatively and quantitatively increase our services and position us in front of the competition. In the growth and research phases, we come across the scanning systems and the BIM methodology. We knew how to see the virtues it offered us and we inquired to see how far we could go and what it could offer us.*

*We will tell how the route has been so far, with the data collected objectively, how we have proposed the implementation plan, with progress, successes and traffic jams. Finally, a vision for the future as a message of self-impulse and other companies.*

**Keywords:** industrialization, manufacturing, standardization, processes, assembly, facilities, pipes, optimization, productivity, implementation

### Resumen

*En nuestra futura comunicación mostraremos la trayectoria de Arumani, empresa de tuberos que se dedicaba exclusivamente al montaje y cuyo objetivo es abarcar todo el ciclo del proyecto. ¿Cuáles son las motivaciones para salir de la zona de confort desde lo tradicional hacia la innovación?*

*El plan estratégico seguido se ha basado en el compromiso establecido con nuestros clientes y con nosotros mismos, de optimización de procesos. Para lograr este objetivo, nos desarrollamos en la dirección de la búsqueda constante de nuevas vías que mejoren nuestras capacidades, así como la productividad y rendimiento, que generen valor a nuestros proyectos, aumenten la producción, incrementen cualitativa y cuantitativamente nuestros servicios y nos sitúen por delante de la competencia. En las fases de crecimiento e investigación, nos cruzamos con los sistemas de escaneo y la metodología BIM. Supimos ver las virtudes que nos ofrecía e indagamos para ver hasta dónde podíamos llegar y qué nos podía ofrecer.*

*Contaremos cómo ha sido el recorrido hasta el momento actual, con los datos recopilados de manera objetiva, cómo hemos planteado el plan de implantación, con progresos, aciertos y atascos. Por último, una visión a futuro como mensaje de impulso propio y a otras empresas.*

**Palabras clave:** industrialización, fabricación, estandarización, procesos, montaje, instalaciones, tuberías, optimización, productividad, implantación



## Introducción

En la precedente comunicación analizaremos la transición experimentada por Arumani, empresa tubera de alta especialización y su evolución temporal. Veremos cómo, a través diversas estrategias, se posibilita el cambio desde lo tradicional hacia las nuevas tecnologías.

Nace en 1999, dando servicio al sector petroquímico. Más adelante, aumenta su capacidad, aplicación y amplía su nicho de mercado hasta estabilizarse en el sector de la climatización, realizando instalaciones complejas. En 2005, los hijos del creador, que llevan años en la empresa, continúan el legado. Este momento crítico en cualquier negocio, puede determinar un punto de inflexión hacia la quiebra, el continuismo o la mejora. Aquí, los herederos contaban con el conocimiento absoluto del mercado y una visión de futuro que marcaría su éxito (existen problemas pero se fijan metas y se lucha por alcanzarlas). Con el cambio de propietarios, arranca nuestro camino.

### 1. Pies en el presente; intuición en el futuro

Para que una empresa tenga una trayectoria adecuada debe focalizarse en tres momentos en el tiempo. El pasado, para adquirir experiencia y cimentar las bases; El presente, para centrarse en proyectos diarios y en la mejora continua; El futuro, para tener aspiraciones de crecimiento y previsión. La revisión de estas fases, sientan unos pilares sólidos y estables. Arumani poseía dos de éstos pilares e intuía el tercero: el futuro. En las obras con montajes de tuberías, se empezaba a pensar que los procesos podían mejorarse y automatizarse, y se podía tomar ejemplo de la industria automovilística, ya que llevaban años desarrollando productos altamente eficaces en aspectos como:

1.Eficiencia del diseño – 2.Reducción de costes – 3.Optimización de materiales – 4.Reducción de mano de obra – 5.Aumento de producción en fábrica – 6.Creación de productos estandarizados – 7.Control de tiempos de producción.

Debíamos buscar la manera de crear productos que encajaran en esta percepción, un modelo de negocio eficiente y mejorado. Pero, ¿cómo? Estábamos atrapados en un sector anclado en el pasado, trabajando por inercia, donde *“la máquina no podía parar”* y no había tiempo ni dinero para reinventarse.

#### 1.1. Primeras visiones tridimensionales

En obra, usábamos planos de gran formato, con el máximo detalle admitido y por experiencia. Aunque, de un proyecto al siguiente, tratábamos de mejorar la información, no siempre era suficiente (fichas técnicas, presupuestos, esquemas de principio, trazados generales de la red, trazados específicos del montaje, despiece de componentes, órdenes de trabajo, etc.)

La primera visión fue en un proyecto del sector petroquímico. Acudimos a obra con nuestra documentación habitual. El número de planos era considerable y, a pesar de los esfuerzos por llevar cierta organización, resultaban caóticos. Allí, vimos al cliente manejar un programa tridimensional: Autocad-Plant-3D. Nos mostraron cómo gestionaban los proyectos, obtenían información, su visualización, etc. Por primera vez, nos cambió la percepción de cómo se podía tratar la misma información de manera diferente para obtener mejores resultados. Sólo la percepción 3D, ya nos proporcionaba una concepción de diseño y una anticipación de colisiones a la que nunca antes habíamos tenido acceso.

La segunda visión fue en 2017; una conferencia sobre BIM de carácter generalista. Se explicaban nociones metodológicas y cómo otras empresas lo usaban con éxito. Era la primera vez que escuchábamos algo así pero nos entendimos que era lo que buscábamos. Ahora faltaba encontrar el modo de introducirlo en Arumani.

## 1.2. Primeros pasos hacia un entorno BIM

### 1.2.1. Invierno-2017

El primer proyecto que representado tridimensionalmente fue un proyecto de climatización en Cancún. Todavía no sabíamos qué programas eran los adecuados. Utilizamos SketchUp y optamos por él debido a:

1. Sencillez de aprendizaje – 2. Gratuidad – 3. Rapidez de trazado – 4. Facilidad de uso de interfaz – 5. Óptima comprensión del resultado.

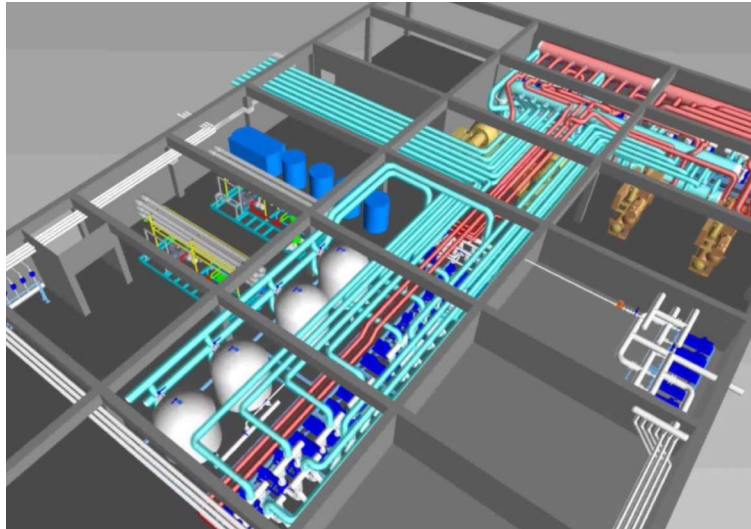


Fig. 1 Vista 3D general instalación + estructura. (SketchUp exportado a vídeo). Fuente: Arumani (2017)

Beneficios:

- Representación de la instalación tal y como iba a ejecutarse.
- Facilidad de comunicación con el cliente.
- Obtención de material gráfico de apoyo al habitual (imágenes y vídeos) que mejoran la comprensión global de los agentes implicados.
- Mejora de la eficiencia.
- Anticipación de los errores en fase de diseño (se modeló todo el entorno donde iba a ir ubicado).

Deficiencias:

- No existía correspondencia entre elementos 3D y planos, ni posibilidad de comunicación.
- *SketchUp* no era BIM y no generaba elementos inteligentes.
- No podíamos obtener mediciones.

Esta primera experiencia nos reportó ánimos para continuar buscando la manera óptima de avanzar.

### 1.2.2. Verano-2018

Contratamos servicios externalizados de una empresa especialista BIM para una sala de climatización en Tarragona. El programa utilizado fue Revit.

Objetivos:

- Arrancar un proyecto en entorno BIM y estudiar los beneficios reales.
- Obtener planos del modelo.
- Primera aproximación a la estandarización.
- Obtención de mediciones reales.
- Visión tridimensional del proyecto y detección de interferencias.

Beneficios:

- Visión real de un proyecto BIM.
- Apoyo especializado externo y aporte de fiabilidad.

Deficiencias:

- Dificultad para comunicar nuestras necesidades de modelado.
- Incapacidad de comprensión, por parte de la empresa contratada, debido al nivel de especialización, lo que genera desconocimiento de partes de la instalación y provoca errores.
- Largos tiempos de espera.
- Costes de modelado excesivos.
- Mediciones inexactas.
- Proyectos incompletos.
- Mínimo aprovechamiento del modelo.
- Dependencia.

Al siguiente proyecto, para Pilkington-Automotive, incluimos la contratación de servicios de escaneo láser (a otra empresa especializada) para obtener una nube de puntos. Hasta el momento, la toma de datos se realizaba manualmente. Con este paso, pretendíamos avanzar en:

- Reducción de errores.
- Reducción de tiempo de toma de datos.
- Mayor base de datos en nuestro poder.
- Base tridimensional sobre la que poder trabajar y superponer nuestro modelo 3D.
- Reducción del número de veces que se molesta al cliente.
- Mejora de capacidad de toma de datos en instalaciones complejas y de alta densidad.

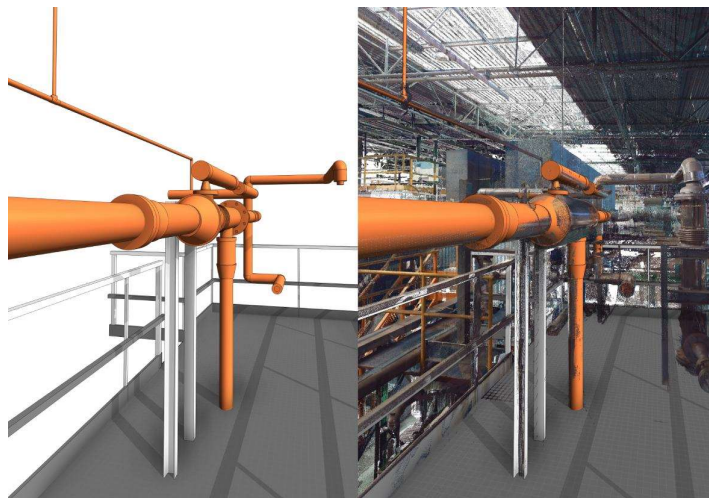


Fig. 2 Vista 3D instalación modelada (izq.) y misma vista incluyendo nube puntos (der.) Fuente: Arumani. (2018)

Analizando los puntos 3D, estudiamos el espacio disponible para ubicar nuestras instalaciones e hicimos las indicaciones oportunas para modelar el diseño deseado. Después, encajamos nube y modelo para mostrar cómo quedaría realmente. A partir de aquí, generamos planos y mediciones.

Beneficios:

- Volumetría del entorno donde nos desarrollamos/trabajamos.
- Encaje perfecto de la instalación real.
- Todos los indicados en toma de datos.
- Obtención de material gráfico muy potente.

Deficiencias:

- Falta de disposición de los archivos originales.

- Costes excesivos.
- Falta de personal capacitado para manejar la información generada.

En ese segundo proyecto detectamos la necesidad de formar a nuestro personal en BIM, ya que no sólo no podíamos crear contenido, sino que no podíamos gestionar los archivos que recibíamos. Por ello, buscamos acciones formativas existentes y enviamos a nuestra encargada de compras a un curso de Revit MEP de 20h en el Colegio de Ingenieros Industriales de Castellón (Junio 2018).

### 1.2.3. Invierno-2018

Viendo los beneficios que nos reporta la unión de nube de puntos y fotogrametría, compramos un escáner láser. Dentro de las posibilidades del mercado, y en base a nuestras necesidades, optamos por el modelo Faro FocusS70 por su relación calidad-precio. Nuestro equipo se forma en el manejo del equipo, así como en los flujos de trabajo habituales, desde los procesos de escaneado, tratamiento de datos y gestión de la nube de puntos, a través de programas como Faro Scene y Autodesk Recap.

Beneficios:

- Avance hacia la estandarización de nuestros procesos.
- Habíamos hecho una inversión pero se rentabilizaría debido a:
  - Ahorro de contratación de los servicios a terceros.
  - Posibilidad de hacer más escaneados de los habituales como marca de calidad.
  - Creación de un nuevo servicio en la empresa y generación de valor.
- Nuestros clientes nos empezaban a ver como una empresa puntera y eso nos diferenciaba de la competencia.
- Información en nuestra base de datos consultable y medible.

### 1.2.4. Primavera-2019

Seguíamos externalizando el modelado pero los flujos de trabajo eran inadecuados y los tiempos y costos de los proyectos se volvían excesivos cada vez que necesitábamos generar información, actualizarla o modificarla. Detectamos que no controlábamos los procesos y que estábamos al antojo de la empresa subcontratada. Al igual que el proceso de escaneado, nuestra intención era centralizar el modelado pero no teníamos capacitación suficiente. Contactamos con una profesional para implantar BIM y formar a los empleados y que, así, pudieran desarrollar sus trabajos orientados hacia la nueva metodología.

Beneficios:

- Experiencia de una profesional que nos guía y evita sorpresas.
- Implantación y formación bajo el mismo perfil profesional.
- Aumento de autonomía de la empresa.
- Conocimiento real de qué es y no es BIM, implicaciones y posibilidades.
- Conocimiento de qué podemos exigir empresas BIM subcontratadas.
- Conocimiento de qué podemos ofrecer a nuestros clientes.
- Aumento de expectativas a futuro y crecimiento.
- Planificación estimada de tiempos y calibración de costos.
- Reducción del riesgo empresarial.

Deficiencias:

- Escasa inmediatez del proceso.
- Falta de tiempo para practicar la formación.
- Dificultad para comenzar el primer proyecto.
- Definición/adaptación de los nuevos roles.
- Coste elevado.

En ese punto, comienza un nuevo ciclo. Nace Arumani Engineering, con una nueva concepción digital de las instalaciones y el propósito de industrializar y estandarizar sus procesos.

## 2. Planes estratégicos

*¿Qué es lo que quieres lograr o evitar? Las respuestas a esta pregunta son los objetivos. ¿Cómo usted logrará los resultados deseados? La respuesta a esto se puede llamar a la estrategia. Rothschild, W.*

En este punto, explicamos cómo preparamos la empresa a todos los niveles para poder “dar el salto”.

### 2.1. Plan empresarial

Descubrimos que los métodos del sector automovilístico que teníamos como referencia se están aplicando en varios sectores, con especial auge en AECO, debido a su conexión con BIM y que ya poseen una denominación concreta. Explicamos los conceptos que adoptados del lean manufacturing en nuestro plan.

#### 2.1.1. Ciclo de Deming

Proceso circular, también denominado ciclo de mejora continua, que permite el progreso integral de la empresa, aumentando su competitividad, a través de 4 conceptos:

1. **Planificar**, todo el proceso para controlarlo, ser previsible y poder tomar decisiones.
2. **Hacer**, todos los cambios propuestos y que no sean sólo teóricos.
3. **Verificar**, cada acción y establecer protocolos y responsables.
4. **Actuar**, basándose en resultados obtenidos y mejorar procesos de manera continua.

#### 2.1.2. Triángulo de Hierro

Lo componen 3 factores, de los cuales 2 pueden establecerse como fijos y el restante, variable. En cada proyecto, el factor variable puede alterarse. La única regla a tener en cuenta es que los tres valores no pueden ser fijos y que la alteración de los factores entre sí, afecta a los demás. Son: 1. Tiempo - 2. Coste - 3. Alcance. Su conjunto conforma la **calidad** del proyecto y deben equilibrarse para obtener proyectos de máxima calidad. Si Arumani quiere reducir tiempos y aumentar costes, sin disminuir su alcance, ¿cómo puede hacerlo? Sencillo: industrializando, estandarizando y automatizando procesos.

#### 2.1.3. Agile

Criterios que aplicábamos por sentido común, también formaban parte de una corriente concreta, en la que se apostaba por una gestión ágil de los proyectos (Agile Project Management) y la cual nosotros adoptamos:

1. **Satisfacción del cliente**, a través del buen servicio.
2. **Adaptación** sobre la marcha, sin improvisar pero sabiendo amoldarse a los cambios.
3. **Entregas parciales**, con programas adecuados para cada solución y cliente.
4. **Medidas de control** de progreso, a través de indicadores concretos.
5. **Desarrollo sostenible**, para lograr objetivos comunes a un ritmo continuo a lo largo del tiempo.
6. **Trabajo al mismo nivel** y en la misma dirección por parte de todos los componentes de la empresa.
7. **Empleados seguros, motivados** y formados, para su máxima eficiencia y productividad.
8. Búsqueda constante de la **excelencia técnica** y la mejora de procesos.
9. **Comunicaciones en persona**, para mejorar el entendimiento y afianzar las relaciones.
10. **Simplicidad** y/o subdivisión **de tareas** en procesos simplificados.
11. Creación de **equipos auto-organizados** que se regulan globalmente.
12. Capacidad **autocrítica** para mejorar.

## 2.2. Plan comercial

Para poder focalizar nuestro objetivo, tenemos que pensar en nuestros clientes, saber qué quieren, qué pueden querer, qué podemos ofrecer y cómo. No podemos vender lo mismo a todo el mundo. Basamos nuestra estrategia en crear tipologías:

- **KAM:** clientes clave. Tienen nuestra empresa como referencia y somos su proveedor habitual. No comparan precios porque prima la calidad que ofrecemos. Vamos a poder ofrecerles nuevos servicios y así evolucionar.
- **VIP:** clientes importantes y algunos, potencialmente KAM pero, de momento, no. Nos ofrecen proyectos interesantes pero no somos su proveedor habitual. No suelen estar abiertos a nuevos servicios y/o propuestas innovadoras.
- **ABC:** clientes que trabajan con nosotros habitualmente pero siempre negocian precio u otros aspectos. La contratación de servicios es muy concreta y no están dispuestos a gastar dinero en nuevos productos.
- **Resto:** clientes eventuales, que llegan como recomendación, referencia o casualmente. Se estudian por parte del departamento comercial para su inclusión como potencial ABC.

Para cada tipología, la empresa hace anualmente una estimación del número que necesita de cada cual, el volumen de ventas y los productos que se le pueden ofrecer. Con estas estimaciones, se fijan objetivos a corto, medio y largo plazo (uno, tres y cinco años). Paralelamente, los técnicos se centran en estudiar qué productos y servicios nuevos desarrollar según tipología y, de este modo, valorar el éxito de las propuestas. Cada innovación tecnológica va asociada a un coste que hay que rentabilizar. Siendo previsibles y buscando soluciones personalizadas, minimizamos el riesgo y obtenemos resultados óptimos de manera adecuada. También, valoramos y prevemos la productividad para el crecimiento de la empresa y en el área de I+D+i.

## 2.3. Plan tecnológico

### 2.3.1. ERP (Enterprise Resource Planning).

Incluimos en la empresa un sistema que nos permite administrar todos los recursos empresariales y mejorar la planificación. Introducimos la plataforma SQL Obras para confeccionar presupuestos, controlar certificaciones, gestionar pedidos, controlar stock de materiales, controlar personal y recursos, gestionar, utillajes y equipos de protección individual, gestionar documentación, controlar la base de datos, precios, etc., controlar subcontratas y sub-tareas asociadas. De este modo, centralizamos el proceso, somos más eficientes, tenemos acceso común a toda la información, mejoramos el control general y dejamos de lado diversos programas inconexos entre sí y las carpetas llenas de papeles (las reducimos considerablemente).

### 2.3.2. BIM (Building Information Modeling).

Implantamos la metodología BIM, para diseñar y pre-construir digitalmente nuestras instalaciones y dar el salto a la estandarización. La estrategia es integrarla marcando hitos a corto, medio y largo plazo, coherentes con nuestras necesidades y que nos permitan crecer sin tener que parar de producir. Nuestros objetivos:

**1.** Optimizar procesos – **2.** Gestionar integralmente proyectos – **3.** Externalizar servicios BIM – **4.** Operar y mantener instalaciones – **5.** Ofrecer nuevos servicios y productos.

Modo de conseguirlos:

- **Formación interna y externa:** mediante acciones formativas especializadas y manuales (Revit-Arquímedes-CostIt-Lumion-Fusion-BIM360-Navisworks-Dynamo-Youbim-Recap)
- **Especialización de perfiles:** adaptando roles tradicionales a roles BIM o espectros intermedios según necesidad.

- **Hardware y software especializado:** comprando licencias y adaptando equipos según necesidad.
- **Gestión y desarrollo de documentos y procedimientos:** manuales, protocolos y normas, así como su control.
- **Estandarización:** creación de estándar propio parametrizado en modelos virtuales.
- **Creación, estudio y diseño de elementos modulares:** piezas que actúen como unidades mínimas (pensemos en una célula), que contengan toda la información y se puedan prefabricar en taller.
- **Escaneado y tratamiento de nubes de puntos:** toma de datos de alta efectividad, uso para diseño y modelado y simulación preconstructiva.
- **Bibliotecas de materiales, familias, productos, etc.:** Modelamos el 90% de nuestras familias y estandarizamos parámetros, nomenclaturas, plantillas, etc.
- **Mediciones y presupuestos adaptados a las necesidades concretas:** Nuestro modelo-familias y la adecuación de los parámetros correspondientes, obtenemos mediciones muy similares a la solución final y podemos ajustar nuestro presupuesto de manera fiable.
- **Planificación de proyectos:** generando un “*timing*” y sabiendo qué agente actúa cómo, cuándo y dónde y qué le aporta el modelo y la información que contiene en cada estadio.
- **Gestión documental:** mediante protocolos de control y ERP.
- **Plataformas de comunicación adecuadas:** Trello-Fusion-Bim360-Teams.
- **Aplicaciones FM y GMAO** (Gestión de mantenimiento asistido por ordenador): YouBIM
- **Realidad virtual, realidad aumentada, realidad mixta, sensores.**
- **Auditorías, control interno y maduración de procesos.**
- **Investigación de tendencias y actualidad:** congresos-LinkedIn-foros-personas de referencia.

Tenemos que sumar a esta estrategia, dos factores cruciales que no todos los empresarios están dispuestos a asumir: tiempo y paciencia. Tiempo para poder aprender, madurar y reajustar la planificación de manera cíclica. Paciencia, para asimilar conceptos nuevos, reemplazar viejas costumbres y encontrar el valor de nuestro trabajo en nuevas vías tecnológicas a la vez que nos capacitamos, sin sentir que una máquina nos está desplazando.

Otros grandes campos son:

1. **Procesos:** En cada fase, cada agente debe tener conocer y tener claro su ámbito de actuación y sus pasos o procedimientos. De lo contrario, se trabaja erróneamente y la cadena se ve afectada.
2. **Protocolos:** en cada momento, ha de saberse cómo actuar y en base a qué criterios.
3. **Colaboración:** promovemos el concepto de trabajo colaborativo, donde la suma de trabajos individuales dan lugar a un resultado común.
4. **Comunicación:** aprender a comunicarse con y para los demás, ya que el 80% del tiempo estamos relacionados de personas, interna o externamente.
5. **Planificación:** Hay que controlar los tiempos de actuación de cada participante para ver la capacidad de trabajo que se tiene, gestionar los equipos, dar fechas a clientes, pasar ofertas, ser previsible, mantener un ritmo de constante en todas las facciones de la empresa, etc.
6. **Roles:** cada perfil ha de especializarse al máximo pero ha de ser capaz de comprender los perfiles de sus compañeros. A su vez, hay que capacitarlo internamente y dotarlo de valor.

Para que toda la compañía funcione como una máquina perfectamente sincronizada hay que conseguir que estos 6 puntos sean adecuados, equilibrados y reajustados a las nuevas necesidades, en cada estadio estratégico, o la implantación será un fracaso, a pesar de los esfuerzos.

### 3. Análisis y evaluación

En estos puntos no vamos a extendernos, pero queremos hacer hincapié en su importancia y la revisión constante que debemos prestarles para conocer el estado de la empresa y su correcta evolución. Antes y durante los procesos debemos revisar y analizar aspectos de diversa índole.

- **Empresa:** sociedad, empleados, comunicación interdepartamental, objetivos, financiación, acciones comerciales, marketing, publicidad, comunicación, etc.
- **Clientes:** comunicación con el cliente, productos, servicios, tipología cliente, atención y seguimiento, nivel de satisfacción, información partida proyecto / aportada, etc.
- **Proyectos:** ofertas, datos de proyecto (iniciales, intermedios, finales), planificación, pedidos, montajes, gestión digital, documentación, planos e información gráfica, etc.
- **Obras:** materiales, equipos, subcontratas, gestión, etc.

Por poner algún ejemplo, a raíz de los análisis que hicimos en la empresa, estamos implantando la Norma de calidad **ISO9001** para regulación procedimental interna, lo cual nos implica ese análisis, evaluación y seguimiento continuo que comentábamos.

### 3.1. KPI (Key performance indicators)

Por otro lado, usamos de manera interna los KPI o indicadores clave. Nos ayudan a medir y cuantificar nuestro trabajo, ya que nos indican la evolución concreta de un proceso o factor. Deben aplicarse a elementos que sean observables para comparar progresos. No tenemos datos de todos los indicadores desde los inicios pero la idea es recopilarlos a partir de ahora. Algunos de ellos, tendremos que evaluarlos de manera relativa, teniendo en cuenta el progreso y sus diversas transiciones. Hemos valorado los siguientes:

1.Tiempo realización obra–2.Coste realización obra –3.Tiempo trabajo personal actualización datos–4.Tiempo trabajo obtención datos–5.Tiempo coordinación trabajos–6.Coste errores obra–7.Coste trabajadores obra– 8.Margen beneficio obra–9.Número proyectos anuales–10.Número proyectos–11.Número clientes–12.Tipología clientes–13.Tipología proyectos–14.Tipología servicios–15.Rango presupuesto proyectos–16.Horas trabajo fábrica VS horas trabajo in situ–17.Detección interferencias–18.Plazos entrega–19.Partes incidencias–20.Tiempos solvencia errores–21.Errores detectados in situ–22.Material desperdiciado–23.Pedidos erróneos–24.Margen beneficio por pedidos por volumen–25.Horas trabajo oficina/diseño VS horas trabajo obra/ejecución–26.Devolución pedidos–27.Tiempos gestión incidencias–28.Tiempos coordinación–29.Tiempos verificaciones–30.Tiempo creación planos–31.Tiempo obtención mediciones–32.Incidencias mediciones–33.Número modificaciones proyecto–35.Número veces que vamos a hacer toma de datos.

Tabla 1. Análisis de previsiones anuales y datos reales de facturación (€) y comparación de margen bruto y productividad (%)

	Previsión 2018(€)	Real 2018(€)	Previsión 2019(€)	Real 2019(€)
Venta	2.624.353,12	1.125.963,53	1.710.234,17	1.496.363,55
Horas Proyecto	61.780,75	29.683,00	37.928,32	21.567,00
Aprovisionamiento	572.842,44	-241.961,72	339.700,03	-598.089,52
Personal	793.450,21	-402.375,65	588.724,20	-312.576,34
Explotación	321.059,30	-173.804,16	152.111,36	-200.652,08
MB	937.001,17	307.822,00	629.698,58	385.045,62
%MB	35,70%	27,34%	36,82%	25,73%
Horas		36.192,00		41.819,62
Euros/Hora		25,59		27,15
<b>%productividad/presupuesto</b>		<b>78,80%</b>		<b>81,91%</b>



Tabla 2. Análisis de proyectos finalizados (nº) según volumen ventas (€)

Intervalo de ventas	2018	2019
<10,000	24	15
10,001<50,000	12	5
50,001<100,000	6	0
>100,000	6	8
	48	28
<b>Media ventas</b>	<b>30.994,04</b>	<b>51.362,61</b>

De la tabla 1 deducimos, que al digitalizar los proyectos, mejora la productividad y la facturación euros/hora. De la 2, que al introducir la digitalización, el volumen de ventas aumentó y gracias a qué tipología de proyectos.

#### 4. Las metas

##### 4.1. Industrialización

El objetivo es permanecer más tiempo en taller y menos en obra. Conseguir, al mismo tiempo, generar satisfacción laboral aportando soluciones, calidad en las actuaciones y proyectos interesantes que mantengan y mejoren nuestra reputación. ¿Cómo conseguirlo? Ofreciendo un buen producto, pensado, diseñado y hecho a medida. ¿Qué queríamos evitar?

- Falta de material en obra para asignar cargas de trabajo o, bien, el material solicitado no llega.
- Mala planificación y dilatación de las obras en el tiempo por diversos problemas.
- Falta de protocolos concretos para toma de decisiones.
- Paralización de obra por interferencias o colisiones en un área, y la consecuente incertidumbre de los trabajadores ante la espera de una decisión final sobre qué hacer y quién es el responsable de verificarlo.

¿Qué queríamos conseguir? **1.** Tomar decisiones anticipadas – **2.** Transmitir seguridad y control en plazos y calidades del proyecto – **3.** Finalizar en menor tiempo los proyectos y hacer más proyectos en el mismo tiempo.

##### 4.2. Estandarización

Cierta parte de nuestras instalaciones siempre es similar, por lo tanto, puede estandarizarse. Nuestro objetivo son los skids. Su esquema es semejante. La idea es tener prediseñadas una composición de diversas piezas, con dimensiones estandarizadas, reconocibles, medibles y cuantificables. Con ellas, podemos ser previsibles y son manejables en fábrica. ¿Qué pasos hemos seguido para estandarizar?

- Estudio y análisis de opciones de diseño habitual de *skids*.
- Análisis de pesos, soportación, tipologías autoportantes, aprovechamiento de material, etc.
- Análisis de medidas de transporte, pasos habituales, vibraciones, carga/descarga, etc.
- Digitalización de opciones optimizadas, con las que pueden hacerse diversas combinaciones (Familias de bombas, filtros, bridas, etc. y cómo se pueden componer entre ellas)
- Parametrización, creación de nomenclaturas, códigos de medición y exportación a otros softwares.
- Creación de planos de montaje y fabricación, incluyendo vistas del modelo.
- Revisión, reajuste y mejora.

Además, en obra, si existe el modelo/escaneo de la instalación, en sucesivas actuaciones anticiparemos y planificaremos tareas de manera más eficiente, reduciendo los costes de:

- Explicación de necesidades y consulta de diversas empresas.
- Plazos de respuesta y entrega de oferta.
- Disparidad de precios en los alcances producidos por las distintas interpretaciones.
- Variación del coste de materiales y rendimientos.
- Incertidumbre en colisiones ocultas o pasos no definidos.
- Rendimientos propios de productividad.

#### 4.3. Automatización

Siempre que exista un proceso repetitivo, podemos automatizarlo. Si un proceso es automatizable, nos ahorra tiempo, dinero y nos evita errores. Cada día, acudimos a nuestro trabajo y realizamos las mismas acciones automática y repetitivamente, al igual que respiramos, sin percatarnos. Por lo tanto, hemos tomado consciencia de dichas operaciones, las hemos analizados, estudiado, puesto en común entre los diferentes agentes y buscado el modo de convertir las rutinas en operación automáticas. ¿Cómo? Gracias a la planificación y las herramientas citadas anteriormente. ¿Qué procesos hemos automatizado?

- Ofertas, presupuestos y mediciones.
- Plantillas (proyectos, vistas, documentos)
- Protocolos de actuación.
- Generación de información gráfica de diversa índole.
- Comunicación y verificación interna y externa del proyecto a través de plataformas digitales.
- Obtención de datos gracias a la centralización de los mismos.



Fig. 3 Proceso de carga de skid montado y pre-fabricado, listo para transporte, con estructura auto-portante. Fuente: Arumani. (2019)

#### 5. Factor humano

Las personas: piezas cruciales. Son fundamentales en el éxito o fracaso de un proyecto, así de simple. Hay que trabajar conscientemente para lograr un resultado positivo y tratar con especial atención las facciones negativas. Sin duda, ha sido uno de los puntos más complicados. Ante las dificultades, el saber que todo el equipo va en la misma dirección, contagia de energía al resto. ¿En qué aspectos hemos trabajado?

- Aportar valor a cada trabajador y entender su importancia en la empresa.
- Formación especializada recurrente.
- Reuniones de coordinación, por departamentos e interdepartamental.
- Planificaciones conjuntas (oficina técnica, digitalización, obras, estudios, comercial, etc.)
- Creación de protocolos y procesos internos de actuación. Qué pasa primero y qué después.
- Detección de errores a cualquier nivel, exposición y aporte de soluciones.

## 6. Planes de futuro

Nuestro primer objetivo: madurar nuestros procesos y seguir creciendo. A la par, estamos desarrollando proyectos de investigación, con colaboradores estratégicos (Universidad Jaume I, Hilti, Arce Clima) en los que estamos haciendo pruebas piloto de fases de operación y mantenimiento, monitorización, sensores, GMAO, gemelos digitales a pequeña escala, realidad virtual, aumentada y mixta para el mantenimiento, el desarrollo de las obras y el diseño, etc. A largo plazo, nos gustaría llegar al uso de drones para monitorización y robotización de ciertas áreas, tanto en fabricación como en operaciones de mantenimiento y estudiar qué servicios podemos ofrecer y el modo de conectarlo con nuestro trabajo actual. Seguro que, según aparezcan nuevos avances tecnológicos, surgen nuevas ideas de negocio a valorar y enfocar hacia nuestro sector.

## 7. Conclusiones

Mostramos un ejemplo de modelo virtual de unidad mínima. Teniendo en cuenta los puntos anteriores, hemos obtenido estas piezas (vamos a imaginarnos en este caso un “Lego”) que están prediseñadas y que utilizamos desde la fase de estudio y presupuesto hasta constructiva (y posteriormente en FM), adaptando diferentes parámetros creados específicamente para que cada área o disciplina pueda abastecerse. Estos módulos pueden fabricarse en taller y replicarse tantas veces como se quiera, generando un esquema repetitivo, funcional y optimizado, cuyos datos ya están registrados previamente. A partir de este diseño, en cada proyecto, la versatilidad es altísima y el único factor desconocido es el trazado final de tuberías de conexión. Estos skids pueden adaptarse en medidas, potencias, diámetros, fabricantes, pesos, etc. Por lo tanto, concluimos que, en nuestra primera fase, hemos logrado nuestro objetivo inicial de manera exitosa gracias a nuestro plan estratégico.

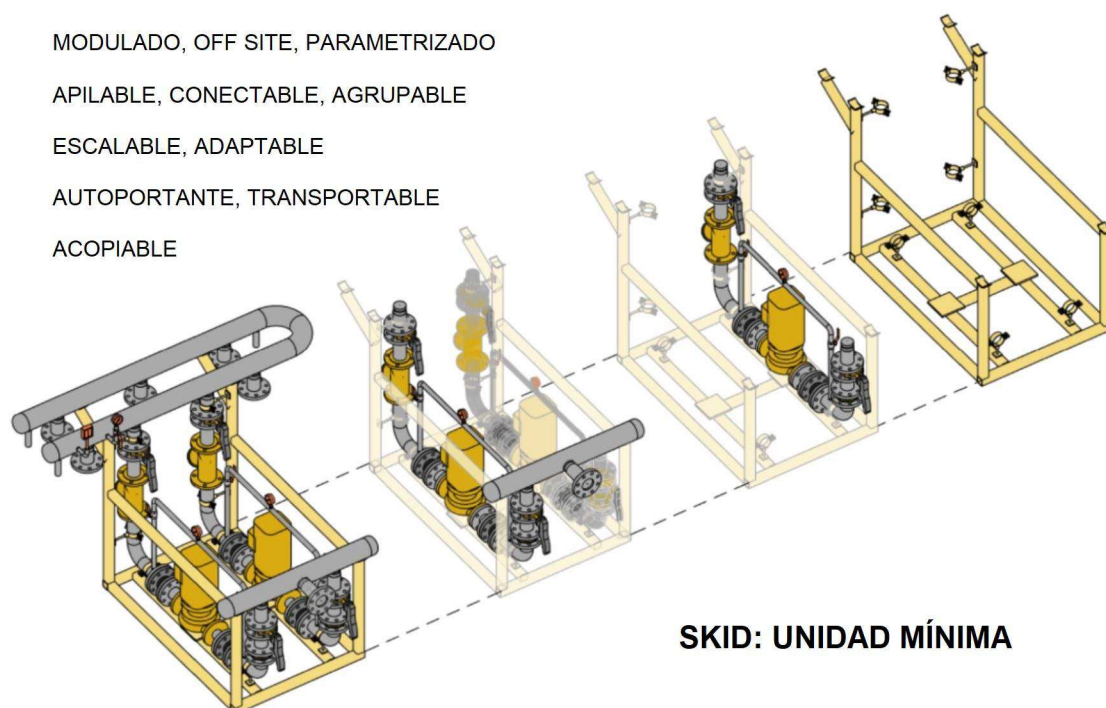


Fig. 4 Descomposición de un skid o unidad mínima diseñada por Arumani. Fuente: Arumani. (2020).

El resultado actual, no ha sido fortuito, sino fruto de un plan elaborado y el trabajo coordinado de todo un equipo, cada cual con una misión específica igual de importante. Encontrar la manera de equilibrar el valor del trabajo tradicional de los trabajadores y cómo acoplarlo a las nuevas tecnologías, ha sido un proceso de prueba y error pero corroboramos que es posible a cualquier escala, si se ponen los medios específicos adecuados. El éxito depende de muchas pequeñas decisiones tomadas con consciencia y bajo una estrategia global. La digitalización, industrialización y estandarización, han supuesto un impulso exponencial, pero es sólo el principio. Nuestro propósito es seguir creciendo a todos los niveles, con un riesgo aceptable, manteniéndonos a la cabeza de nuestro sector como referente de calidad, innovación y desarrollo.

Somos tuberos de la era digital y a nuestro futuro no le ponemos límites.

## Referencias

AELDE (2017). "12 principios del agile Management para la dirección de Proyectos"

<<https://www.ealde.es/agile-management-direccion-de-proyectos/>> [Consulta: 15 de febrero de 2020].

AELDE (2017). "El Triángulo de Hierro y el Ciclo de Deming en Dirección de Proyectos"

<<https://www.ealde.es/triangulo-de-hierro-direccion-de-proyectos/>> [Consulta: 26 de febrero de 2020].

WIKIPEDIA (2019). "Ciclo de Deming"

<[https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_de\\_Deming](https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_Deming)> [Consulta: 15 de febrero de 2020].

## EXPERIENCIA REAL BIM PARA UNA REFORMA INFRAESTRUCTURA AEROPORTUARIA INTERNACIONAL EN SENER

**Sola-Jerez, Marc<sup>a</sup>; Para-Ayuso, Gloria<sup>b</sup>, Carcelero-Ibáñez, Bibiana<sup>c</sup>**

<sup>a</sup>BIM Champion Disciplina MEP de la SENER BIM Office, SENER Ingeniería y Sistemas, España, marc.sola@sener.es, <sup>b</sup>Responsable de la SENER BIM Office, SENER Ingeniería y Sistemas, España, gloria.para@sener.es; <sup>c</sup>BIM Manager de proyecto, SENER Ingeniería y Sistemas, España, bibiana.carcelero@sener.es

### Abstract

*This communication address the experience obtained with application of the BIM methodology in the disciplines of M.E.P and IT for the refurbishment of an existing United States Airport Infrastructure.*

*The project consisted of the renovation of two floors of an airport under construction and planned design phase according to the construction phase. The design of MEP and IT in BIM was subedited to demanding BIM standards by the end customer. The environment in B360 of Autodesk and C4R as CDE to design the remodelling and information exchange platform through DOCS and GLUE.*

*As starting data in M.E.P, the AS-built plans and use of point clouds in different areas were the inputs to undertake the new design and decide the strategies for the different uses of the model: 2D, 3D, 5D and model prepared for the 7D from the design phase for later use in the client's CMMS. Highlight knowledge acquired in BIM; Quality control through the modeller checker; Model interoperability with SENER calculation software and equipment cohesion*

**Keywords:** *experience, workflows, process, MEP, refurbishment, facility management*

### Resumen

*Esta comunicación trata sobre la exposición de la experiencia obtenida en la aplicación de la metodología BIM en las disciplinas de M.E.P e IT para la reforma de una infraestructura aeroportuaria en Estados Unidos existente.*

*El proyecto consistía en la reforma de dos plantas de un aeropuerto en fase de diseño constructivo y planificado de acuerdo a las fases de obra. El diseño de M.E.P y IT en BIM venía supeditado a exigentes estándares BIM por parte del cliente.*

*El entorno en B360 y C4R de Autodesk fue la base para diseñar y también fue la plataforma de intercambio de información (CDE).*

*Los planos AS-built y varias nubes de puntos en diferentes zonas fueron los inputs para acometer el diseño y decidir las estrategias para los usos del modelo: 2D, 3D, 5D y modelo preparado para el 7D desde la fase de diseño para su posterior uso en el GMAO del cliente. A destacar, el conocimiento adquirido en control de calidad mediante el "model checker"; Interoperabilidad de modelo con softwares de cálculo de SENER y la cohesión del equipo.*

**Palabras clave:** *experiencia, procesos, flujos, MEP, remodelación, GMAO*

## Introducción

El presente documento describe el esfuerzo de un equipo de profesionales trabajando en un entorno colaborativo con un objetivo común: La reforma de las instalaciones, mecánicas, eléctricas, incendios e IT de dos plantas de una infraestructura aeroportuaria internacional de prestigio en Estados Unidos.

La metodología BIM y la experiencia derivada de ella se describe a continuación en todos sus ámbitos dentro del proyecto. Se muestra el beneficio y madurez que ha aportado el proyecto a nuestras formas de trabajo, a nuestro conocimiento y a nuestras personas tanto en lo técnico como en lo personal.

Porque lo más importante, la vivencia y el fruto real del BIM, son las personas que han formado parte del equipo, antes, durante y después de la entrega del proyecto ya que el éxito final depende de hasta dónde nuestras personas puedan innovar, internacionalizarse y transformarse hasta el final.

A continuación, bajo el contexto de una experiencia en BIM real se explican los puntos más relevantes del proyecto BIM, el cual se llevó a cabo durante aproximadamente dos años (2 años). Por motivos de confidencialidad, los autores han tenido que mantener cierta información reservada en el texto, quedando sin embargo totalmente abordado la descripción de la experiencia real.

### 1. Alcance de trabajo BIM en el proyecto

La reforma de las instalaciones de la infraestructura es consecuencia y necesidad de la reforma de las dos plantas principales a nivel arquitectural y parte de la estructural del aeropuerto sobre una superficie de actuación aproximada de 70000m<sup>2</sup>, distribuidos entre zonas comerciales, públicas, no públicas además de una pequeña zona de parking exterior. Toda solución del proyecto debe ser gestionada coordinada y creada con las herramientas oportunas y requeridas por parte del cliente directo. Éste, como constructor, coordina la fase de dirección de obra con los modelos de ingeniería que se crean bajo los requerimientos BIM impuestos por el cliente final, Siendo este un cliente de prestigio habituado y experimentado en la gestión de éste tipo de información para sus objetivos internos.

El proyecto precisaba que el aeropuerto no dejase de funcionar durante la ejecución de las reformas, por ello era clave generar las fases adecuadamente para la infraestructura y el BIM ayudó como metodología en éste sentido.

Así pues, las decisiones sobre el reaprovechamiento, instalación nueva o desmontaje de las diversas instalaciones (mecánica eléctrica, protección contra incendios, telecomunicaciones) en fase de ingeniería de detalle están aplicadas con las herramientas de modelado y cálculo pertinente.

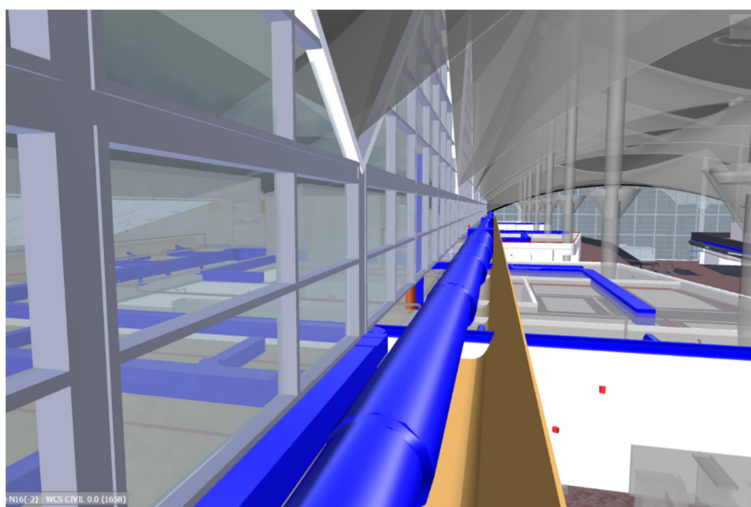


Fig. 1 Instalaciones del aeropuerto. Fuente: SENER (2019)

A continuación, se describe de manera sintetizada los puntos BIM más importantes y destacados del proyecto.

## 2. BIM en el proyecto de instalaciones

### 2.1 Requerimientos de cliente

#### 2.1.1 Estándares

Desde un inicio del Proyecto el cliente final facilita unas bases de diseño, pliegos en BIM y una información mínima de partida a cumplir. Los estándares eran una documentación viva y se actualizaban periódicamente por parte del cliente final. El documento de requerimientos BIM consta de 180 páginas.

Además, el cliente facilitaba una estructura de carpetas a modo básico con la siguiente información en el apartado de BIM:

- Plantillas de Visualización
- Familias tipo
- Carpeta de parámetros compartidos
- Materiales
- “Scripts” básicos
- “Keynotes”
- Exportación de capas
- Manuales
- “Asset data requirements”.

#### 2.1.2 Softwares usados

El proyecto se realizó bajo la premisa que los softwares de diseño fuesen:

- AUTODESK REVIT 2018
- NAVISWORK 2018
- AUTODESK C3D y AUTOCAD

Todos ellos en ingles con reléase homogenizado, aunque debido a la duración del proyecto, las versiones de los programas citados sufrieron una actualización en medio de la ejecución del proyecto y se analizaron los “efectos” colaterales en el proceso.

Los softwares de cálculo usados para el diseño de ingeniería no podían ser utilizados en el modelo si éstos dejaban información y parámetros no acordados en el modelo de cualquiera de las sub-disciplinas. Aun así, la metodología e interoperabilidad por la parte de MEP viene definida en el capítulo 2.4 del presente documento.

#### 2.1.3 Master format y Uniformat

La realización de las familias en el proyecto necesitaba de un proceso de validación por parte del cliente final, con lo que se creó un flujo de validación que permitiese seguir trabajando y modelando mientras se recibía respuesta de aceptación.

Así pues, toda familia debía estar codificada con *el << Sistema Uniformat II Elemental Classification for Building*.

Master Format en su versión 2012 es un estándar de aplicación en especificaciones de equipos en proyectos de edificios comerciales e institucionales de EE.UU. Se basa en una estructura de especificaciones codificadas de tal manera que permiten una relación en su contenido con los elementos modelados y codificados con sistema UNIFORMAT.

### 2.1.4 LOD Matrix y GMAO

Un apartado imprescindible al inicio del proyecto fue determinar qué elementos se iban a modelar por el equipo de instalaciones y sistemas, así como su nivel de detalle e información asociada. Por éste motivo se generó una matriz de requerimientos BIM por sub-disciplina con la información siguiente:

- ASTM Uniformat II clasificación
- LOD según fase de proyecto
- Requerimientos de mantenimiento

## 2.2 Entorno colaborativo

La deslocalización del equipo de trabajo y el número de agentes participantes fue uno de los puntos a tener en consideración para usar un CDE que permitiese la colaboración múltiple.

El modelo fragmentado por disciplinas fue una decisión del departamento de instalaciones y los archivos se localizaban en servidores extranjeros desde dónde los diferentes agentes disponían de acceso. De esta manera, los cambios realizados en los modelos de las distintas sub-disciplinas se reflejaban inmediatamente tras la sincronización, gracias a Collaboration for REVIT de Autodesk.

Esto permite tener el mismo archivo central almacenado en la nube, pero la coordinación y gestión de información se realizaba mediante publicaciones periódicas a B360 GLUE, para la toma de decisiones por parte del Cliente directo y así tener acceso de los diferentes modelos como foto periódica congelada desde el navegador web.

Las versiones publicadas del modelo REVIT a B360 TEAM se muestra en la siguiente imagen:

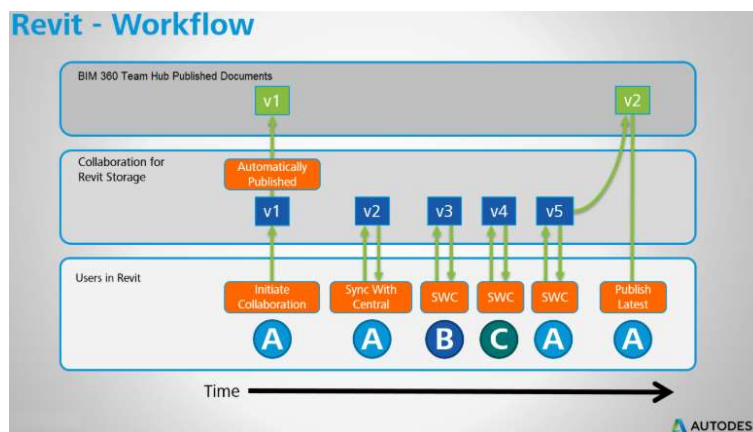


Fig. 2 Workflow C4R. Fuente: Autodesk (2019)

Los principales agentes participantes eran de diferentes empresas, repartidos principalmente entre equipos:

- Equipo 1: Arquitectura (Gestión BIM general).
- Equipo 2: Estructura.
- Equipo 3: Instalaciones.

La gestión de coordinación de los modelos estaba liderada por el equipo 1 quién comunicaba a los demás equipos las decisiones tomadas en las reuniones periódicas de coordinación BIM. Una vez transmitido, a través de NAVISWORK, se reportaba con un documento de control de numero de interferencias, pendientes, solucionadas y nuevas con relación al % de avance.

La comunicación entre los tres equipos en un inicio estaba pensada de la siguiente forma:

- Reuniones periódicas de coordinación.
- Uso de Communicator de Autodesk.
- Uso de herramienta TRELLO para asignación de tareas.
- GLUE.



La realidad final fue que el Communicator tenía algunas ventajas, como el hecho de ver quien sincroniza en el mismo momento que otro usuario, pero su cometido principal que era hablar entre agentes se descartó por motivos de trazabilidad.

TRELLO se continuó usando entre miembros dentro de cada equipo. En el caso del equipo de instalaciones, se mantuvo como herramienta útil para la asignación de tareas entre ingenieros responsables, ingenieros y modeladores.

Tanto las publicaciones en GLUE y las reuniones periódicas fueron la base de comunicación entre equipos.

## 2.3 Usos

A continuación, se listan los usos acordados que se aplicaron en el modelo para satisfacer los objetivos del cliente:

### 2.3.1 Planos constructivos (2D)

Como uso principal del modelo era exigencia que los planos para la fase de ingeniería fuesen extraídos directamente del modelo. De vital importancia era que los entregables asociados dispusieran de:

- Trazabilidad
- Fases:
  - Existentes.
  - Demolición.
  - Nueva construcción.

Así pues, las consecuencias directas de estas necesidades pasaron por obtener una situación actual de las instalaciones lo más fiable posible. El levantamiento de los planos AS-BUILT fueron un input externo para nuestro departamento.

La inclusión de nubes de puntos y de archivos IFC en el REVIT fueron de ayuda en zonas congestionadas y específicas que el equipo de proyecto facilitó.

La singularidad de la gestión de fases, residía principalmente, en que el modelo debía estar pensado para no dejar de servicio al aeropuerto durante la futura construcción. Por ello desde inicio, se aprovecharon las fases en REVIT para hacerlas coincidir con la planificación de obra prevista en futuro. A efectos prácticos el uso de planificación del modelo no estaba bajo el tejado de instalaciones y recaía sobre el equipo 1. Si bien en cuanto a mediciones y entregables ésta posibilidad permitió cumplir con los hitos y “fragmentación” “por zonas del modelo, teniendo control sobre los elementos a cuantificar y visualizarlos correctamente según fase.

### 2.3.2 Coordinación (3D)

El uso principal del modelo para el diseño de detalle era la resolución de interferencias y toma de decisiones técnicas sobre un modelo federado. Las reglas de choque eran configuradas por cada coordinador BIM de disciplina, revisando, asignando y validando las interferencias del modelo al equipo modelador.

Los requisitos BIM dejaban claros las siguientes consideraciones que tenían impacto en el modelado de instalaciones:

- Tuberías inferiores a diámetro < 2cm no se modelaba.
- El concepto “Libre de interferencias” NO ERA REQUERIDO.
- Documentación periódica en porcentaje de avance de resoluciones.
- Cumplimiento de la “Matriz de interferencias”.

### 2.3.3 Mediciones (5D)

La obtención de mediciones directamente desde el modelo se usó hasta el avance de diseño en un 60%. Su uso a nivel de departamento requería usar de ADD-IN adecuados para REVIT, tales como COST-IT para su vinculación con el programa de presupuestos, PRESTO. Este aspecto se desarrolla con más detalle en el capítulo 2.4.4 de interoperabilidad.

### 2.3.4 Mantenimiento (7D)

El uso de mantenimiento del modelo era la parte más novedosa del proyecto y claramente las lecciones aprendidas fueron muy valiosas. Desde el equipo de mantenimiento del aeropuerto, se generó un listado de parámetros que deseaban controlar durante la fase de mantenimiento. Este requerimiento obligó a gestionar y tratar la información de las familias de la siguiente forma:

- Información a incluir nativamente en los elementos

Tomando como ejemplo de ellos, la disciplina de Protección contra incendios, el responsable de mantenimiento pidió explícitamente controlar las diferentes zonas de control de humos por nivel, zona y función. Esta solicitud se tradujo en la creación de masas (categoría de REVIT) para asignarle la información solicitada.

Tabla 1. Tabla de planificación ejemplo para mantenimiento. Fuente: SENER (2019)

Asset Identification-Zones –PH1				
Zone ID	Zone Type	Functional Area	Asset Location	New=existing
FZ-T4-37	Fire zone	LIFESTY	TML_04_11B/11D	Designed
FZ-T4-38	Fire zone	LIFESTY	TML_04_11B/11D	Designed
FZ-T4-39	Fire zone	LIFESTY	TML_04_11B/11D	Designed

## 2.4 Interoperabilidad

El diseño y dimensionado de las instalaciones permitió afianzar al equipo de mecánicas y eléctricas la interoperabilidad de los softwares de cálculo y el modelo. Por ello a continuación se reflejan los softwares usados y una visión de comunicación con REVIT.

### 2.4.1 Protección contra incendios

El software aplicado en el proyecto para el dimensionado de la red hidráulica de rociadores y f fue AUTOSPRINK RVT. Es un software validado a nivel de contraincendios como herramienta de cálculo y generación de documentos justificativos que acepta la normativa estadounidense en lo que concierne incendios.

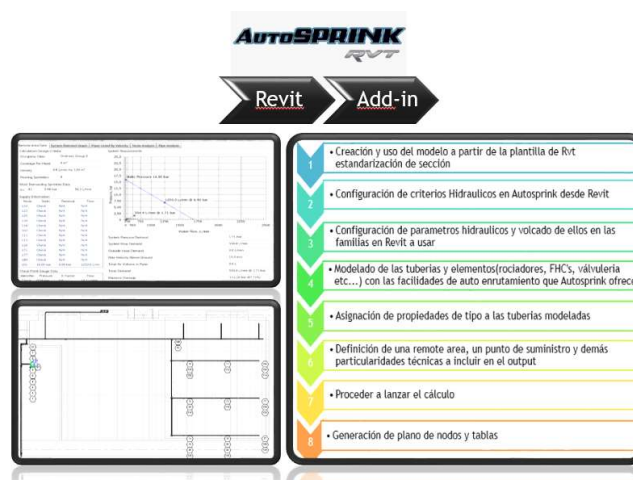


Fig. 3 Flujo AUTOSPRINK RVT. Fuente: SENER BIM office (2019)

Su uso permitió, desde el propio ADD-IN de REVIT, generar los entregables justificativos y afianzar el procedimiento de actuación dentro de nuestro departamento. Esto se tenía que realizar dentro de un modelo desenlazado para evitar el volcado de parámetros e información que el programa generaba en el modelo REVIT, condición que no era admitida por el cliente final.

El software dispone del módulo de generación de plano en planta de nodos, imprescindible para el cálculo hidráulico y también permite calcular según hipótesis determinando presiones y caudales en la acometida o bien desde los elementos finales de la red. Todo ello desde el ADD-in de REVIT.

#### 2.4.2 DIALUX

El software de DIAL fue el elegido para crear la disciplina de iluminación profesional y con la que interactuar con el modelo.

El cálculo de niveles lumínicos en la fase de detalle y el número de simulaciones debido a propuestas de alternativas, requirió de optimizar los tiempos para aprovechar la geometría y volumetría generada desde el modelo de arquitectura.

Por consiguiente, se afianzó un flujo parecido al siguiente:

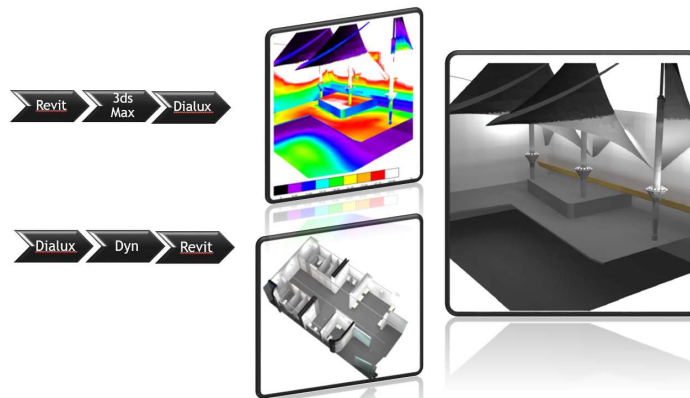


Fig. 4 Flujo DIALUX - REVIT. Fuente: SENER BIM office (2019)

Con este flujo de trabajo, el input de entrada al software de cálculo se obtenía desde REVIT vía .XML y se importaba en DIALUX, obteniendo así los espacios de REVIT en forma de locales en DIALUX.

Además, los requerimientos de cliente obligaban a que toda geometría final debía ser incluida con lo que el mobiliario y decoración también fue añadida. Se utilizó 3D STUDIO MAX como software puente en ese aspecto.

Finalmente, tras los cálculos realizados en DIALUX, y mediante automatizaciones realizadas con DYNAMO, se devolvía la información al modelo REVIT.

#### 2.4.3 MÁXIMO

Uno de los gestores de mantenimiento más usado a nivel mundial es MAXIMO de la casa IBM. Este software web ofrece una solución de gestión de activos para optimizar su mantenimiento, tipos de activos y describiendo las funcionalidades de activos, así como desarrollando relaciones jerárquicas.

El flujo de información en la gestión de mantenimiento asistido por computadora (GMAO), necesitaba que hubiese aportación de parámetros en el modelo federado de forma externa, por tanto, la Información incluida no nativa en los elementos en éste área era confidencial y la gestionaba el cliente final.

Aun así, esta oportunidad permitió al equipo de instalaciones definir un flujo de trabajo para acometer el uso 7D y que se resume esquemáticamente a continuación:

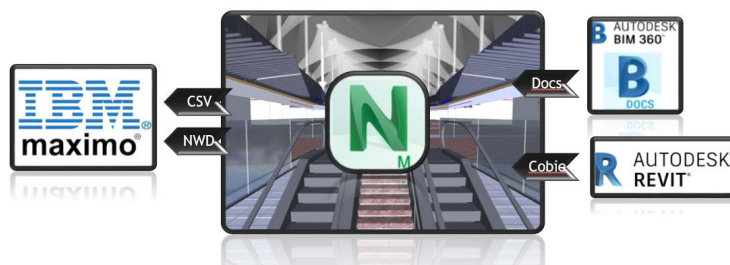


Fig. 5 Flujo REVIT-NAVIS- Máximo. Fuente: SENER BIM office (2019)

NAVISWORKS, como herramienta centralizadora, permite la inclusión de datos externos COBIE y permite la visualización de datos B360 Field. Por ello, gracias a la vinculación de datos a través de data tool de NAVISWORK se pudieron crear plantillas de exportación en .CSV para usarla en IBM MAXIMO.

#### 2.4.4 Presto COST-IT

Dentro de un proceso bidireccional, COST-IT permite introducir información de REVIT a PRESTO e identificar gráficamente los elementos de presupuestos de manera ágil. La exportación del modelo se reordenó según los capítulos de instalaciones, seleccionando la unidad de medida correspondiente.

### 2.5 Herramientas de cálculo

En términos de herramientas usadas para el dimensionado de las diferentes instalaciones se procede a la siguiente tabla resumen:

Tabla 2. Herramientas de cálculo. Fuente: SENER (2019)

Disciplinas	Software de cálculo	Aprovechamiento en REVIT destacable
Extinción de incendios	AUTOSPRINK	Ver punto 2.4.1
Detección de incendios y Control	N/A	-Se realizaron categoría de masas para tener una zonificación de sectores y aplicarles los requerimientos para mantenimiento.  -Extracción de tablas de planificación para matrices de señales
Media y Baja Tensión	Tabla de cálculo en Excel	Extracción de tablas de planificación de equipos con consumo eléctrico
Iluminación	DIALUX	Ver punto 2.4.2

Fontanería y saneamiento	Tabla de cálculo IPC ;Excel	-Exportación de las diferentes redes mediante filtros de visualización (Vistas isométricas con nodos)  -Extracción de tablas de planificación de categorías de la disciplina
Climatización	Revit; Excel	-Pre dimensionamiento de ductos mediante dimensionado Revit  -Confirmación y revisión mediante Excel interno

De acuerdo con las herramientas expuestas en la tabla anterior cabe destacar ciertos puntos o aspectos a considerar en cuanto al proceso de cálculo:

1. Baja tensión en Electricidad: El flujo habitual interno para el cálculo eléctrico se basa fundamentalmente en la aplicación del software CANECO. El principal inconveniente es que la normativa de aplicación americana no está contemplada en el software y se tuvo que apostar por un método clásico
2. PCI: Los requerimientos normativos del proyecto se basan en el cumplimiento de la NFPA, con lo que los softwares de cálculo deben cumplir con las formulas de la normativa y se apostó AUTOSPRINK. Por ello, se buscó el mejor flujo posible (Ver punto 2.4.1) pero los requerimientos BIM del cliente restringieron la máxima productividad con AUTOSPRINK RVT.
3. Climatización: El cálculo del equipo encargado del clima aprovecho el pre cálculo de dimensionamiento de los ductos haciendo un especial control en aquellos accesorios de conductos que las pérdidas de carga eran nulas en la tabla de resultados. Las uniones de conductos que tenían problemas en pérdidas de carga unitaria se cambiaron en la medida de lo posible por otras soluciones admisibles, como uniones que sí calculaban correctamente de acuerdo a normativa. Además, en algunas de ellas, las uniones fue necesario aplicar la tabla interna correcta de ASHRAE a la familia correspondiente para la idoneidad del cálculo.
4. Fontanería: El apartado de fontanería fue dimensionado por un socio que su método habitual era una tabla de Excel puesto que la simultaneidad en el REVIT no estaba considerada para el dimensionado del "International plumbing code" (IPC)

## 2.6 Calidad

En términos de control de calidad del modelo, el proyecto de instalaciones pasaba una revisión periódica mediante un checklist del cliente. El archivo aplicaba un código alfanumérico para determinar si se cumplían sobre los requerimientos del BIM manual.

BIM Model Review - 'FILE NAME'							
			95	95	95	95	
			Example	95% CD	95% CD	95% CD	95% CD
			95% CD	95% CD	95% CD	95% CD	FACILITY
Overall Score			67%	75%	75%	75%	75%
Critical Item Score			17%				
1.3	Phasing	X III-204	F				
1.4	Worksets	III-205	P				
1.5	Correct Project Information	III-206	P				
1.6	CAD files must be LINKED and not	X III-207	F				
1.7	No Exploded DWG files	X III-207	F				
1.8	Links Pinned in Place	III-207	P				
1.9	Revit Links - Set to Overlay & Relative Pathing	III-207.2	P				
1.10	Design Options	III-208	P				
1.11	Project Location - LDP Coordinates	X III-209	F				
1.12	Model Levels	X III-210	F				
1.13	Model Delivered On-Time	X III-211	F				
<b>2. Modeling</b>							
2.1	Model all designed elements	X III-302-304	F				
2.2	All modeled elements tagged correctly	X III-305	F				
2.3	Model content from GEN Library	III-306	P				
2.4	Meets Revit Family File naming	X III-306.3	F				
2.5	No in-Place modeled content	III-308.4	P				
2.6	No unapproved Generic Models	X III-306.5	P				
2.7	Systems Connected	X III-306.6	F				
2.8	Minimal Use of Groups - Model groups should not be used. Detail groups should be avoided	III-306.7	P				
2.9	All room/space placed/enclused/numbered	X III-307	F				
2.10	Spatial Coordination	X III-308	F				
2.11	Model Reconciliation	X III-309	F				
<b>3. Data &amp; Parameters</b>							
3.1	All Assets Identified	X III-402.1	F				
3.2	Asset Design Information Complete	X III-402.2	F				

Fig. 6 Checklist cliente - Máximo. Fuente: SENER BIM office (2019)

Para dar agilidad al proceso de control se usó por parte de Gestión BIM del proyecto de instalaciones las herramientas propias de Autodesk: Model checker de BIM Interoperability tools, creando de ésta manera una plantilla de control de los diferentes aspectos que se encontraban en la tabla mencionada anteriormente.

- MODEL CHECKER

Gracias a ello, la anticipación en las valoraciones que podía hacer el cliente en función de su checklist, fue fundamental para obtener un buen resultado de calidad a nivel BIM y satisfacción por la parte del cliente final.

### 2.7 Automatizaciones

La exigencia tanto en calidad como plazos supuso un punto de inflexión en cuanto al número de automatizaciones en lo que ha modelado se refiere. Desde la aplicación y generación de diferentes rutinas de DYNAMO e incluso directamente sobre la API de REVIT para agilizar procesos manuales varios.

A modo de ejemplo. se expone a continuación un ejemplo la automatización de ubicación de elementos en función de parámetros concretos.

- Caso de compuertas cortafuegos

El aeropuerto con 70000m2 dispone de un diseño complejo de HVAC que requería de la ubicación de compuertas cortafuegos en conductos de diferentes tamaños y varias localizaciones. La reiteración de cambios arquitecturales generó la necesidad de automatizar el proceso.

La rutina identifica los parámetros de resistencia al fuego de las paredes/muros/suelos modelados en arquitectura y analiza la RF correspondiente para elegir la compuerta cortafuego en su tipo/posición y tamaño correcto.

### 3. Conclusiones

La parte técnica en entorno BIM que deriva en esta comunicación es el afianzamiento y lecciones aprendidas relacionadas con los puntos anteriores:

#### 3.1 Usos

- 2D y 3D: El hecho importante a destacar en éstos apartados reside en la realización y levantamiento de elementos existentes. Una buena previsión del tiempo en levantar los equipos existentes según disciplina es fundamental para el éxito.

- La coordinación y modelación de los equipos existentes es fundamental tener una nube de puntos como partida de modelado. El coste de levantamiento puede resultar un riesgo si no es contemplado.
- Por otro lado, la importancia de las reglas de interferencias y el concepto de minimizar el número de interferencias a resolver con el objetivo de evitar el “interferencias free”.
- 7D: El equipo destacó la importancia de tener los inputs necesarios de la parte de mantenimiento en etapas tempranas. Los inputs deben estar gestionados, aumentados y coordinados durante cada fase de proyecto. Las informaciones incluidas en parámetros de los elementos del modelo se deben acordar del principio y analizar si son nativos o no.

### 3.2 Interoperabilidad

- Requisitos BIM del cliente: el control del número de parámetros volcados en el modelo representaba un hándicap a la hora de explotar del todo las diferentes interoperabilidades. En el caso de AUTOSPRINK RVT, el plug-in vuelca un contenido de información en los parámetros para el cálculo hidráulico que no era de agrado del cliente final. La solución de usarlo en un modelo desenlazado supuso un incremento de tiempo.
- El CDE del proyecto, con el uso ya citado del C4R, supuso un impedimento en cuanto al tiempo de sincronización en ciertos modelos. El refrescado continuo de modelos de trabajo no permite una gestión de re-trabajos correctas.
- DIALUX y las rutinas de volcado de información en el modelo al estar en la nube resulto inoperativo el volcado bidireccional.

### 3.3 Cohesión de equipo

- Valores y oportunidades fortalecieron las relaciones entre profesionales dentro mismo departamento.
- El eje de referencia en el entorno colaborativo, las personas/profesionales son los más importante en el éxito,

## Referencias

### Página web

AUTODESK. <<https://www.autodesk.es/>> [Consulta: 25 de febrero de 2020]

SENER INGENIERIA Y SISTEMAS <<http://www.ingenieriaconstruccion.sener/>> [Consulta: 10 de Junio de 2013]

### Normas: (ISO, UNE...)

DEN Airport (2017). BIM DSM. Copyright ©1989-2017. Lugar de publicación: United States of America.

Congreso Internacional BIM **9º** Encuentro de Usuarios BIM  
**BIM INTERNATIONAL CONFERENCE**



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

