

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Máster en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura



TRABAJO FIN DE MÁSTER

De nube de puntos a BIM.

Caso práctico: *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie,*
Braunschweig.

Alumno:

Marcos González Domínguez

Tutoras:

Dra. Susana del Pozo Aguilera

Dra. Susana Lagüela López

Ávila, a 19 de julio de 2020

Agradecimientos

A Marta, que ha vivido de cerca este TFM que representa el final del máster. El final de una época en la que hemos cambiado juntos de idioma, de estados y de número. El final de dos años viviendo en una pantalla, durmiendo poco y viajando mucho.

A mi padre, por su inagotable interés y opiniones.

A las doctoras Susana del Pozo Aguilera y Susana Lagüela López, por sus recomendaciones.

Índice

1. Preámbulo	6
2. Introducción	7
2.1. Aproximación lingüística	7
2.2. Aproximación técnica	8
El todo es menos que la suma de sus partes	9
2.3. Aproximación socioeconómica	10
3. Antecedentes	12
3.1. Qué es BIM	12
3.2. Dimensiones BIM	14
Tercera dimensión	14
Cuarta dimensión	15
Quinta dimensión	15
Sexta dimensión	16
Séptima dimensión	16
3.3. Niveles de detalle	16
Control de ejecución	17
3.4. Estado del BIM	19
Agenda Digital para Europa.	19
Directiva 2014/23/UE	19
Manifiesto BIMCAT Barcelona.	19
Estrategia Nacional BIM	20
Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo.	20
Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Públi- co, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febre- ro de 2014.	20
Obligación de ejecutar en BIM todos los proyectos construc- tivos de edificación con financiación pública.	20
Obligación de ejecutar BIM en todos los proyectos de infraes- tructuras con financiación pública.	20
Real Decreto 1515/2018, de 28 de diciembre, por el que se crea la Comisión Interministerial para la incorporación de la metodología BIM en la contratación pública.	21
4. Objetivos	22
4.1. Objetivos generales	22
4.2. Objetivos específicos	23

5. Caso de estudio	24
5.1. El edificio	24
5.2. El sensor	25
5.3. Los datos	26
5.4. Toma de contacto	27
5.5. Preprocesado	29
5.6. Entrar en Revit	30
6. Dimensiones	31
6.1. Edificio	31
6.2. Muros exteriores	32
7. Modelado	33
7.1. Niveles	34
7.2. Muros	35
7.3. Puertas	36
7.4. Huecos	38
7.5. Ventanas	38
7.6. Habitaciones	40
8. Resultados	42
9. Validación	43
9.1. Dimensiones	43
9.2. Muros	44
9.3. Puertas y huecos	44
9.4. Ventanas	45
10.Revisión de objetivos	46
10.1. Objetivos generales	46
10.2. Objetivos específicos	46
11.Conclusiones	48
12.Epílogo	50
13.Lista de figuras y tablas	51
14.Glosario de abreviaturas y acrónimos	53
15.Bibliografía	54
A. De lo útil y lo estético	55

1. Preámbulo

Esta memoria forma parte del Trabajo Fin de Máster (TFM), paso previo y último para la obtención del título de Máster Universitario en Geotecnologías Cartográficas en Ingeniería y Arquitectura impartido por la Universidad de Salamanca en el curso académico 2019/2020.

En 2018 consideré que era posible la finalización de la titulación en un curso compaginado con mi actividad laboral, en el propio sector. Estos apuntes personales aparecen con la intención de explicar sucintamente cómo se ha llegado al trabajo que aquí se presenta. Como consecuencia de una primera matriculación, propuse una temática diferente para el TFM. Las circunstancias cambian; tuve que dejar la ciudad de Múnich y la empresa de la que formaba parte los últimos cinco años, lo que supuso perder el acceso a instrumental y proyectos reales. Así pues, al año siguiente planteé este trabajo como posible, no sin muchas dudas en la elección del tema.

En la actualidad resido en la Comunidad Valenciana y además de las circunstancias anteriores el país se encuentra en Estado de Alarma. Tanto el edificio a medir como la Escuela Politécnica Superior de Ávila (EPSA) se encuentran cerrados.

El láser escáner representa para mí una cierta vanguardia, he trabajado con él los últimos años y tengo claro que quiero que sea por donde mi trayectoria curricular transite. Entre las asignaturas que hasta aquí me han traído varias tratan sobre este instrumental, lo que ha avivado mi interés y hace oportuno el trabajo. Cono-

ciendo el sector de la construcción desde dentro considero importante no quedarse atrás. No hablamos de una actualización de programas o novedades en el instrumental; la forma de construir, gestionar y mantener estructuras e infraestructuras ha cambiado. Es, conceptualmente, otro planteamiento y espero, al acabar este TFM, haber obtenido una visión de conjunto de estos nuevos tiempos, así como de la manera idónea en que Topografía y Cartografía encajan en la nueva forma de concebir la construcción.

2. Introducción

Según varios economistas, desgraciadamente España constituye un contraejemplo como país en el que no hay motivos para invertir en calidad e innovación. [...] Si observamos países como India o China, donde tienen gran cantidad de trabajadores altamente formados con bajos sueldos, veremos como la productividad de sus empresas se basa en su fuerza bruta, su cantidad de trabajadores. Las empresas españolas están empezando a adoptar esta filosofía debido a la euforia de los sueldos bajos y desgraciadamente están perdiendo competitividad técnica lentamente con respecto a sus vecinos del norte de Europa y también los asiáticos, teniendo todos ellos recursos humanos no tan formados.

(11)

En este apartado se abordan tres aproximaciones diferentes que ayudan a contextualizar la memoria. La primera se acerca a lo que cabe esperar del trabajo; la segunda explora algunos aspectos del desarrollo tecnológico que han posibilitado el instrumental actual; y la tercera señala algunas aristas del marco social y económico actual.

2.1. Aproximación lingüística

Se plantea aquí una primera aproximación al contenido a través del título, que entiende una persona ajena a las disciplinas que intervienen a partir del mismo. «De...a», dos palabras que indican un camino, una dirección, como «de Santurce a Bilbao». Es decir, existe un camino o vínculo que lleva de lo uno a lo otro. Y no sólo muestra la dirección, sino el sentido también. No se plantea, siguiendo el ejemplo, ir de Bilbao a Santurce. Recuerda también a expresiones como «de sólido a gas» y en este caso, el ejemplo sugiere no tanto un camino que lleva de un punto a otro, sino una relación que lleva de un estado a otro. El ejemplo de la sublimación es representativo pues tiene que ver con cambios de estado, con diferentes formas en que una misma cosa

puede presentarse. Aunque parezca liso, enrevesado, incluso traído por los pelos, esos dos ejemplos giran alrededor de sendas ideas que están presentes a lo largo de todo el trabajo.

Una es el camino y su singularidad. Transcurre por unas regiones y no por otras, para llegar de un lugar a otro ha de seguirse un sendero y no cualquiera, y es ese sendero lo que une ambos lugares. Es un vínculo.

La otra es una misma esencia en diferente estado. Una nube de puntos representa un edificio y ese mismo concepto, el edificio, se encuentra representado en un BIM; se tiene, así, la esencia y los estados.

Para completar el repaso detallado del título han de abordarse dos conceptos más. El lugar de partida: la nube de puntos es un concepto que lleva tanto tiempo presente en este gremio que prácticamente no requiere aclaraciones. «Nube» nos da la idea de cohesión relativa, y «puntos», de los elementos que la forman. Si acaso un matiz: las nubes son tridimensionales, existen en el espacio y por tanto, los puntos que la forman serán puntos en el espacio.

Explicar, sin embargo, qué es BIM, va a requerir algo más de desarrollo. Para completar la comprensión del título puede definirse el BIM como un modelo virtual del edificio en cuestión. Hay que aclarar que esta explicación sólo puede tomarse como vaga aclaración de un concepto que se verá detalladamente.

En este punto, tanto la persona experta en estas cuestiones como la recién llegada puede tener una idea aproximada de lo que este trabajo plantea.

Por último, como juego orientativo, se proponen dos búsquedas en Internet. En este caso se utiliza el motor de búsqueda de Google. Al buscar la expresión BIM¹ aparecen 105 millones de resultados, mientras que si se busca el título exacto del trabajo (De nube de puntos a BIM) aparecen nueve resultados. Una última búsqueda para dar referencia al juego: por CAD² muestra 823 millones de resultados. Esto ilustra la dimensión tan importante del BIM y la especificidad del asunto que aquí se trata.

2.2. Aproximación técnica

Se ha comentado ya lo que es una nube de puntos, pero no tanto cómo se obtiene y su importancia. Una nube de puntos, la línea de salida del trabajo, es lo primero y lo único. No existe forma de registrar el mundo real o analizarlo de forma no puntual. La humanidad, de momento, sólo es capaz de hacer medidas discretas. La temperatura del mar en un punto. O en dos o en mil, pero puntos. Se conoce

muy bien cómo trabajar con datos, cómo representarlos, extraer conclusiones globales o confeccionar mapas de coropletas; pero la forma de medir es únicamente discreta. Esto no contradice que la cantidad de información discreta de un determinado objeto o fenómeno pueda ser tan grande que pareciera que se trate de una prospección continua. De igual manera que cualquier punto es imperceptible a una distancia, varios puntos son indistinguibles a una separación concreta.

En Topografía, generalmente, las nubes de puntos se toman dando valor a la singularidad del punto. Se mide un punto concreto del mundo real por su valor semántico, una alcantarilla, por ejemplo. Alguien decide que ha de ser ese punto y no otro. El avance de la tecnología ha facilitado la captura de datos aunque en esencia, es lo mismo. No nos remontamos a la brújula y la cinta métrica, nos basta dar un sólo paso hacia atrás, hasta las estaciones totales. Realizan mediciones en un sistema polar tridimensional donde un punto queda definido por dos ángulos y una distancia. Los ángulos se miden electrónicamente en el interior del instrumento y la distancia se calcula en función de una emisión. Lo que han conseguido los avances es que no sea necesario medir punto a punto. No se requiere de una persona que discierna qué punto es de interés y dirija el instrumento hacia él. Se conoce como captura masiva de datos y consiste en medir muchos puntos de manera consecutiva y ordenada. Esto tiene claras ventajas, como la rapidez. Se mantiene la forma de registrar cada punto, dos ángulos y una distancia. Se hace lo

¹Las búsquedas se realizan entrecomilladas para filtrar los resultados y evitar entradas demasiado alejadas del concepto, de la siguiente manera: "BIM".

²*Computer Aided Design* (CAD), en castellano diseño asistido por ordenador.

mismo que antes pero a toda velocidad e indiscriminadamente. El cambio de capturas singulares a masivas lleva asociado un cambio de sujeto sobre quién recae el valor semántico. Ya no es un punto que representa la alcantarilla, es un punto más de la alcantarilla y sólo tiene significado al estar junto a otros puntos. Se traslada una parte de la significancia de lo singular a lo plural.

Por la parte que a este trabajo ocupa, la captura masiva de datos se realiza con un instrumento denominado escáner láser, el cual registra el entorno realizando un barrido.

El todo es menos que la suma de sus partes

Podemos plantear que los sistemas de levantamiento que intervienen en este trabajo son un ejemplo de la aplicación conjunta de técnicas diferentes con un objetivo común, algo propio del mundo actual. En muchos casos no hablamos de nuevos descubrimientos, sino de cambios en los objetivos, en el producto buscado. Un buen ejemplo de esta situación es la tecnología *Bluetooth*. Es cierto que las versiones cambian, se estabilizan estándares o se aumentan las compatibilidades; pero estos cambios son independientes de su uso, de su aplicación. Así, se tiene una tecnología que en esencia transmite información entre dispositivos: teléfonos móviles, coches, auriculares, sistemas domóticos y otros muchos. Al tratarse de una tecnología con un elevado nivel de madurez, desarrollada y consolidada, permite ser replicada en casi cualquier caso que podamos imaginar. Decir esto es hablar de combinación e integración.

En las últimas dos décadas, aparatos que se utilizaban en Topografía y Cartografía han tenido un desarrollo enorme en cuanto a precisiones, autonomía y velocidad. Fijémonos en un teodolito y un distanciómetro. Cuando surgieron los distanciómetros electromagnéticos eran un dispositivo en sí mismo, como el teodolito. Y se utilizaban por separado, el segundo puntualmente en apoyo de las capacidades del primero. Pero la ciencia avanzó en muchos campos, en óptica, en el desarrollo de baterías mejores, etc, hasta que este uso combinado, esta hibridación, dio lugar a un nuevo aparato que hoy conocemos como estación total. Ya no se concibe la medición de ángulos separada de la de distancias en escalas topográficas. Y no sólo se ha producido hibridación de instrumentos o dispositivos; también de conceptos abstractos y matemáticos. El Filtro de Kalman, que en la década de los sesenta del siglo pasado revolucionó la exploración espacial, se encuentra presente en los cálculos de trayectoria de un dron doméstico o un escáner láser móvil.

El desarrollo de escáneres láser móviles, como el que interviene en este trabajo, es resultado de la misma filosofía de hibridación. En este caso, podemos considerar la hibridación de escáneres con sistemas de medida inerciales conocidos como IMU (del inglés, *Inertial Measurement Unit* (IMU)).

Lo que se entiende por escáner láser en el contexto del trabajo y de la Topografía ya se ha comentado someramente, instrumento de captura masiva de datos, es decir, de puntos. La mayoría de ellos pueden registrar características asociadas al punto como el color o la reflectancia.

De una IMU, sin embargo, no se ha comentado nada. Este dispositivo realiza mediciones consecutivas de aceleración y rotación, tantas como la frecuencia del sistema permita. Generalmente están compuestos por acelerómetro, giróscopo, magnetómetro y barómetro, aunque no siempre están todos presentes, dependiendo de su uso. El procesado de los datos arrojados por estos dispositivos de forma integrada y combinada permite conocer la posición y orientación del centro de la unidad en todo momento y a partir de ahí reconstruir la trayectoria y, posteriormente, la posición de los puntos en que el láser ha rebotado.

La idea de hibridación queda patente. Diferentes tecnologías van escalando su uso integrándose cada vez en unidades mayores, en dispositivos más complejos.

Con sólo mirar a nuestro alrededor encontramos ejemplos de dispositivos sencillos que se unen en otros más complejos. Pantallas, ordenadores, teléfonos móviles, coches. La hibridación, a la que en este apartado se refiere como la suma de la partes, no es una mera yuxtaposición de elementos. Es imprescindible una integración de los aspectos no físicos de los dispositivos. Se mencionaba el Filtro de Kalman, algoritmo que vincula matemáticamente acelerómetros y giróscopos. Esta comunicación y relaciones necesarias en la hibridación y construcción de artefactos más complejos son la riqueza añadida a la mera colocación de dispositivos en una estructura común.

2.3. Aproximación socioeconómica

Una de las muchas características del mundo actual es la imperiosa necesidad de inmediatez. Es una demanda social que afecta a muchos aspectos del mundo de hoy día. Afecta al periodismo, que busca contener la noticia en el título, a la política, que debe presentar una solución aunque no haya diagnóstico, afecta a la logística del comercio, que debe mover un paquete cientos o miles de kilómetros en el mismo momento de la compra y afecta a muchas otras industrias. Se quiere rentabilidad inmediata de ahorros, la instalación instantánea de aplicaciones, que alguien nos haga saber en lugar de aprender. Estas demandas de inmediatez junto con las de automatismo afectan también a la ciencia y al desarrollo tecnológico, marcando el camino.

En las cuestiones científico técnicas la reducción de tiempos tiene una clara vertiente económica. Acertadamente o no, se acepta que lo que requiere menos tiempo ha de tener un precio más bajo. Si es posible tener el plano de una vivienda en cinco horas en lugar de doce, tiene, a la fuerza, que ser más barato.

Sin alejarse mucho de la orilla, pues no es este un asunto que incumba al trabajo, se considera apropiado señalar el marco en el que nos encontramos. La automatización de procesos está presente en las demandas actuales y muy en especial en la filosofía BIM. El ahorro de tiempo y esfuerzo programando inteligencias de silicio para liberar la capacidad mental, la inteligencia de carbono, es una constante en la forma de abordar los problemas desde una perspectiva BIM. Se habla de

economía de recursos y los mentales, desde luego que lo son.

En estos párrafos se está hablando de desarrollo tecnológico y en esto España no cuenta ni con una buena posición mundial ni con planes que lo remedien. La pérdida de tejido industrial es más que patente y el modelo de desarrollo no invita a la inversión.

3. Antecedentes

BIM se ha entendido en España como cambio de software no como cambio de forma de trabajar.

Javier García Montesinos (12)

Existe una falta de coordinación desde la perspectiva española de la adopción de BIM, especialmente por la circunstancia de las autonomías. Probablemente Cataluña lidera este tema, pero también hay una falta de coordinación interna entre los diferentes organismos públicos, especialmente a nivel local y municipal.

David Delgado Vendrell (13)

En la actualidad no existe un Marco Educativo de BIM que haya sido desarrollado por el mundo académico, ni unos objetivos de capacitación definidos por los diferentes agentes.

(13)

A la hora de afrontar este trabajo lo hago con seguridad, a pesar de que el asunto principal no lo he tratado nunca. Influye en esto que lo afronto habiendo pasado ya una buena temporada en el mundo laboral, que tiene perspectivas y prioridades diferentes al académico. Por otro lado, este es el tercer trabajo que desarrollo como cierre de una titulación. Primero fue un Proyecto Fin de Carrera (PFC), después un Trabajo Fin de Grado (TFG) y ahora un TFM. Como alumno que tiene experiencia en esa circunstancia, soy consciente de cómo cambia la forma de abordarlo y los equilibrios entre lo necesario y lo importante. Me parece ver un cierto patrón en los primeros trabajos, que se encuentran atestados de información, explicaciones y demostraciones que, siendo correctas, quizá no sean tan necesarias. En ocasiones parece que se pretende hacer un compendio de todo aquello que interviene; y volver a explicar los sectores del *Global Navigation Satellite System* (GNSS) y los gráficos del espectro electromagnético.

Quiero decir con esto que encuentro innecesaria una explicación exhaustiva de absolutamente todo. No sé si será com-

partido pero las dos circunstancias a las que me he referido me han dejado un poso de relativismo y contexto. Todo depende de algo anterior pero, y llevándolo ahora al absurdo, no todos los trabajos tienen que demostrar la proporción áurea. El contexto de este trabajo es el máster al que da fin. Quienes estamos alrededor de la memoria tenemos ya una jerga y una visión compartida que facilita la comunicación. No quiere esto decir que pase de preámbulo a conclusiones, estos enrevesados párrafos son para aclarar los motivos por los que sí voy a entrar al detalle de asuntos que son bien conocidos por todos.

Pretendo abordar con minuciosidad qué es el *Building Information Modeling* (BIM). Y esto, que podríamos calificar como contradicción, es lo que pretendo hacer. Espero que al final de este capítulo lo calificaremos como necesario, o adecuado al menos.

3.1. Qué es BIM

En una primera aproximación, ojeando informes y legislación sorprende que la idea que se tenía del BIM al presentar la

propuesta no era del todo acertada. En los Estudio Macro de Adopción BIM en España de 2018 y 2019 hay varias afirmaciones que sorprenden. Éstas, han dejado patente la necesidad de profundizar por menorizadamente en la metodología y abandonar algunas ideas preconcebidas.

En consecuencia con los párrafos anteriores se hace necesario un comienzo canónico, un comienzo por el principio mismo de las cosas. BIM son las siglas en inglés de *Building Information Modeling* que en castellano se traduce por modelado de información para la construcción. El título resulta muy descriptivo; en esencia, un BIM es dar forma a información. Y ello con un fin, la construcción. Este abordaje clásico de un concepto no resultaría provechoso si no se resalta lo relevante. De lo visto hasta ahora, hay que destacar que la B no es de edificio, sino de construcción. Es decir, el motivo de moldear o modelar la información no es la edificación sino la construcción, término este que contiene al anterior. Así, un BIM es de aplicación en edificación, en obra civil, portuaria, etc. Según el *Cambridge Dictionary*, *building* es, en su segunda acepción *the process or business of making structures such as houses or factories* (10). En su primera acepción se refiere a una estructura con muros y tejado, lo que se entiende comúnmente por edificio. Es posible que parte de la confusión sobre el entorno de aplicación de esta nueva metodología radique en la polisemia de la palabra.

Un estudiante de este máster no puede dejar pasar la ocasión sin señalar el paralelismo de algunos conceptos.

BIM, *Building Information Modeling*

Salta a la vista la similitud. Resulta sutil la diferencia entre sistema de información y modelado de información. Y los parecidos continúan si sacamos a colación las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE). Infraestructuras, modelado, sistemas, conceptos que giran siempre en torno a la información y los datos. Estamos ante una manifestación más de la influencia de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). Poco a poco van revolucionando el campo que pisan y parecen tener una constante: información organizada.

Sin embargo, la organización lleva en la sociedad mucho más tiempo. Si un peatón quiere cruzar una calle, sabe por dónde y cuándo debe hacerlo. Conoce la semiótica, una determinada pintura en el suelo le dice dónde, un determinado color o su posición, le dice cuándo. Un ejemplo más cercano y quizá más propio del mundo universitario, son las bibliotecas. Cualquiera que conozca el sistema de catalogación, llegará al ejemplar que busca. De tal manera que cuando varias personas buscan el mismo código, llegan al mismo libro. Y aún más, si alguien arranca una página del libro, quienes vengan detrás no la encontrarán. Estos ejemplos, que son de Perogrullo, ilustran que la idea de gestión de información es muy antigua. Con las tecnologías actuales las ventajas son incomparables, pero vuelve a aparecer una constante. Codificación, catalogación, en definitiva, estándares. En otra época el estándar más extendido era quizá el orden alfabético o el numérico. Salvando las distancias con los ejemplos anteriores, si una ingeniera industrial se conecta a un servidor desde Alemania y modifica una parte de los

GIS, *Geographical Information Systems*

sistemas de ventilación de un proyecto, la próxima vez que alguien encargado de los presupuestos entre al mismo servidor desde Brasil y continúe con su trabajo, verá que se ha realizado una variación. El encargado de los presupuestos verá, gracias al uso de estándares, que falta una página.

Se plantea ahora una definición entresacada de varias fuentes, que se tomará como la que este TFM y su enfoque aportan. BIM es una metodología de trabajo que gira entorno a una maqueta virtual de la estructura a la que concierne. El objeto de dicha metodología son edificaciones e infraestructuras y su objetivo es la gestión de las mismas mientras existan.

Completando la definición puede decirse que la vida de la maqueta es solidaria a la de la estructura y debe ser el espejo virtual del objeto; que el objeto al que conciernen puede ser casi cualquier estructura física creada por el hombre, aunque el campo que lo originó y para el que se están desarrollando, son las *Architectural, Engineering and Construction industry* (AEC), en castellano sectores de la Arquitectura, la Ingeniería y la Construcción.

Al pasar de la idea más general de lo que es un BIM e ir profundizando aparecen nuevos conceptos, abreviaciones, siglas, etc. En definitiva, una jerga propia que poco a poco hemos de adquirir. Ayudará a delimitar y centrar este trabajo dentro de la metodología BIM que, como hemos visto, lo abarca todo.

3.2. Dimensiones BIM

Existen diferentes tipologías de BIM a las que se denomina dimensiones. Van de tres a siete y cada una de ellas contiene a las anteriores. Aunque son tipologías pueden verse también como estadíos, puesto que cada dimensión es la base necesaria para añadir la siguiente. Esto no quiere decir que un BIM de tercera o de cuarta dimensión esté incompleto, que le falten aún cuatro o cinco. Por ello, se denominan frecuentemente como tipologías de BIM. Como es bien conocido en las disciplinas técnicas, la respuesta más acertada suele ser «depende». Así, en función de estas necesidades se elige una dimensión u otra.

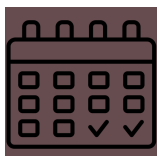
La primera dimensión que se contempla es la tercera, situación esta que viniendo de años de CAD no requiere de mayor explicación.



Tercera dimensión Esta dimensión se caracteriza por objetos. Todos aquellos que sean necesarios, desde columnas, vigas y forjados a sistemas de iluminación, señalización o enchufes. Cada objeto, además de sus dimensiones, requiere de más información, de unas propiedades, unas visualizaciones definidas, etc. Es todo el edificio. Por ejemplo, se selecciona un cable. Además de unas dimensiones y una posición en el edificio tiene un aspecto, un color técnico de visualización, un fabricante que garantiza que cumple una determinada norma *International Organization for Standardization* (ISO), tiene una sección en milímetros, apta hasta un amperaje, con un aislamiento de un material con un espesor. Un ejemplo de

ventaja del uso de la metodología cuando el BIM se encuentra correctamente realizado: por alguna razón, una habitación del hospital que se aloja en el edificio, que estaba inicialmente pensada para gimnasio de rehabilitación, se cambia de uso y ha de alojar un escáner. Un BIM permite instalar ese nuevo elemento en el modelo virtual y, junto con sus características y algunas reglas de cálculo, notificará que el cableado planificado no satisface las necesidades de tensión eléctrica de la máquina.

Dimensión de modelado: descripción gráfica, información geométrica, visualización del proyecto, objetos con propiedades, detección de conflictos, diseño estructura, diseño *Mechanical, Electrical and Plumbing* (MEP), especificaciones, valores de insolación, requisitos lumínicos, etc.



Cuarta dimensión A las tres dimensiones anteriores se añade el tiempo, creándose así un plan de ejecución o una construcción por fases. Siguiendo con el ejemplo

hospitalario, si se aborda una remodelación tiene sentido hacerlo por fases y compaginar la reforma con el funcionamiento habitual. Para tomar esa decisión pueden realizarse varios modelos de actuación, por alas, por plantas o por grupos de plantas de dos en dos. El modelo detectará, por ejemplo, que en la fase seis, al acometer las plantas 11 y 12, no se ha duplicado una canalización de oxígeno de la planta 10 a la 13. O que hay que anular los botones 11 y 12 de tres grupos de ascensores y rehabilitar los botones 9 y 10, sin función en la fase cinco.

Se puede también, al añadir el tiempo, simular su ciclo de vida o de mantenimiento. Hoy, que del hospital no se ha puesto ni un ladrillo, se sabe que en febrero de 2057 coincide el final de vida útil de un tipo de juntas del sistema de calefacción, la revisión de las bombas de vacío y acaba el plazo para dar una mano de pintura antibacteriana en las áreas de pediatría. Se puede realizar una planificación más eficiente con el uso del BIM evitando sorpresas, desbordamientos, carencias por retrasos, etc.

Dimensión de programación: diseño del plan de ejecución, simulación de construcción, simulación de fases del proyecto, simulación de instalaciones, simulación del ciclo de vida, simulación solar, viento y energía, chequeo *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED).



Quinta dimensión Esta dimensión se caracteriza por los costes y gastos. En fase de construcción, por ejemplo, materiales, recursos humanos, licencias, seguros, maquinarias, etc. Volviendo al ejemplo, se conoce cuánto va a ser el gasto de mantenimiento del tercer año, salvando subidas de precios, avances tecnológicos y otros cambios semejantes. Por ejemplo, se cambia el tipo de iluminación de las salas de espera, más cara de adquirir pero con ventajas en el mantenimiento (más accesibles para reparaciones) y con una vida útil mayor.

Dimensión de estimación: modelado conceptual en tiempo real, estimación de costes, cantidades de materiales, costes operativos, soluciones de prefabricación,

comparación de precios, selección de profesionales, coste del ciclo de vida, estudio comparativo.



Sexta dimensión Es la dimensión de la sostenibilidad. Modelos de eficiencia energética considerando todo el edificio, muros, aislamiento, cerramientos, horas de incidencia del sol en cada planta, etc. Calcular el gasto energético o la huella de carbono utilizando una fuente energética u otra o cómo se reduce el gasto en climatización si en la fachada sur se aumenta el espesor de la capa de aislamiento de 15 a 23 cm.

Dimensión de sostenibilidad: análisis energético, variaciones e interacciones de la envolvente, seguimiento de los elementos sostenibles, seguimiento LEED.



Séptima dimensión La última dimensión que contempla esta metodología es el mantenimiento. «Esta línea de servicios da el control logístico y operacional del proyecto durante su uso prolongando la vida útil y eficiencia del mismo. Puede aplicarse a proyectos en fase de planificación, en desarrollo y ya en funcionamiento.» (7)

Por ejemplo, una remesa de material fungible nuevo que por especificaciones no puede apilarse en lotes de más de cinco alturas. ¿Cuánto puede almacenarse? ¿Cuánta superficie de almacén equivale a un mes de ese suministro? ¿O qué almacén destinar para él? Si se usa el siete se inutiliza en volumen, mientras que si se emplea el tres, que es más bajo, queda

libre el siete para otros acopios más voluminosos.

Dimensión de mantenimiento: BIM As Built, modelo de operación y mantenimiento, control de la logística del proyecto, estrategia BIM del ciclo de vida útil, plan BIM de mantenimiento y soporte técnico.

De lo anterior se desprende que existen diferentes tipologías que no tienen que ver con la calidad de un BIM, sino con las necesidades del proyecto que se tenga entre manos.

De igual manera que se elige una dimensión u otra en función de las necesidades, cada BIM, independientemente de esto, puede tener diferentes niveles de detalle. Esto se define, también, en consonancia con los requerimientos del proyecto. Si sólo se quiere conocer la sombra que el hospital arroja sobre edificios cercanos en función del número de plantas, no son necesarios los coeficientes de aislamiento de las ventanas.

3.3. Niveles de detalle

El término adecuado para lo que aquí se denomina como niveles de detalle es *Level of Development* (LOD) y existen cinco niveles. No tiene relación alguna con que haya cinco dimensiones.

- LOD 100 Diseño conceptual
- LOD 200 Desarrollo de diseño
- LOD 300 Documentos para construcción
- LOD 400 Fabricación y montaje
- LOD 500 Operación y mantenimiento

En este repaso más profundo a la nomenclatura y tipología BIM reaparece una constante. La dualidad del modelo geométrico y paramétrico, de forma parecida a la dualidad onda-corpúsculo enunciada por De Broglie. Describió el fenómeno por el cual algunas partículas se comportan como ondas en ocasiones y en ocasiones como partículas. En esta analogía, un elemento interfiere en ocasiones con el modelo geométrico y en otras con el paramétrico. Se trata sólo de un ejemplo, una analogía que no resiste mucho análisis. Al fin y al cabo en un modelo virtual las dimensiones de un objeto son también parámetros; pero ayuda a entender la necesidad de estos. La geometría de un muro puede ser sencilla pero sin parámetros no se concibe el BIM. Qué forma el muro, qué densidades tiene, qué diámetro de áridos, volumen de poros accesibles por unidad de volumen, etc. El mismo modelo responde o se muestra de manera diferente ante análisis geométricos o paramétricos.

Esta dualidad intersecta con varias ideas relevantes en este TFM. Una es el concepto de *As Built*, del inglés, tal como está construido y es propio de la séptima dimensión BIM. Hasta ahora se ha considerado y ejemplificado con un planteamiento lineal de diseño, ejecución y mantenimiento, pero ¿qué ocurre con las construcciones ya terminadas y en funcionamiento que no han empleado estas metodologías?. ¿No pueden obtener los beneficios de un BIM 7D el resto de su vida útil? Desde luego que sí. Y aquí es donde generalmente entran a jugar un papel propio la Topografía y la Cartografía. Son estas disciplinas las que han de registrar el edificio tal y como está construido para crear un modelo BIM.

Y esto es algo muy conocido en la profesión, su división más clásica: del plano al terreno y del terreno al plano.

Hay en esto un matiz relevante. Del plano al terreno el comportamiento paramétrico de los elementos, a ojos de la Topografía, era despreciable. Todo a lo que se llegaba era a la geometría, sin importar si el ancho del pilar aguanta la estructura o que la puerta cumpla la normativa de incendios. Pero cuando ahora vamos del terreno al plano, de la nube de puntos al BIM, la mera geometría es del todo insuficiente. Si sólo se registra la geometría se estaría ante un modelo tridimensional del edificio, y ya se sabe cuanto dista esto del BIM. Dependiendo del LOD que precise un trabajo puede representar una complicación importante. Por ejemplo, la estructura que hay dentro de un muro. Es un mundo aún por desarrollar, estándares que todavía no existen y problemas que no han surgido pero que lo harán. Se hacen imprescindibles para este tipo de trabajos equipos altamente especializados y multidisciplinares. Lo que vemos, que en principio es lo que medimos, es la geometría y puede resultar insuficiente para algunas necesidades.

Control de ejecución Al mencionar el papel propio de la Topografía y la Cartografía se hace referencia a un rol más novedoso y actual. Ambas disciplinas intervienen en la construcción clásica y lineal (diseño y construcción) cuando no se utiliza metodología BIM.

Cuando el proyecto sí utiliza metodología BIM también intervienen en el diseño (levantamiento previo) y en la ejecución (replanteos). Por ejemplo, en un primer

levantamiento, ya sea urbano o para obra civil, el proceder es el mismo, con y sin metodología BIM. El cambio principal es el formato en que se entrega o el programa con el que se dibuja. La geometría sigue siendo el aspecto fundamental. Otra cosa es cuando se le incluyen al modelo datos geológicos, por ejemplo, lo cual se aleja de las dos disciplinas mencionadas.

En la fase de ejecución la diferencia principal radica en los formatos de origen de los datos. De una manera u otra han de seleccionarse puntos, que como mucho han de definir ejes, y replantearse.

Cabe mencionar una nueva actividad que está surgiendo en la construcción con estas metodologías y que es importante destacar. Es el seguimiento de la ejecución. Poco frecuente, propio de grandes obras y presupuestos justos, consiste en realizar escaneados periódicos, cada semana, cada hito o cuando convenga, para registrar de forma rápida el estado de la obra. En esta nueva intervención de la Topografía en la construcción tienen una influencia altísima los automatismos y la hibridación. No se busca una precisión milimétrica, pues se tiene ya el modelo BIM *As Built* con toda precisión y es contra este modelo con el que se compara el escaneado de la ejecución.

Bien con escáneres móviles o fijos con nuevas metodologías, generalmente más precisos que los móviles, se recorre la obra. Un procesado semiautomático de estos datos genera «fotografías» periódicas que hacen del control de ejecución una herramienta muy potente. La alternativa, es decir, lo que se hacía hace años, supone o bien un nivel de burocracia semanal importante o más personal

pululando por la obra, libreta en mano, tomando nota del estado actual para introducir estos datos en los programas de ejecución y costes (Presto, Microsoft Project, Primavera, etc.) y obtener al fin una idea de cumplimiento o no de tiempo y presupuesto.

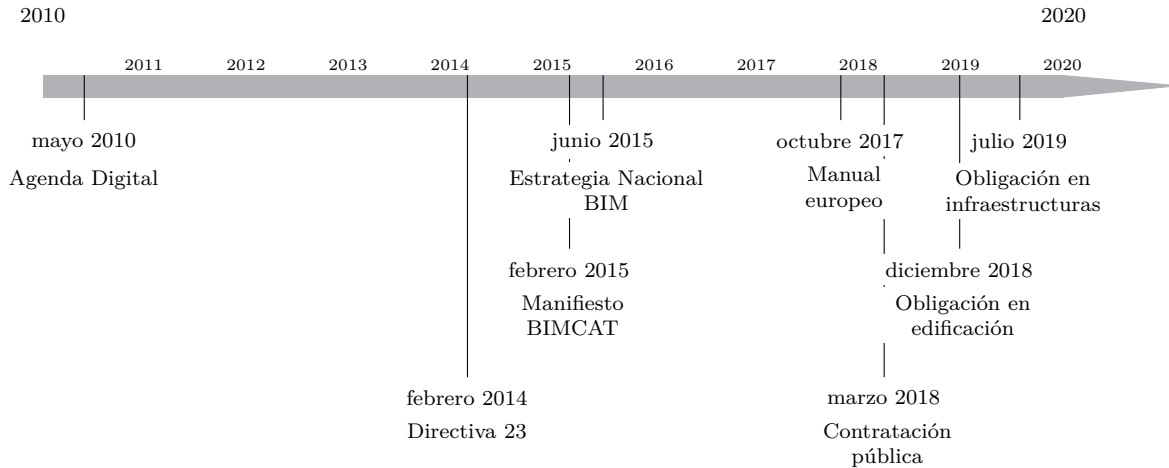
Cuando la semiautomatización es capaz de simplificar estas tareas el ahorro de tiempo, dinero y errores es muy importante. Y cada vez más, puesto que la automatización y la interconexión de programas informáticos de diferentes especialidades es cada vez mayor.

Para cerrar la idea del seguimiento de ejecución, que este proyecto considera y reivindica como la tercera actuación principal de la Topografía, se añade un comentario sobre las metodologías modernas con escáneres fijos. Sobre escáneres móviles este TFM contiene suficiente información, pues es la manera en que se han obtenido los datos. Sin embargo, existen escáneres fijos que incluyen IMU lo que permite una orientación relativa in situ. Esto combinado con un número muy reducido de puntos de referencia determinados con estación total permite buenas precisiones ($\approx 4\text{mm}$) en intervenciones rápidas.

Recapitulando, las ideas de modelo geométrico y paramétrico, levantamiento *As Built*, niveles de detalle y dimensiones, se tiene un marco dentro del cual situar este TFM. El siguiente paso es definir las características y los límites del trabajo.

3.4. Estado del BIM

Hitos del BIM en la Unión Europea y en España



Agenda Digital para Europa. Forma parte de la estrategia Europa 2020, puesta en marcha por la Comisión Europea (CE) en el año 2010 (6). Tras varios años de crisis económica con diferente incidencia en los estados miembros, se pretende corregir algunos errores en el modelo de crecimiento europeo. De esta agenda lo que interesa es la preocupación de la CE por un acceso desigual a Internet de ciudadanos y empresas, así como su interés por potenciar los beneficios de las TIC.

Directiva 2014/23/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de febrero de 2014 relativa a la adjudicación de contratos de concesión (6). Cabe constatar cómo avanza la unificación de la unión en materia de contratación pública. Esta directiva persigue, entre otras cosas, el uso más eficiente de los fondos públicos, así como la participación de pequeñas y medianas empresas en la contratación. Avanza también en la

implantación de las TIC en los procedimientos de contratación. No aparece el concepto de BIM, pero hablar de BIM supone hacerlo de TIC y de eficiencia, no sólo económica.

Manifiesto BIMCAT Barcelona. El Gobierno de la Generalitat de Cataluña y el Ayuntamiento de la ciudad de Barcelona acuerdan crear el «Grupo de Trabajo BIM». Se propone abordar tanto las nuevas construcciones como lo que ya esté construido (1). El calendario de trabajo contempla cuatro objetivos repartidos entre 2015 y 2020. El último consiste en:

- Todos los equipamientos y las infraestructuras públicas deberán producirse con BIM en todas las fases (diseño, construcción y operación).
- Circunscribir este objetivo a todos los proyectos de obra nueva y rehabilitación.

2020 aún no ha terminado y no es objeto de este trabajo analizar el nivel ac-

tual de consecución de objetivos pero es indiscutible que con este manifiesto Cataluña se coloca en la primera línea de las administraciones españolas. El simple reconocimiento formal y público de que la metodología BIM está aquí y que las practicas anteriores no son apropiadas y están obsoletas les coloca a la vanguardia.

Cabe destacar, por el contenido del máster al que este trabajo pertenece, cómo Cataluña, que fue la avanzadilla en España del desarrollo de las IDE, vuelve a serlo ahora. Es una constatación más de la penetración de las TIC y la revolución que suponen en diferentes ámbitos.

Estrategia Nacional BIM Se marca como objetivo «Aumentar la productividad del sector de la construcción y ahorrar de forma significativa el gasto en mantenimiento de activos por medio del uso de sistemas BIM » (3)

Es en 2015 cuando España da sus primeros pasos en actualización con metodologías BIM.

Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo. Este manual responde a los desafíos crecientes a los que se enfrentan gobiernos y clientes del sector público. Busca estimular crecimiento económico y competitividad y, al mismo tiempo, mejorar la rentabilidad de las inversiones públicas a través de la introducción más amplia de BIM. (TASKGROUP) Europa dicta directrices comunes a los países miembros para que los pasos de cada gobierno sean coherentes con sus vecinos y respondan a una

visión e interpretación igual de la metodología. La necesidad de que todos los miembros adopten esta metodología es incuestionable.

Un ejemplo contrario de no tener una visión unificada de la metodología son los Estados Unidos de América (EE.UU.). En este país la implantación del BIM está muy desarrollada pero no así sus estándares y visión de conjunto. Esto provoca que cada gran constructora tenga los suyos y sus propias interpretaciones. Cabe plantear que la Unión Europea (UE) busca la convergencia de sus miembros con tendencia a la homogeneidad mientras que los EE.UU. representan la heterogeneidad y la no regulación.

Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014. Estas disposiciones generales (del Estado) tienen importancia en tanto que recogen y adaptan la disposición europea.

Obligación de ejecutar en BIM todos los proyectos constructivos de edificación con financiación pública. A partir del 17 de diciembre de 2018, en cumplimiento de la Directiva 2014/24/UE, es obligatorio el uso de la metodología BIM para las licitaciones públicas de edificación en España. Esto ilustra el poder y la importancia de la gran maquinaria administrativa europea, que poco a poco, va orientando a sus miembros a interpretaciones comunes.

Obligación de ejecutar BIM en todos los proyectos de infraestructuras con financiación pública. A partir del 26 de julio de 2019, en cumplimiento de la Directiva 2014/24/UE, es obligatorio el uso de la metodología BIM para las licitaciones públicas de infraestructuras en España. El Ministerio de Fomento, quien ha establecido estas fecha y la anterior, materializa una de las exigencias de la directiva.

Real Decreto 1515/2018, de 28 de diciembre, por el que se crea la Comisión Interministerial para la incorporación de la metodología BIM en la contratación pública. Este decreto (Ministerio de la presidencia) es el más importante de la legislación española sobre BIM puesto que es la primera norma aprobada, más allá de la mera transposición de directivas. Hace una breve introducción apoyada en conceptos parecidos a los que aquí se han utilizado como «ciclo de vida», «edificación o infraestructura». También habla de eficiencia en la inversión en términos de «reducción de riesgos e incertidumbres» e «incremento en la calidad».

El objeto principal del mismo es crear un órgano colegiado temporal cuya primera función sea la elaboración del Plan de Incorporación de la Metodología BIM en la contratación pública de la Administración General del Estado. Llama la atención el punto cuarto del artículo cuatro, *Funciones de la Comisión*, donde aborda la representación del Reino de España en foros internacionales «con la finalidad de posicionar a España como referencia a nivel mundial en este campo».

Viendo la trayectoria del BIM en el mundo y en Europa y el claro retraso que

tiene en España es de admirar tal determinación. Esta encomiable actitud del Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes e Igualdad parece tomar otro significado a la luz de la Disposición adicional primera, *No aumento del gasto público*, donde se explica cómo los recursos de cualquier tipo han de salir de los Departamentos ministeriales.

De los países que lo abordan España es de los más retrasados en su implantación, donde parece que se ha entendido mal lo que es el BIM y que se aspira a ser referente mundial con dotación económica y recursos humanos que han de retirarse de otros asuntos. Poniendo en valor la necesidad imperiosa de esta comisión, una parte del decreto parece un brindis al sol.

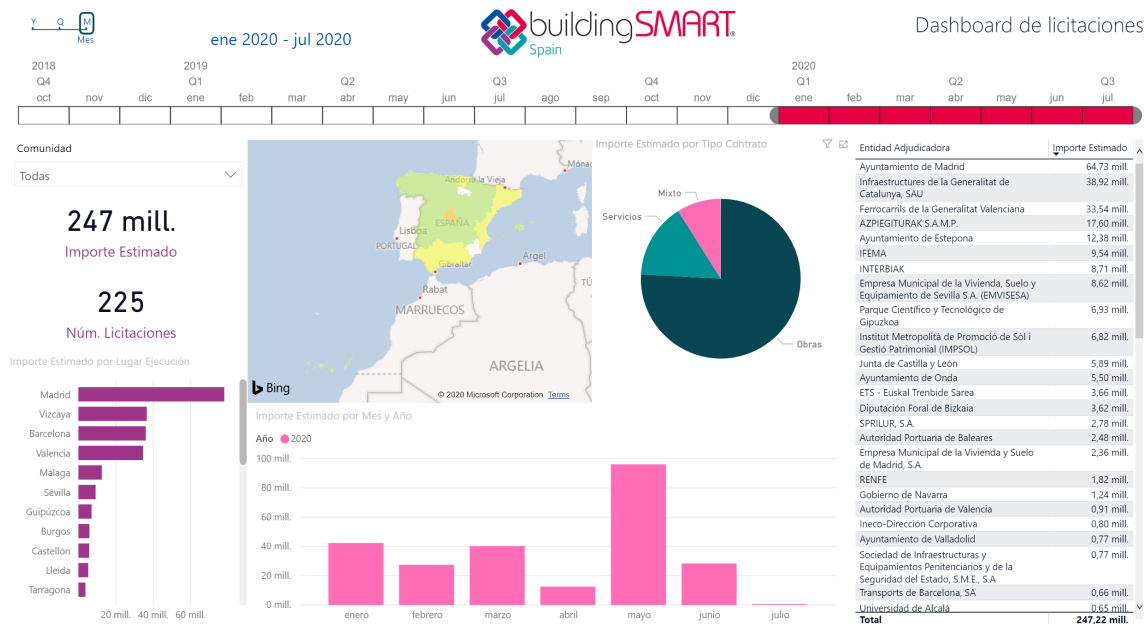


FIGURA 1: pizarra resumen de las licitaciones españolas. En la imagen se muestran el análisis para todas las comunidades autónomas de enero a julio de 2020. Las comunidades que más invierten son Madrid y casi todas las bañadas por el Mediterráneo. Fuente: buildingSMART Spain.

4. Objetivos

Hasta este apartado se han abordado de manera general los diferentes contextos que rodean al BIM. También el significado del mismo y sus características. Uno de los motivos de dicha aproximación, así como de que los objetivos del TFM se encuentren alejados de las primeras páginas, es haber dado un significado previo a las palabras y denominaciones que los definen.

Ahora que se dispone de un marco teórico en el que encajar perfectamente el trabajo es el momento adecuado para definir los límites del mismo.

4.1. Objetivos generales

Podemos esquematizar el presente TFM a través de los siguientes objetivos:

- Creación de un modelo BIM del caso de estudio a partir de una nube

de puntos obtenida con escáner láser. Se obtendrá de forma manual, esto es, sin automatismos que reconozcan elementos geométricos, con el programa Revit de la casa Autodesk. Tendrá dimensión 3, nivel de detalle 100 con especial atención a elementos estructurales.

- Análisis del modelo BIM generado que permita cuantificar la calidad del mismo.



FIGURA 2: modelo de referencia del proyecto de la ISPRS.

4.2. Objetivos específicos

Para la consecución de los objetivos principales se establecen, a modo de hitos intermedios, otros objetivos específicos. Estos, complementan y pormenorizan a los anteriores, además de detallar el camino para alcanzar los objetivos generales.

- Limpieza y tratamiento de la nube de puntos. Se realizará con el programa CloudCompare y pretende preparar la nube de puntos para trabajar con ella en Revit.
- Creación de un modelo geométrico del edificio a partir de la nube de puntos tratada.
- Creación de un modelo paramétrico del edificio asociado al modelo geométrico.
- Desarrollo de dos estilos de visualización, uno técnico y otro realista del edificio con metodología BIM.

5. Caso de estudio

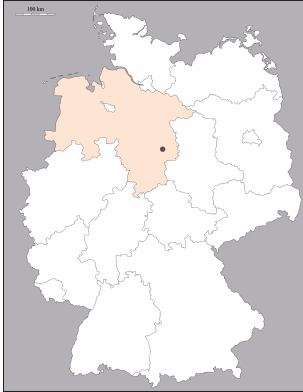


FIGURA 3: mapa mudo administrativo de Alemania. En color el estado confederado de Niedersachsen. El punto sitúa la ciudad de Braunschweig.

Tanto el edificio objeto de este trabajo como los datos de partida tienen una relevancia limitada. Ni lo uno ni lo otro han sido seleccionado y medido a propósito para el proyecto. Surgió la posibilidad de elegir un edificio de los que la ISPRS utiliza en uno de sus estudios. De las varias nubes de puntos que esta institución ofrece se seleccionó la denominada como «TUB2», por ser la única con dos plantas. Además, se dispone del modelo de referencia, lo que permite hacer algunas comparaciones. No obstante, se incluye alguna información de interés y comentarios que pueden ayudar a contextualizar el entorno del proyecto.

5.1. El edificio

El edificio se encuentra en la zona norte de la ciudad de Braunschweig, Alemania. Desde 1993 es sede del *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie* (IGP) de la *Technische Universität Braunschweig* (TUB). La ciudad, con casi 250.000 habitantes³, es la segunda después de Hannover del estado de Niedersachsen. Más consideraciones sobre el entorno empezarían a distraer del cometido principal de este trabajo.

³fuelle: Landesamt für Statistik Niedersachsen. Actualizado a 31 de diciembre de 2018.

Sobre el edificio sí son necesarios algunos datos más. Aunque lo que se comenta a continuación son suposiciones, es de cuanto se dispone. No se ha

visitado el inmueble, no se tienen fotografías del interior y la información disponible en Internet es escasa. Alemania es, en lo administrativo, celosa de su intimidad. La cantidad de información pública a la que en otros países como España estamos acostumbrados no está permitida en algunas regiones alemanas. Por ejemplo, la aplicación *Street View* de Google no dispone de imágenes en toda la ciudad y alrededores hasta Hannover.



FIGURA 4: mapa catastral. En color la parcela donde se encuentra el edificio.

La mayoría del país fue reconstruido o construido a partir de 1948 bajo ciertos parámetros; la rapidez fue uno de ellos. El edificio, a través de las pocas fotografías (véase la figura 5) de que se dispone, parece responder al prototipo. Pocos

niveles, muros gruesos y plantas sin florituras. Muchos de los edificios presentan una planta rectangular.



FIGURA 5: vistas aéreas del edificio. Bienroder Weg 81, Braunschweig. Fuente: Google maps.

Relacionando lo que se sabe del objeto con lo que se ha señalado sobre el BIM en las páginas anteriores se pone de manifiesto que el modelo geométrico tendrá un peso importante.

5.2. El sensor

El dispositivo de captura masiva de datos empleado en la medición es el modelo ZEB-Revo de la marca GeoSlam. El escáner se aloja en un cabezal rotatorio formando un sistema de dos grados de libertad. El cabezal, que aloja la unidad inercial, está unido a un cuerpo fijo con empuñadura. Las baterías y otros elementos accesorios han de llevarse unidos por cables es una mochila, por ejemplo.

Es un dispositivo de mano, de menos de 30 cm de alto y tan sólo un kilogramo de peso. El sistema completo asciende hasta 4.1 Kg, pero con la mochila no resulta problemático. Algunos datos técnicos que pueden dar una idea más precisa del dispositivo (véase la figura 5.3): es capaz de registrar 43,200 puntos por segundo, la resolución horizontal es de $0,625^\circ$ y la vertical $1,8^\circ$. Un dato a destacar es la inoperancia por debajo de los 0°C , situación que se produce mucho más de lo que

puede parecer. Porta un láser de clase 1 de 905 nm.

Lo realmente importante de los escáneres es la precisión angular y el rango operativo. Pero cuando se trata de dispositivos móviles se hace necesario hablar de las precisiones de la nube. Es decir, además de la precisión con que se obtiene cada punto, la precisión global. La estandarización de este concepto es un tema aún pendiente. Así como para otro instrumental se han desarrollado normativas que especifican sin lugar a duda de qué manera y bajo qué condiciones un dispositivo ha de ser testado, aún no las hay para mediciones móviles. Un ejemplo son las especificaciones técnica de una estación total. Cuando el fabricante dice que tiene una precisión angular determinada, especifica qué norma rige esa magnitud. Por ejemplo, la ISO 17123-3, para la desviación estándar angular.

Volviendo al caso de los escáneres móviles, determinar la precisión se vuelve una tarea más compleja. Principalmente, por la gran influencia que tiene el entorno en los algoritmos SLAM, extensamente utilizados en robótica y por el ZEB-Revo.

El fabricante establece una exactitud relativa de «1-3 cm» y el estudio de la ISPRS, de «2-3 cm». Éste último (3 cm) es el valor mínimo de exactitud absoluta. Se esta-

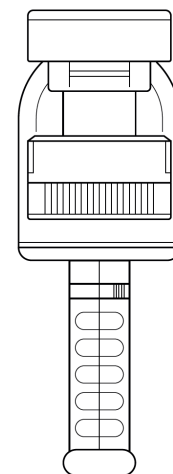


FIGURA 6: esquema de vista frontal del escáner láser de mano Zeb Revo de la casa GeoSlam.

blece una exactitud de posicionamiento absoluto de «3-30 cm». La falta de estándares más desarrollados se refleja en las aclaraciones necesarias que hace el fabricante. Este último valor es para un anillo de 10 minutos de duración. Un anillo es una medición con origen y fin en el mismo punto. Y, a continuación, da detalles de factores que influyen en la exactitud, como lluvia, pasillos largos y monótonos y otros.

Datos del sensor	
Rango máximo	30 m
Velocidad (puntos/s)	$43 \cdot 10^3$
Resolución angular h. (deg)	0,625
Resolución angular v. (deg)	1,8
Campo visual	270 x 360
Exactitud relativa	2-3 cm
Exactitud absoluta	3-30 cm

TABLA 1: datos del sensor ZEB-Revo obtenidos del estudio de la ISPRS (8).

Se ha determinado que este instrumental acumula inercias importantes dependiendo del entorno. En un caso extremo de medición en túnel se ha llegado a determinar una «deriva real» con «desviaciones significativas» (2). En estos casos, el algoritmo de *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) encuentra dificultades en la detección de puntos característicos que permitan determinar la evolución de la trayectoria, y por ello la nube de puntos final se genera deformada. Otro elemento negativo a considerar es que la medición funciona como una caja opaca a la que entran datos y sale una nube de puntos no editable. El usuario no puede ajustar o corregir la medición.

Los puntos fuerte son, sin lugar a dudas, la velocidad y la ligereza. Como todo instrumental es perfectamente válido para

determinadas exigencias de precisión.

5.3. Los datos

Los datos forman parte de un repositorio público de la ISPRS en el marco del proyecto *ISPRS Benchmark on Indoor Modelling*. Su objetivo es estimular y promover la investigación del modelado automático de interiores a partir de nubes de puntos y para ello facilita datos a investigadores e interesados de todo el mundo. Son cinco edificios que representan distintos niveles de complejidad. Este proyecto también se encarga de evaluar y publicar los algoritmos que los investigadores envían.

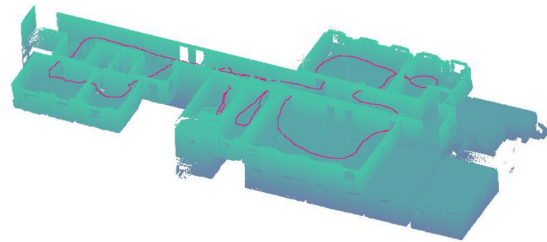


FIGURA 7: nube de puntos original. La trayectoria del sensor está marcada por la línea morada. Fuente: (8).

El caso que ocupa a este TFM no está relacionado con algoritmos de identificación de elementos, aunque el objetivo final sea parecido. Partiendo de los mismos datos, el modelo geométrico final ha de ser coincidente dentro de los parámetros de precisión que se manejen. La identificación de elementos se hará de manera manual pero ha de llegar a modelos tridimensionales equivalentes.

Según se explica en (8) la captura de datos fue realizada con el sensor Zeb-Revo en dos plantas consecutivas, unidas a través de escaleras interiores. En la planta inferior se han medido 14 habitaciones y

en la superior 10. Se detalla también el número de puertas y ventanas por planta y su tipología. Se han registrado muros de diferente grosor y techos a varias alturas.

Como parte del proyecto de la ISPRS se ha tratado la nube de puntos con el programa CloudCompare y a partir de ella se ha generado manualmente un modelo en Revit. Éste ha sido realizado con ciertas restricciones geométricas para adecuarse a los algoritmos de automatización y se utiliza como modelo de referencia contra el que contrastar aquellos otros modelos que los investigadores hayan generado a partir de sus propios algoritmos de automatización.

Aunque el trabajo que aquí se presenta no encaja en el planteamiento de la ISPRS ni aborda la detección automática de geometrías, hay un paralelismo claro. El proyecto finaliza en el año 2020, lo que da una idea de dónde se encuentra la punta de lanza científica en este campo. La vanguardia se encuentra en automatizar lo que en este TFM se aborda manualmente.

Datos de la nube de puntos

Sensor	Zeb Rebo
Número de puntos	$21,6 \cdot 10^6$
Distancia ⁴ interpuntual	0,008
Color	No
Trayectoria	Si
<i>Clutter</i> ⁵	Bajo

TABLA 2: datos de la nube de puntos obtenidos del estudio de la ISPRS (8).

La tabla 2 muestra datos y características de la nube de puntos. La tabla 1, obtenida de la misma fuente, detalla algunas características del sensor, del es-

cáner láser móvil con el que se ha medido.

En los datos del sensor se menciona el rango. Debe entenderse por rango distancia, como la línea recta imaginaria que une dos puntos en cualquier dirección. Uno de ellos será siempre el centro del dispositivo emisor de láser y el otro el objeto, que bien puede ser techo, suelo, mueble, etc. A esta distancia se la denomina rango cuando se habla de escáneres para no confundirla con otras distancias importantes en Geomática como pueden ser las distancias inclinada o reducida.

A continuación una muestra del formato original de los datos: coordenadas x, y, z, e información de tiempo.

```

1 -5.695201129436 -6.391178191185 0.278399991035
  1490287036.905781030655
2 -5.700814668477 -6.393519902945 0.295099990606
  1490287036.905798912048
3 -5.713793614209 -6.399367215276 0.309999989510
  1490287036.905817031860
4 -5.718050804436 -6.401007622719 0.326800005674
  1490287036.905835151672
5 -5.712710908651 -6.398150786996 0.346000002861
  1490287036.905853271484
    
```

TABLA 3: formato de los datos originales.

5.4. Toma de contacto

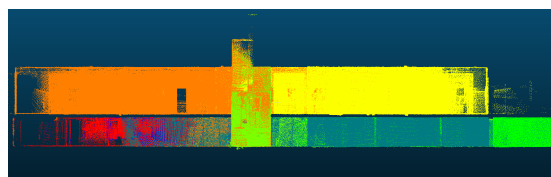


FIGURA 8: vista frontal de la nube de puntos. Se distinguen dos niveles y el cuerpo central que los comunica.

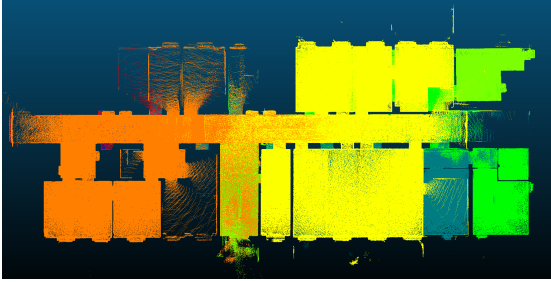


FIGURA 9: vista cenital de la nube de puntos. Se distingue un pasillo central con habitaciones a ambos lados.

Para familiarizarse con la nube de puntos se importa en CloudCompare. Las figuras 8 y 9 muestran el aspecto de la nube. Los colores que aparecen responden a un gradiente escalonado. Este es generado a partir de la cuarta coordenada que, como se ha comentado, se trata de una medición temporal para aplicaciones que en este trabajo no se contemplan. Pero ignorando la magnitud, representan un orden creciente, de manera que puede hacerse que CloudCompare lo interprete como un valor escalar y le asigne un gradiente cromático continuo.

El archivo original tiene 21.668.127 puntos, lo que no es manejable por programas como el Bloc de Notas, nativo en Windows, o Microsoft Excel. El editor libre Notepad++ sí admite tales volúmenes. Se ha modificado la columna de la cuarta coordenada hasta dejarla en un número entero de 15 dígitos mediante la siguiente orden:

reemplazar:

```
(\s)[0-9][0-9][0-9][0-9][0-9][0-9][0-9]\.)
```

por:

```
\1
```

(1)

La explicación detallada de las expresiones anteriores es buscar una secuencia de un espacio, siete dígitos entre el cero y el nueve cada uno y un punto; sustituye la secuencia anterior por el contenido del

paréntesis. Así es como se ha reducido el tamaño del número y convertido en entero. Ahora, CloudCompare reconoce este escalar adecuadamente y genera un gradiente continuo.

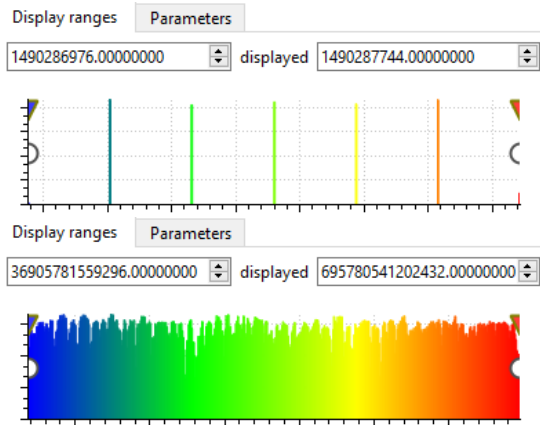
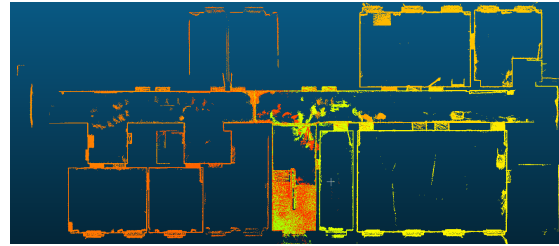


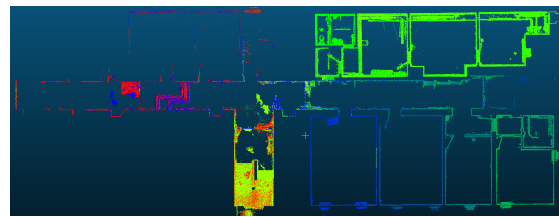
FIGURA 10: asignaciones cromáticas en CloudCompare. Arriba, a partir de los datos originales; abajo, a partir de los datos editados con las expresiones de 1.

Esto permite conocer, siguiendo la variación cromática, en qué orden han sido medidos los puntos. En la figura 11 se muestran cortes horizontales de las plantas eliminando suelos y techos. Estas figuras muestran el orden de medición de los diferentes espacios. La toma de datos comienza en el nivel inferior hasta las escaleras, continúa en el superior y desciende de nuevo, para registrar la zona al otro lado del cuerpo de escaleras.

Las figuras 11a y 11b permite, además, hacernos una idea de las habitaciones y su distribución. No existe una correspondencia total entre plantas, a excepción del pasillo y la zona de escaleras. Se corrobora también las aclaraciones que hacía la ISPRS sobre muros de diferente ancho.



(a) planta superior



(b) planta inferior

FIGURA 11: cortes horizontales sin suelos ni techos. Siguiendo el gradiente cromático puede reconstruirse el itinerario de medición.

Generalmente, como parte del flujo de trabajo, cuando intervienen sistemas de captura masiva de datos, se realiza un preprocesado de los datos antes de trabajar con ellos.

- **Alineamiento:** consiste en alinear las diferentes nubes de puntos con que se trabaja, generando una sola. Los puntos que integran cada nube mantienen una posición relativa entre sí garantizada por la mecánica de medición. Se busca que las diferentes nubes, y por ende, los puntos que las forman, se encuentren también en posición relativa entre sí. Existen varios métodos para realizar este proceso, manuales y automáticos. En este trabajo este paso no es necesario pues se parte de una sola nube. Los puntos que la forman se encuentran correctamente posicionados, con una exactitud de 2-3 cm, como muestra la tabla con los datos del sensor del apartado anterior.

- **Segmentación:** este proceso consiste en aislar un subgrupo de puntos de una nube. Bien puede ser porque se trate de la zona de interés o bien porque responda a algún criterio. Es aislar un segmento de puntos atendiendo a una o varias situaciones. Puede hacerse de forma manual o automática. En este trabajo se eliminan algunos puntos que no son de interés, aquellos que se han captado a través de las ventanas. Otro criterio puede ser una reducción automática de la densidad para un manejo más ágil. Son también muy frecuentes cribados por valores de intensidad, que no se tiene, o discontinuidad.

ro puede interesar más adelante modelar otros objetos como radiadores, tuberías, pomos de puertas, etc. Además, si una reducción de la densidad tiene alguna repercusión en aspectos semánticos, se estaría mermando una información escasa de partida. Tampoco se plantea necesario por requerimiento de los programas que se utilizan.

5.5. Preprocesado

Se realiza una segmentación manual y poco profunda porque la nube de puntos tiene una buena calidad en cuanto a ruido. Se han eliminado puntos correspondientes a regiones de no interés (véase la figura 12), generalmente obtenidos a través de ventanas. Este tipo de puntos, aunque pueda ayudar a dibujar espacios colindantes, debe ser eliminado o ignorado siempre. Son medidos con emisiones que han realizado dos veces un cambio de medio, aire-cristal-aire, en el ejemplo. Los espacios y habitaciones elegidos apenas tienen mobiliario, de manera que el nivel de ruido es bajo. Si fuesen aulas perfectamente dotadas, habría una mayor cantidad de puntos fruto del rebote del láser en diferentes superficies. Por otro lado, y previendo que pueda haber posteriores usos y mayores niveles de detalle, no interesa eliminar demasiada información. En los objetivos del proyecto se hace hincapié en el aspecto estructural pe-

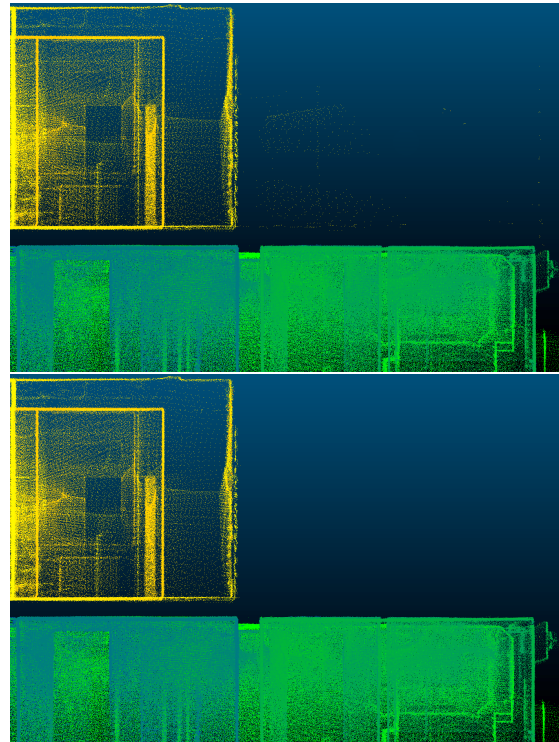


FIGURA 12: segmentación del cuadrante superior derecho. Arriba, puntos de no interés; abajo, aspecto tras la eliminación de dichos puntos.

5.6. Entrar en Revit

Se planteó en la introducción, al hablar del camino y su singularidad, cómo de las muchas formas de pasar de nube de puntos a BIM poner la atención sólo en una.

Analizado el punto de partida, un archivo *.txt, ha de llegarse a un archivo de Revit, *.rvt.

Pero a Revit no se llega por cualquier camino, sólo admite nubes de puntos en formato

*.rcp, que es nativo de Autodesk. Se hace necesario convertir primero la nube al formato impuesto por Revit, para lo cual interviene el programa ReCap. Es decir, hay varias formas de llegar a ReCap, pero sólo un camino lo une con Revit. La imagen que acompaña a este párrafo representa la necesidad de ReCap, única y exclusivamente para realizar una conversión de formato.



Así mismo, es de destacar el ahorro de volumen que ha supuesto esta conversión. El archivo original tiene un tamaño de 4.07 MB y el *.rcp, de 115 KB.

6. Dimensiones

Este capítulo que trata sobre el edificio se incluye separado del apartado «Caso de estudio» y después de «Entrar en Revit» porque no se trata de una descripción del objeto. Se abordan una serie de problemas que han surgido con las dimensiones cuando el modelado ya estaba avanzado.

Puesto que no se dispone de todas las medidas deseables para modelar el edificio en su totalidad, se hace necesario imponer algún criterio. Sea éste completar de manera verosímil y suficiente aquellas carencias para satisfacer las necesidades del proyecto.

No se ha medido el edificio por fuera de manera que se desconocen las dimensiones de los muros periféricos.

6.1. Edificio

Para fijar unas dimensiones exteriores del edificio se recurre a la información catastral. En Alemania, la gestión del catastro y del territorio compete a cada estado. Se busca la información catastral en el geoportal⁶ que el estado de Niedersachsen gestiona a través de su *Vermessungssamt*⁷.

La descarga de la zona del edificio en formato *.dxf tiene un coste de 5.67 € pero se requiere un pedido mínimo por valor de 50.00 € (véase la figura 13). Descartada la compra de catastro, se buscan las dimensiones a partir de una aproximación gráfica.

A partir de una imagen similar a la figura

7, que contiene una escala gráfica, se reconstruyen sus dimensiones en Autocad[®].

DXF-Datenauswahl		
Objektarten	Anzahl	Gebühren
<input type="checkbox"/> Flurstücke	0	0.00€
<input checked="" type="checkbox"/> Gebäude	15	5.67€
<input type="checkbox"/> Tatsächliche Nutzung	0	0.00€
<input type="checkbox"/> Bodenschätzung	0	0.00€
		50.00€
		(Mindestgebühr)
In den Warenkorb		Schließen

FIGURA 13: resumen de compra de la información catastral. *Gebäude* significa edificio en castellano y *Mindestgebühr*, pedido mínimo.

En la figura 14 se muestran las dimensiones obtenidas. Éstas son dadas por buenas automáticamente en consonancia con el nuevo paradigma. A los efectos de este TFM y en ausencia de medidas directas, cualquier dimensión verosímil es aceptable. Se tiene así, un edificio de largo 48.52 m y un ancho de 16.77 m. Será considerado rectángulo.

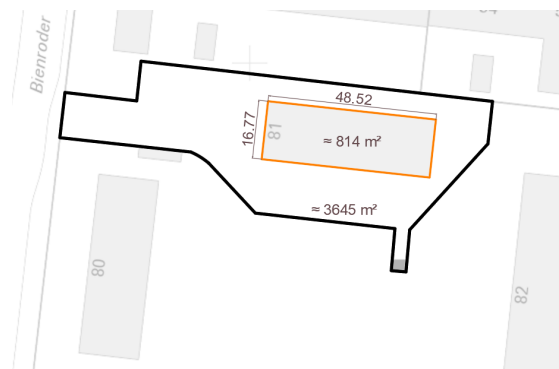


FIGURA 14: reconstrucción del edificio y la parcela que lo contiene. En naranja el perímetro del edificio.

⁶<https://www.geobasisdaten.niedersachsen.de/katasterkarten-online/application/geoportal>

⁷ente homólogo al Instituto Geográfico Nacional español del estado alemán de Baja Sajonia.

6.2. Muros exteriores

Para calcular el ancho posible de los muros se ha medido la distancia entre los puntos más alejados de la nube. Estos son los que definen el primer plano del cristal de las ventanas. Esta distancia es de 15.62 m (véase la figura 15). La diferencia entre el ancho calculado en el apartado anterior se ha repartido entre ambas fachadas, norte (principal) y sur, resultado un muro perimetral de 0.78 m.

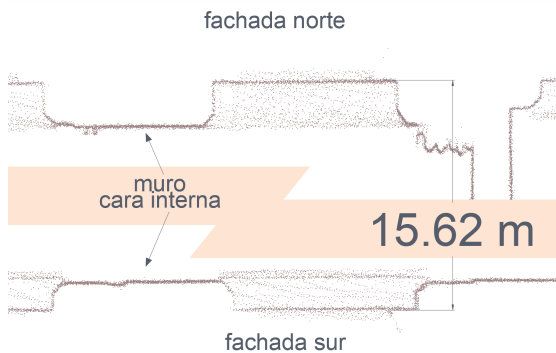


FIGURA 15: esquema del ancho máximo medido. En la imagen se distinguen una ventana y el alfeizar interior de las fachadas norte (arriba) y sur (abajo).

A partir de las fotos del edificio se ha supuesto una cenefa de granito



FIGURA 16: vista esquemática del muro exterior. El lado izquierdo constituye la fachada principal.

de un metro de alto y 5 cm de profundidad sobre la cual nace una capa de aislante de 23 cm. Por comodidad se han hecho coincidir estas tres tipologías de muro con los tres primeros niveles. La única dimensión importante del muro que se presenta es la cara interior. Como se

observa en la figura 16, el muro de la planta baja está retranqueado hacia el interior 13 cm.

A partir del esquema anterior se han definido tres tipos de muro y colocado cada uno a continuación del anterior. Este resultado no es ideal, pues existen diferencias importantes de una habitación a otra. En la figura 17 se aprecia cómo la parte oeste del edificio tiene grandes carencias. No hay información sobre esa zona, de manera que se recurre de nuevo a las dimensiones calculadas a partir del catastro (véase la figura 14). Sin embargo, las fotos muestran un edificio simétrico (oeste-este), a ambos lados de la puerta principal hay siete ventanas por planta. La esquina sureste sí ha sido perfectamente registrada en los dos niveles inferiores, de manera que se han construido las dimensiones del ala oeste por simetría del este. La diferencia entre estos dos métodos es importante: 23.78 m por simetría frente a 24.26 gráficamente. En este caso, se le ha dado más peso a la simetría.

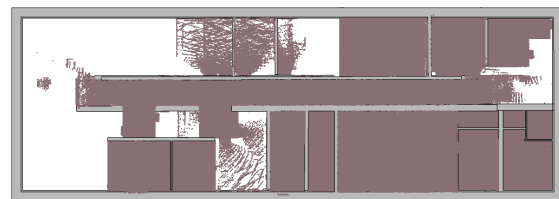


FIGURA 17: vista cenital del muro perimetral y parte de la tabiquería. En marrón, la nube de puntos completa.

7. Modelado

El proceso de modelado que ahora se aborda es específico para Revit. No obstante, la idea general de cómo ir creando objetos paramétricos a partir de una nube de puntos es común a diferentes programas. No se entra en detalle de cómo se construye cada elemento pues no es objeto de este TFM la creación de un manual del programa o de parte de él.

Sí conviene dar un par de pinceladas sobre algunos conceptos que utiliza Revit. La información se estructura en niveles, que a su vez contienen

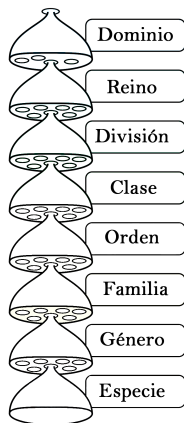


FIGURA 18: categorías taxonómicas.

a otros. Horizontalmente, todos los objetos de un nivel de información contienen elementos comunes. Existe un paralelismo con las clasificaciones taxonómicas en Biología. Tomando sólo los cuatro niveles inferiores (Orden, Familia, Género y Especie) (véase la figura 18) puede establecerse un paralelismo con los niveles de información en Revit (Categorías, Familias y Tipos.)

Las Categorías están predefinidas por el programa y agrupan a objetos paramétricos con características comunes. En este nivel es donde se controla la organización de los objetos, la visibilidad, la representación, etc. Por encima de las categorías, representado por el icono superior de la figura 19, se encuentra una división en tres grandes grupos: Arquitectura, Estructura e Instalaciones. Ejemplos de categorías son muros, ventanas o puertas.

Las Familias son aquello en lo que una categoría se divide. Se trata de un grupo de objetos inteligentes con características comunes. Es más, todo objeto perteneciente a una misma familia tiene los mismos parámetros. Por ejemplo, dentro de la categoría puertas, una familia puede ser puerta con dos hojas. De esta manera, todas las puertas dobles tendrán los mismos parámetros, como ancho fijo y ancho móvil.

Los Tipos son una división de la familia. Siguiendo el ejemplo de las puertas, un tipo sería puerta doble con fijo de 0.5 m y móvil de 0.6 m. Un edificio puede tener varias puertas de un tipo, y otras de otro, como puerta doble con fijo 0.5 m y móvil 0.7 m. Es decir, tienen los mismos parámetros, puesto que pertenecen a la misma familia, pero el valor de esos parámetros es diferente. Esa diferencia determina que se hable de un nuevo tipo.

Existe una división más, representada por el nivel inferior de la figura 19, que clasifica los tipos atendiendo a su procedencia. Hay tres: de sistema, cargables y modelados in situ. Se mencionan aquí para complementar la explicación de la forma en que Revit trabaja y cómo se organizan las jerarquías. En el trabajo se han utilizado, principalmente, elementos modelados in situ. Éstos son elementos personalizados que el usuario crea en el contexto de un proyecto.

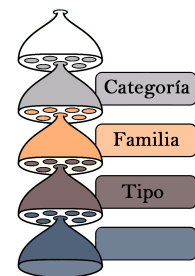


FIGURA 19: niveles jerárquicos de información en Revit.

7.1. Niveles

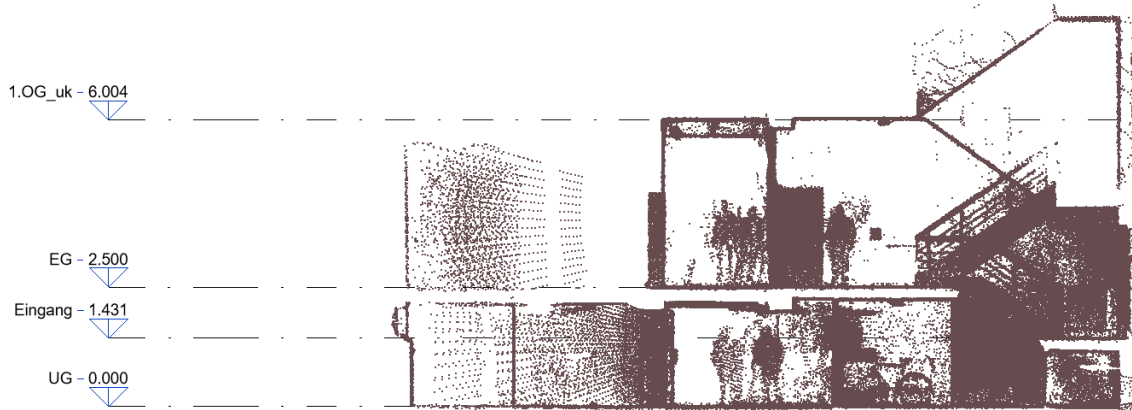


FIGURA 20: corte vertical norte-sur de la nube de puntos en la zona central de las escaleras. A la izquierda se encuentran los niveles definidos y sus cotas en metros.

Una vez que la nube de puntos se encuentra en Revit, lo primero es definir los niveles de referencia. Lo habitual es tomar un punto como cota para cada planta. Los suelos, generalmente tienen inclinaciones, pero en caso de que estas sean muy pronunciadas es preferible tratarlas aparte. Las cotas de referencia se han tomado en la zona de escaleras. Esta zona de los edificios acostumbra a ser la más estable y la última en sufrir renovaciones, motivo por el que se toman en ella las alturas de cada planta. En los edificios modernos, las escaleras se encuentran al lado de los ascensores, elemento este que requiere una cota precisa.

En este trabajo se ha tomado el suelo del sótano como origen de cotas. La primera planta se encuentra a 2.50 m sobre la anterior y entre ellas se ha definido un nivel más: la altura de la entrada desde la calle por la fachada principal, que coincide con un descansillo de la escalera que sube desde el sótano.

Se ha definido un nivel superior, coincidente con la cara inferior del techo de

la planta baja. El objetivo es marcar el límite superior del modelo.

Estos niveles de referencia son importantes porque otros elementos, como los muros, son definidos en función de ellos. Por ejemplo, al dibujar un muro se le indica en qué nivel nace y hasta cual asciende, de manera que sin niveles definidos hay que trabajar en metros y empiezan a aparecer los errores. Además, si avanzado el proyecto hubiese que variar un nivel, dos centímetros hacia arriba, por ejemplo, con modificar el nivel sería suficiente, pues los muros cuelgan de él. Elementos diferentes se encuentran vinculados.

Como se aprecia en la figura 20 existen dos plantas, de 1.431 m y 3.504 m.

7.2. Muros

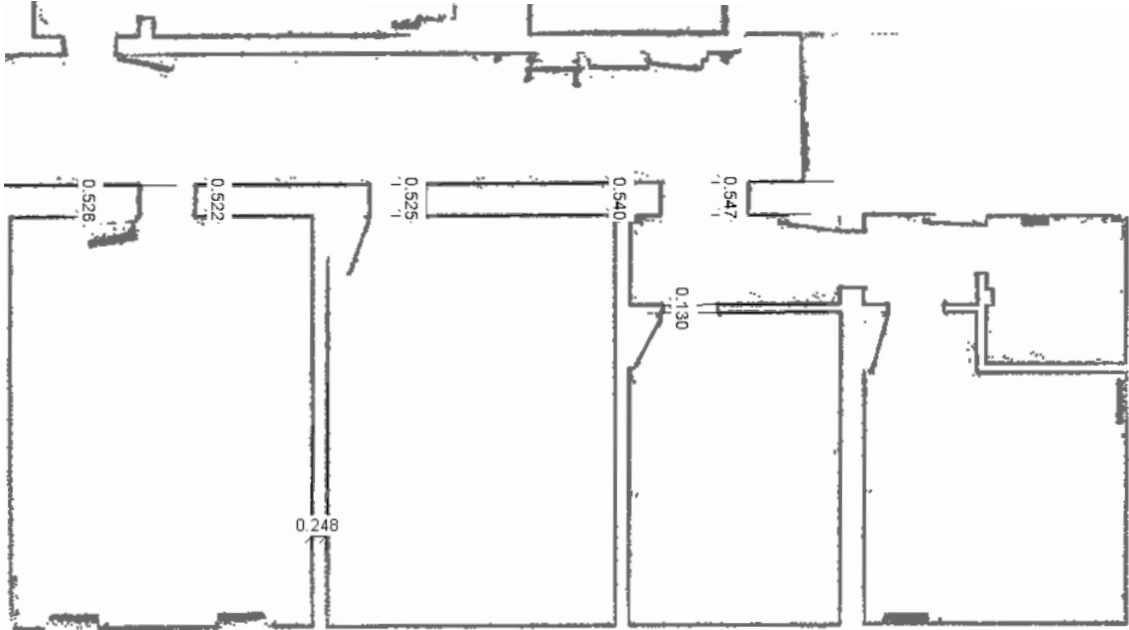


FIGURA 21: corte horizontal longitudinal del sótano.

Muros es un categoría que puede llegar a tener una cantidad de matices y detalles de esta estructura casi infinita. Se ha comentado ya cómo se ha llegado a los muros exteriores y qué partes lo componen. Para las divisiones interiores se han empleado diferentes tipos de muro, variando el ancho. La estructura interior del muro es de un sólo elemento y se han añadido a ambos lados sendas capas de un milímetro de espesor, a modo de capa de acabado. Así se puede controlar, por ejemplo, la pintura, lo que supone el aspecto interior del edificio.

Antes de definir los tipos de muro se requiere conocer los distintos espesores. En la figura 21 se muestran las mediciones que se han realizado sobre la nube de puntos de la planta sótano. Una vez conocidos los espesores, se definen los tipos de muro y se dibujan sobre la nube de

puntos. Ha de ponerse especial atención a los niveles inferiores y superiores, pues son los que definen la base y la parte alta de la pared.

Excepcionalmente se ha realizado alguna modelización de muro in situ, pues una de las paredes del pasillo no mantiene el ancho. Se han detectado, además, algunas situaciones confusas en las que no estaba claro si había variado el ancho o no. Estos casos se han detectado en las zonas limítrofes de la nube de puntos.

En edificios antiguos como este los muros son irregulares y esta situación puede llevar a discrepancias entre planos o entre planos y realidad. Para evitar estas situaciones suele dibujarse a un metro de altura sobre el nivel del suelo. En la figura 21 se muestran los puntos acotados por dos planos paralelos, a 0.75 y 1.25 metros.

El suelo del sótano se ha definido a 0.00 m (véase la figura 20), de manera que un metro por encima corresponde a 1.0 m en el modelo. Tomando horizontal una franja de medio metro de altura centrada a 1.0 m, se obtienen los planos superior e inferior de corte (0.75 m y 1.25 m).



FIGURA 22: corte horizontal longitudinal del sótano después de dibujar los muros. Se ha exagerado la sombra para facilitar su identificación.

De acuerdo con lo explicado anteriormente se han ido dibujando los muros de diferente tipo en los lugares correspondientes.

7.3. Puertas

Continuando con la creación de categorías que se incrustan en muros, se abordan las puertas. Puede decirse que el edificio tiene tres tipos de puertas: interiores, exterior principal y exteriores secundarias. Por interiores, se hace referencia a las que no dan acceso a la calle; y por exteriores, a las que sí. De éstas, hay una por fachada, pero la puerta sur es la más ancha. El resto no se han registrado y se conocen por las imágenes de Google maps.

En esta memoria se recoge sólo la creación, paso a paso, de la puerta exterior principal. Pero las demás pueden verse en el modelo virtual, que completa el TFM. El procedimiento es análogo a los casos anteriores: aislar la zona de interés de la nube de puntos, tomar las mediciones pertinentes para la construcción de la familia y, por último, crear un tipo y colocarlo sobre un muro.

En el caso de la puerta principal (véase la figura 23), se distinguen muy bien el ancho y el alto en la nube de puntos, aunque no tanto el sistema de apertura. La



FIGURA 23: vista de la puerta principal en nube de puntos desde el interior.

puerta, por tanto, no tendrá este tipo de detalles, al igual que no los tienen las ventanas. Los detalles complementarios a puertas y ventanas no tienen relevancia cuando se trabaja desde una perspectiva

estructural, como es el caso.

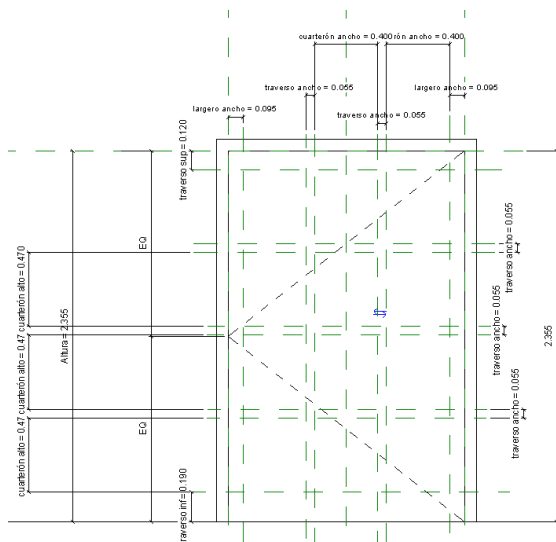


FIGURA 24: creación de la familia *puerta exterior* en Revit. Se definen los parámetros que darán lugar a los diferentes tipos, en función de los valores que tomen.

Hablando de qué detalles o elementos tienen representación, y no confundiendo esto con el concepto de LOD, cabe hacer una reflexión sobre la coherencia. Se ha explicado y argumentado sobradamente sobre las características generales que definen un BIM (dimensiones, niveles de detalle, etc.) y cómo no existe una relación directa entre ellas y los elementos que se recogen, pues esto obedece a las necesidades. Se han presentado ejemplos de casos donde sólo interesan los volúmenes, por la sombras que generan, o los elementos que intervienen en el cálculo de la envolvente térmica. Es decir, no hay relación entre las necesidades concretas de un proyecto y las características del BIM. La reflexión que se pretende hacer afecta a la coherencia general y a la homogeneidad. Teniendo en cuenta las diferencias comentadas a tenor de los requerimientos, tiene sentido que haya una cierta coherencia dentro de un mismo modelo. Incluir bisagras y manilla de las

puertas pero no hacerlo de las ventanas, tiene poco sentido. Exceptuando que únicamente esos detalles de los cerramientos de puertas sean el objeto del BIM, lo propio es que haya una cierta homogeneidad de los elementos que se incorporan.

Para completar la reflexión anterior y como un ejemplo más de los que salpican la memoria sobre las ventajas de esta metodología, hay que hablar de visibilidad. Tomando el párrafo anterior por sí solo puede parecer que el modelo no contiene aquellos elementos que no interesan (manillas, bisagras, etc.), que no se ven. Esto es así en el caso particular de este modelo por sus características, por los objetivos que persigue, y por el carácter académico y de aprendizaje que tiene. La potencia de la visibilidad es que, teniendo un modelo completísimo de un edificio, pueden configurarse los parámetros de visibilidad de manera que sólo muestre, en el ejemplo que se viene utilizando, la ventana sin accesorios. Aunque el modelo los tiene para cuando sean necesarios. Llevando esta idea a lo concreto del programa utilizado, puede hacerse por dos vías o por combinación de ambas. Una, son los parámetros de visualización, que definen qué familias deben aparecer y de qué manera y cuáles no; otra, es través de «niveles de detalle». Esto, que no es lo mismo que LOD, Revit lo organiza en tres niveles: alto, medio y bajo (véase la figura 25).

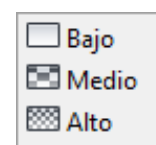


FIGURA 25: niveles visuales de detalle en Revit.

Como resultado de lo anterior se obtiene un modelo de muros con las ventanas y puertas debidamente incrustadas (véase la figura 26).

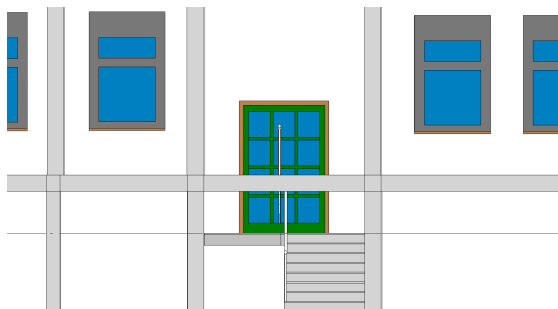


FIGURA 26: imagen del modelo sin la nube de puntos. Vista de la entrada principal.

7.4. Huecos

Se denomina hueco a aperturas en los muros que no tiene puerta ni ventana. Los huecos en Revit funcionan como una familia más, muy parecida a la de puertas y se colocan de la misma manera sobre los muros. Tienen una relevancia destacada en el modelo porque son uno de los elementos que la ISPRS quiere analizar. Cómo los algoritmo de automatización diferencian entre un hueco y un hueco con puerta.

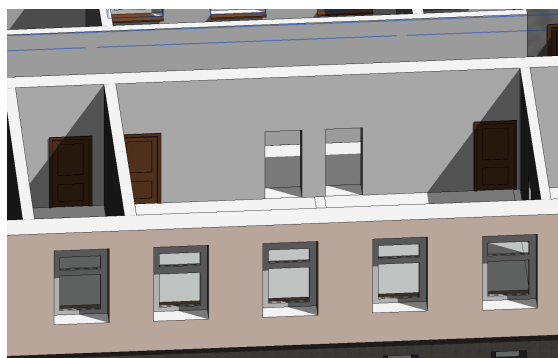


FIGURA 27: en la figura se aprecian dos hueco en el centro de la pared en la planta superior.

En la figura 27 se muestra un ejemplo de la planta superior. La habitación tiene cuatro accesos, los dos laterales tienen una puerta instalada y los dos centrales presentan sólo los huecos.

7.5. Ventanas

Las ventanas son una familia diferente de los muros, pero el modo de proceder para definir las es el mismo. En primer lugar deben conocerse las dimensiones de las mismas para lo cual se aísla la zona de interés en la nube de puntos (véase la figura 29).

Por la metodología empleada en la toma de datos, es difícil encontrar una ventana completamente medida. Atendiendo a las esquinas laterales que determinan el hueco en la pared, suele estar una bien medida y la otra, de refilón. Por ello, se han tomado mediciones de varias ventanas para llegar, así, a unas dimensiones promedio. El tamaño de las ventanas es el mismo, aunque puede haber algunas variaciones en los huecos donde se instalan.

La medición de las ventanas que se muestra en la figura 29 recoge sólo dos dimensiones. Se requiere un corte vertical perpendicular al paño para medir las características de la ventana en la tercera dimensión, en profundidad. En la figura 28 se muestran las acotaciones. Se aprecia el hueco en el muro y el alfeizar interior. Bajo éste, se distingue un radiador.

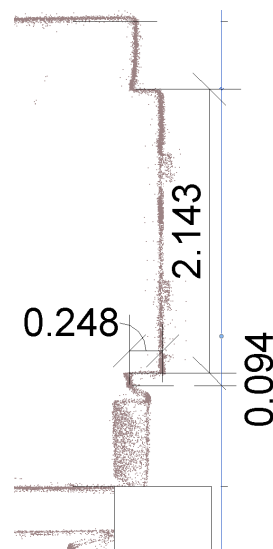


FIGURA 28: corte vertical de la fachada sur por el centro de una ventana.

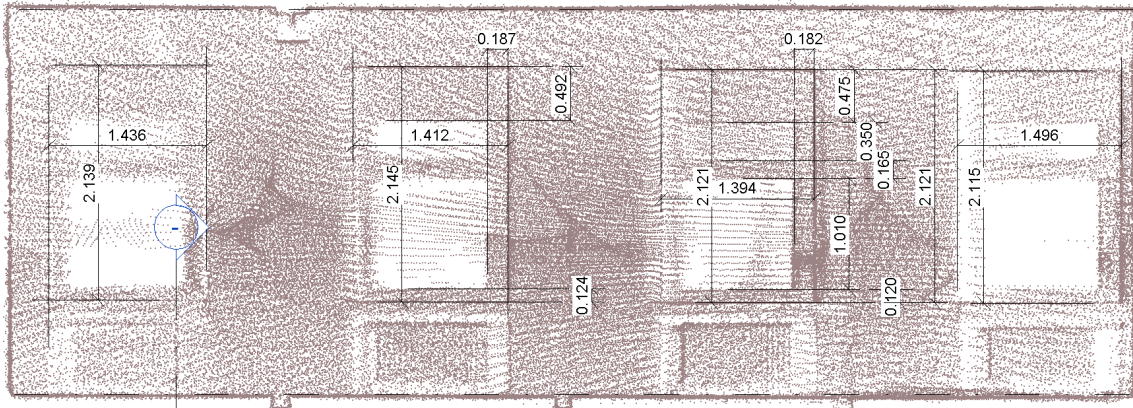


FIGURA 29: medidas de las ventanas de la fachada sur del ala este. Debajo de cada ventana se distingue un radiador.

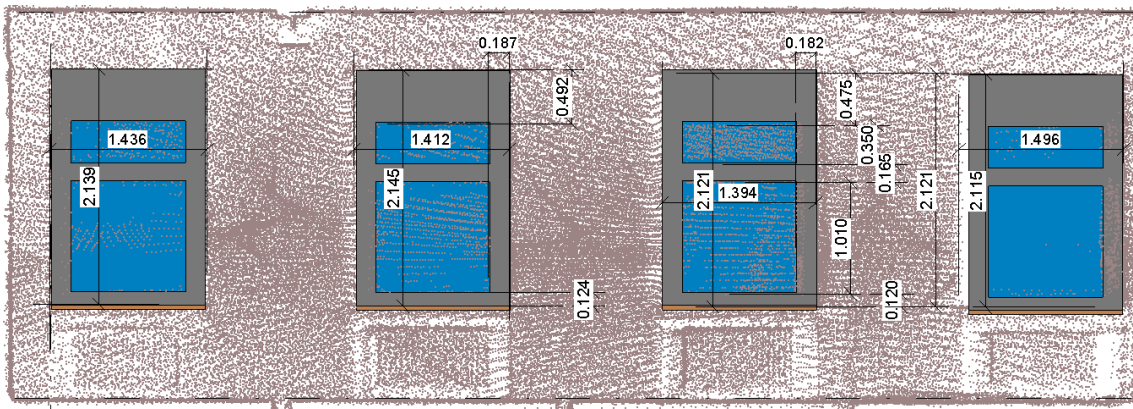


FIGURA 30: ventanas de la fachada sur de ala este colocadas en su posición. Cada ventana está formada por marco, cristal y alfeizar interior.

Tras definir la familia de ventanas que va a utilizarse en el proyecto, se instalan en su posición correspondiente. En la figura 30 se muestran algunas ventanas colocadas sobre la nube de puntos (se ha apagado el muro para facilitar la comprensión). Están formadas por dos largueros y tres travesaños que generan dos cuarterones, el inferior más grande que el superior. Revit detecta automáticamente que se está instalando un elemento de la categoría ventanas en otro de la categoría muros y, al ser una acción permitida, crea la apertura en el muro y coloca la ventana. Si por error se pretendiese colocar una ventana en un pilar,

el programa no lo permitiría puesto que no es una situación predefinida. No es el caso de este modelo, pero si estuviese realizada la instalación eléctrica y se quisiera instalar una puerta que corta a un cable, Revit generaría un aviso. Esto es un ejemplo más de la potencia de depuración de errores que permite esta metodología frente a la anterior (CAD) de multitud de planos en dos dimensiones.

7.6. Habitaciones

Las habitaciones son una entidad de Revit limitada por muros, suelos y techos. El usuario utiliza la herramienta «habitación» y al desplazarla por el modelo, Revit resalta los espacios cerrados, que detecta automáticamente. Es muy útil, por ejemplo, para crear esquemas visuales atendiendo a parámetros como área, volumen, perímetro y muchos otros. Poniendo la atención sobre volumen, por ejemplo, es calculado automáticamente por el programa. Éste cálculo se realiza a partir de los delimitadores, es decir, que si se desplaza un muro, los volúmenes de las habitaciones afectadas varían. Y no sólo varían en las etiquetas que el usuario ve en la pantalla, sino en las tablas donde estos datos se almacenan. La potencia de estas herramientas es inmensa, pues cualquier dato que se encuentre dentro del BIM es susceptible de ser utilizado en cálculos y ecuaciones.

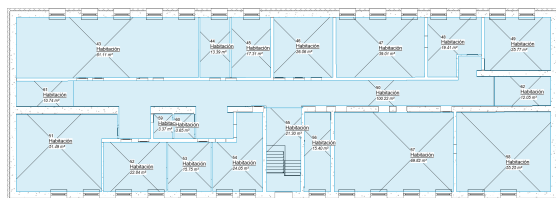


FIGURA 31: detección de espacios en Revit.

Siguiendo con el ejemplo del volumen, y con ayuda de Dynamo, se puede cribar el modelo buscando las habitaciones que tienen un volumen determinado en proporción a la altura de la misma y a su perímetro. Es inmediata la identificación de espacios que necesitan un sistema de ventilación especial y, además, si dentro de tres meses, tras la modificación de un muro, una estancia cumple los parámetros, es detectada con el mismo algorit-

mo.

En el modelo generado esto se ha aplicado definiendo todos los espacios de la planta superior (véase la figura 31). En este caso la superficie calculada es la útil, pues se ha indicado a Revit que calcule desde la cara externa de los muros. Puede hacerse desde otras partes, como el eje del núcleo o el centro el muro.

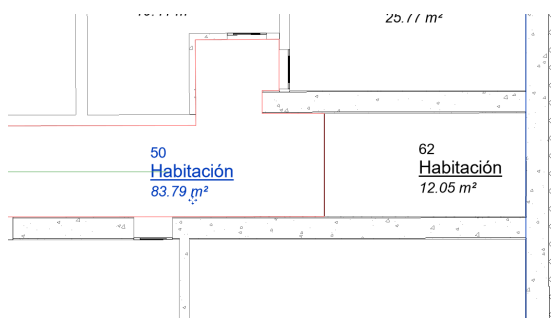


FIGURA 32: definición de habitaciones. En rojo el perímetro detectado por Revit.

Un ejemplo concreto de la eficacia de esta metodología se encuentra en el espacio definido como pasillo. En la figura 32 aparecen dos partes del pasillo que se encuentran separadas por una puerta de cristal. Pues bien, simplemente redefiniendo la puerta como elemento no delimitador de espacios, Revit encuentra el nuevo perímetro y actualiza la superficie (véase la figura 33).

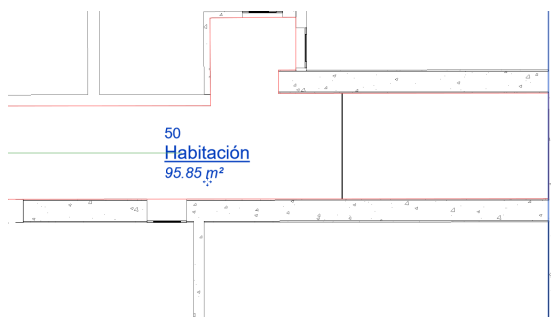


FIGURA 33: en rojo el nuevo perímetro de la habitación. La superficie se ha actualizado.

Para completar el ejemplo de uso del elemento habitación, se crea una leyenda que clasifica las estancias por rango de área. Se aplica la clasificación y se obtiene un mapa con toda esta información. Las leyendas quedan guardadas,

Habitaciones

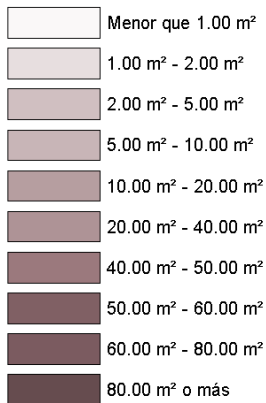


FIGURA 34: leyenda para la clasificación de habitaciones en función de su superficie útil.

teamiento de origen se sabía que el modelo geométrico tendría más peso que el paramétrico y que es la presencia de ambos lo que conforma, en esencia, un BIM. El uso de esta entidad mejora en cierto grado la proporción entre ambos modelos en este trabajo. Las habitaciones, que tienen una base geométrica, pueden considerarse como un elemento genuino del modelo paramétrico.



FIGURA 35: mapa de la planta superior después de aplicar la leyenda.

de manera que es posible utilizarlas en diferentes momentos y en diferentes plantas. Es también posible exportar entidades y reglas de un proyecto a otro.

La inclusión de esta subsección es algo que conviene recalcar. Desde el plan-

9. Validación

En esta sección lo que se busca es valorar si el modelo obtenido es válido, bajo criterios geométricos. Puesto que se dispone del modelo de referencia utilizado por la ISPRS, que ha sido generado por algoritmos de automatización, se propone una comparación de ambos.

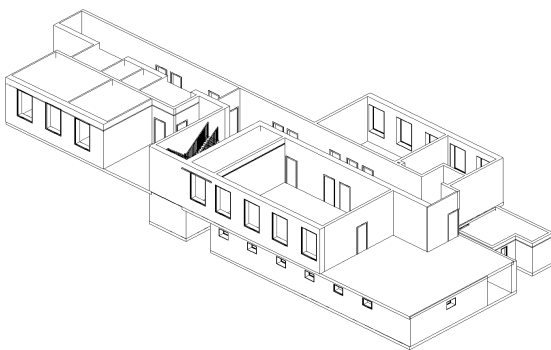


FIGURA 38: modelo de referencia de la ISPRS.

Para realizar esta comparación se va seguir un orden parecido al del modelado.

9.1. Dimensiones

En este subapartado, para comparar dimensiones entre ambos modelos, se ha seleccionado una misma zona en ambos y acotado algunas de sus dimensiones.

En la figura 39 se ha medido el ancho de la zona de escaleras, de una habitación y del pasillo. Al realizar las mismas mediciones en el modelo generado en el TFM se han observado algunas diferencias (referencia-modelo):

- Ancho de escaleras: 41 mm.
- Ancho de habitación: 36 mm.
- Ancho del pasillo: 29 mm

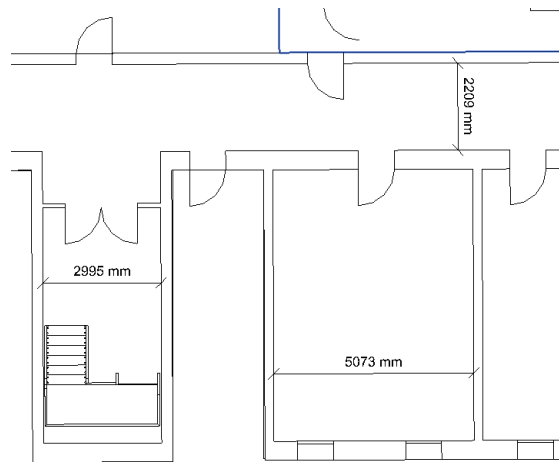


FIGURA 39: sótano del modelo de la ISPRS.

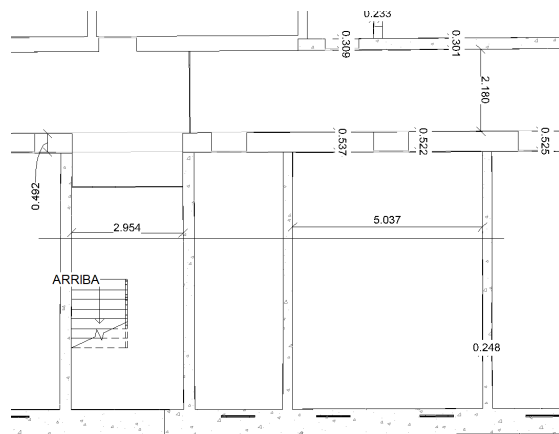


FIGURA 40: sótano del modelo del TFM.

Las diferencias obtenidas en las mediciones, aún siendo pocas, son muy significativas. No es cometido de este TFM ni del apartado de validación entrar en comparaciones profundas o conclusiones. Pero

sí se hace necesaria una explicación mayor de la manera en que se han trazado los muros, a fin de descartar errores de dibujo.

En la figura 41 se muestra un muro del sótano del modelo generado. Se ha activado la nube de puntos y dibujado dos líneas auxiliares a ambos lados de la cara derecha del tabique. Éstas dos líneas determinan la región donde se encuentran la mayoría de los puntos de la nube y entre ambas discurre la cara derecha del tabique. La distancia entre ambas líneas auxiliares es de 40 mm. Ésto demuestra la influencia de la nube de puntos en la definición del modelo.

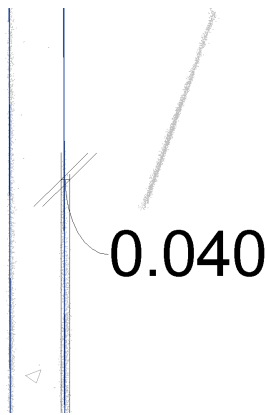


FIGURA 41: espesor de la nube de puntos para la cara derecha de un tabique.

Estas diferencias son significativas cualitativamente, puesto que tienen más relación con metodologías que con precisiones. El simple hecho de que un modelo esté realizado con líneas ortogonales y otro no, es motivo suficiente para estas diferencias. Este tipo de cuestiones tiene relación, seguramente, con el tipo de modelo que la ISPRS necesita para sus objetivos. En lo que a este TFM concierne, la precisión con la que se dibuja es muy superior a la de la nube. Además, el fabricante del láser certifica una exactitud de hasta 3 cm, de manera que las diferencias obtenidas encuentran, también aquí, una justificación técnica y cuantitativa.

9.2. Muros

Las consideraciones posibles sobre la ejecución de los muros discurren paralelas a las anteriores. Es normal encontrar diferencias en los anchos de muro entre ambos modelos. Cada ancho viene determinado por dos caras y ya se ha constatado cuál es la precisión de las mismas.

Destaca positivamente la limpieza del modelo de la ISPRS. Esto es debido a la ya comentada ortogonalidad, a la ausencia de patrones de corte y a los muros con una sola capa (el núcleo).

9.3. Puertas y huecos

En la sección de puertas se repiten las diferencias de anchura. Además, se han detectado puertas en el modelo de la ISPRS donde sólo hay huecos en la nube de puntos. En la figura 42 se muestra una vista de alzado. En la planta superior, de izquierda a derecha, aparece, en primer lugar, la zona de las escaleras (en blanco). A continuación, una habitación con una puerta y, por último, una estancia con tres puertas. Las dos puertas derechas de la última estancia han de ser huecos.

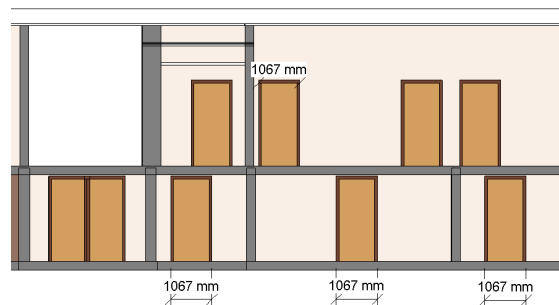


FIGURA 42: vista de alzado del modelo de la ISPRS.

Las diferencias en el ancho de las puertas siguen en el rango comentado: 94.0 cm

en el TFM frente a 91.5 cm en la ISPRS. Los anchos que se muestran en la figura 42 incluyen los marcos, derecho e izquierdo.

9.4. Ventanas

La comparación entre ventanas muestra también diferencias, menores en las aperturas del sótano (véase la figura 43). Los tamaños de las ventanas de la planta superior, aun siendo mayores que las detectadas en el capítulo de dimensiones, tienen una justificación. La determinación de estas dimensiones ha resultado difícil, como se ha comentado (véase la figura 29).

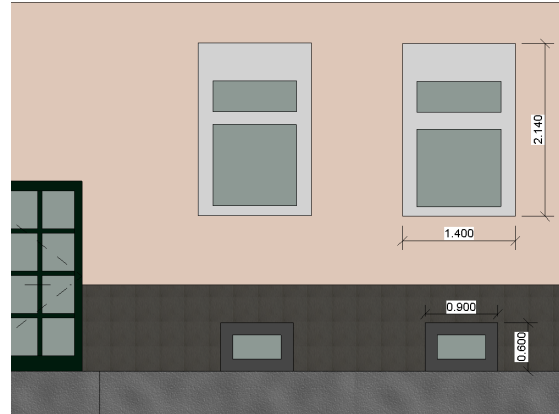


FIGURA 44: alzado de la fachada principal en el modelo del TFM.

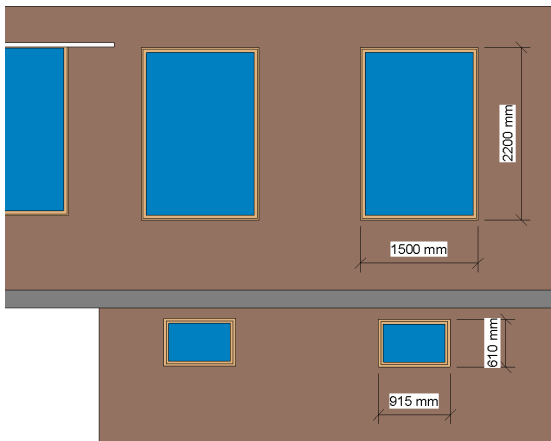


FIGURA 43: alzado de la fachada principal en el modelo de la ISPRS.

La existencia de una arista en cada ventana medida no ortogonalmente y la presencia de cortinas en algunas estancias puede ser el motivo de estas diferencias.

10. Revisión de objetivos

Para evaluar la coherencia del TFM va a compararse consigo mismo.

Para ello se revisarán, punto por punto, los objetivos establecidos.

10.1. Objetivos generales

- En cuanto a la creación de un modelo BIM del edificio puede decirse que se ha cumplido. Las aclaraciones que se planteaban sobre el programa a utilizar y la dimensión del BIM (3D) han resultado acertadas, pues no se ha requerido de otros programas. Si bien es cierto que puede decirse que se ha obtenido un modelo BIM, en tanto en cuanto los elementos definitorios esenciales para serlo se encuentran presentes, hay matices importantes. El objetivo planteaba una especial atención a elementos estructurales y así ha sido; el peso de estos elementos se encuentra en el modelo geométrico. El modelo paramétrico, parte fundamental de un BIM, está menos desarrollado.
- La validación del modelo se ha llevado a cabo, con comparaciones puntuales con el de la ISPRS, y ha permitido evaluar el método manual. Se ha cumplido, así, con el segundo objetivo general que este TFM se había impuesto.
- Sobre la limpieza y tratamiento de los puntos, la valoración es que se ha realizado con éxito. Esta tarea ha consistido, principalmente, en la eliminación manual de puntos de no interés, la mayoría captados a través de cristales de puertas o ventanas (véase la figura 12).
- Este objetivo planteaba la creación de un modelo geométrico que sí se ha generado.
- La creación de un modelo paramétrico asociado al anterior constituye el tercer objetivo específico. Se ha alcanzado, aunque, como se comenta unas líneas más arriba, hay desarrollo desigual entre los modelos geométrico y paramétrico. Esto es debido a que la intervención de la Topografía y la Cartografía tienen un papel predominantemente geométrico. Mucha de la información paramétrica ha de ser definida por otros profesionales, como muros de carga o sólo divisores.
- A partir del BIM generado se planteaba la creación de dos estilos de visualización, técnico y realista. Ambos estilos se han desarrollado satisfactoriamente. Por objetividad y honestidad de este TFM hacia sí mismo, ha de señalarse una diferencia más. La visualización técnica está más desarrollada que la realista, en parte, por la complejidad de parametrizar el comportamiento físico de la luz ante los diferentes materiales.

10.2. Objetivos específicos

Se pasa, ahora, a la revisión de los hitos intermedios.

Como resumen de este capítulo, los objetivos generales se han cumplido, así como los específicos. Tanto unos como otros se pueden seguir trabajando y mejorando,

lo que redundará en un BIM de mayor complejidad.

11. Conclusiones

Al finalizar el trabajo y volver la vista atrás surgen de manera natural algunas ideas y reflexiones. Éstas son fruto, sin duda alguna, del camino recorrido y no se caería en un error si se plantean como conclusiones.

La conclusión derivada de la primera parte del trabajo, de la documentación, lectura de libros especializados y conferencias, es la importancia del BIM. Se ha comentado en repetidas ocasiones pero su poder transformador es tal que no puede evitarse una reflexión en este capítulo. Una medida muy utilizada de las ventajas de esta metodología es el ahorro económico en los proyectos. No se ha entrado en ese aspecto, pero es digno de mención en estas líneas y enlaza con otro elemento que da idea de esta revolución. Que el Parlamento Europeo y el Consejo impongan la obligatoriedad de estas metodologías a los países miembros es un hecho incontestable que da una escala de la importancia de su aplicación. Entre sus motivaciones, el mejor control y eficiencia del gasto público.

Sobre la situación de España en el panorama mundial y europeo, los datos actuales no son muy buenos. Sí, la determinación. Esto dibuja un paisaje en el que el campo de mejora y desarrollo es muy grande. Suele decirse, en multitud de ocasiones, que algo es el futuro y luego, corregir la frase, hablando de presente. En este caso podemos decir que el BIM es el futuro en España. No es el presente. Un cambio a gran velocidad se avecina pues no hace ni un año que entró en vigor la obligatoriedad de metodologías BIM en infraestructuras. Entre

la lentitud de parte del Estado, donde intervienen grandes presupuestos y licitaciones, y el parón que ha supuesto el Estado de Alarma, no se ha llegado a reflejar en los datos la incidencia de esta obligación. Lo hará en los años siguientes.

Otra conclusión, fruto de las horas de trabajo en Revit, tiene que ver con la toma de datos. Más en concreto con el sensor, que determina en gran medida la metodología de observación. No disponer de valores de intensidad o de los colores reales ha supuesto una complicación importante. A ésta se añaden la ausencia de imágenes, aunque sean realizadas con teléfono móvil, y el no haber estado presencialmente en el edificio. Esta carencia de información visual ha supuesto el mayor inconveniente en el modelado. También es de destacar la baja densidad de la nube de puntos, en parte por el escáner utilizado y en parte por haber realizado la toma en un único anillo. Cerrando esta idea, la nube de puntos no es la ideal para el trabajo que se ha realizado con ella en este TFM.

A raíz de lo anterior ha de ponerse en valor que, aún no siendo una instrumentación y metodología elegidas específicamente para la generación de un BIM en los términos aquí planteados, ha sido una solución válida ante situaciones no previstas. La existencia de estos datos ha permitido la realización del TFM de manera satisfactoria, llegando a cumplirse los objetivos marcados.

Sobre la parte de modelado, la primera conclusión son las casi infinitas posibilidades que esta metodología y Revit ofrecen. Trabajar con familias y tipos, por ejemplo, ha permitido la actualización

automática de algunos elementos una vez instalados. En este apartado de Revit y modelado se sitúa la segunda gran complicación que este TFM se ha encontrado, que es la inexperiencia en el programa y la metodología. La sensación es de haber aprendido mucho, lo que ayuda a vislumbrar cuantísimo queda por aprender.

En un párrafo posterior a comentarios sobre Revit es pertinente hablar sobre estandarización. Aunque existen algunos estándares realizados por ciertas organizaciones (BuildingSmart) sigue siendo un campo de desarrollo. En este TFM los formatos los ha marcado una casa comercial y el modelado lo ha llevado a cabo una persona inexperta en BIM, a su buen entender. Sin embargo, se ha cumplido el objetivo, se tiene un BIM. Esto supone que en el siguiente tramo del camino ha de afrontarse la estandarización en pro de la interoperabilidad. En el entorno de este máster es un asunto bien conocido por el sector de las IDE y el GIS. Éstas disciplinas se han comparado en la presente memoria y se ha perfilado un paralelismo. Ambas surgen por la influencia de las TIC y requieren de un alto nivel de estandarización para alcanzar la plenitud de su potencial.

Las conclusiones que se obtienen partir del proceso de validación son dos. La interpretación humana de las nubes de puntos es superior a la de los algoritmos de automatización. El modelo de referencia esta hecho de manera manual, pero para un cometido específico y distinto al de este TFM. El uso de algoritmos SLAM está más enfocado a la determinación de muros perpendiculares entre sí. Si bien esto es la situación real dominante, más aun en edificios modernos, no aplica en edificios antiguos. Para aque-

llos proyectos donde un reflejo fiel de la geometría sea relevante, el modelado manual sin el corsé de perpendicularidades es el idóneo. La segunda conclusión es que la exactitud geométrica del modelo está directamente relacionada con las características de la nube de puntos.

Mi experiencia en la topografía alemana ha supuesto una fortaleza a la hora de realizar el proyecto. Por un lado, haber trabajado en el escaneo de edificios tantos años otorga un conocimiento de prácticas habituales y situaciones típicas de la edificación alemana. Por otro, el conocimiento de sus instituciones, como el *Vermessungsamt*, ha permitido llegar a soluciones como la presentada para la determinación del ancho de los muros exteriores.

Por último, remarcar que para llegar a realizar un BIM As Built de alta calidad son imprescindibles equipos multidisciplinares muy especializados. En este trabajo el aspecto geométrico ha tenido un clara predominancia debido a las disciplinas que intervienen en el máster. Determinar, clasificar e incluir en el modelo tantos otros aspectos paramétricos de los elementos aquí modelados requiere de especialistas en otras disciplinas de AEC. Ésto forma parte, también, de la filosofía BIM. La comunicación y trabajo coordinado de las personas que intervienen ha de ser tan ágil y normal cómo la interoperabilidad de los parámetros del modelo.

12. Epílogo

Como cierre a la presente memoria quiero retomar el carácter y el tiempo verbal personal del preámbulo. Hay algunas reflexiones últimas y subjetivas que considero importante plasmar en estas páginas.

El TFM ha estado marcado, como el conjunto del máster, por una gran cantidad de horas de trabajo individual y silencioso entre la niebla. El carácter no presencial de la titulación te hace no ver la estructura compleja de la universidad, ni a profesoras y compañeras, pero sabes que están ahí.

práctica en el desempeño laboral. Creo que así ha sido, que este trabajo me ha proporcionado una base sólida sobre la que seguir construyendo y aprendiendo.

Por otro lado, hablando de objetivos no escritos, responde al cometido último de La Universidad, la transmisión del conocimiento y la formación.

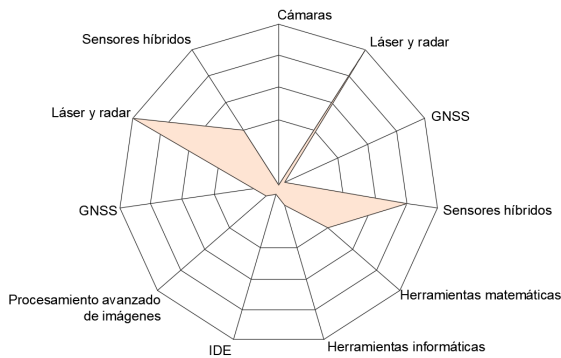


FIGURA 45: gráfico que muestra la situación del TFM en el contexto del máster. Las materias obligatorias se encuentran en sentido horario.

Supone una gran satisfacción personal constatar cuánto he aprendido con este proyecto sobre BIM. Partía desde cero, desde tener que desterrar supuestos erróneos sobre el significado de esta metodología. Poder dar explicaciones detalladas o mantener discusiones sobre algunos aspectos BIM, desde el conocimiento técnico, es el gran objetivo no escrito de este TFM. Entre las motivaciones estaba la de no repetir un proyecto sin posibilidad de continuidad y con una aplicación

13. Lista de figuras y tablas

1.	pizarra resumen de las licitaciones españolas. En la imagen se muestran el análisis para todas las comunidades autónomas de enero a julio de 2020. Las comunidades que más invierten son Madrid y casi todas las bañadas por el Mediterráneo. Fuente: buildingSMART Spain.	22
2.	modelo de referencia del proyecto de la ISPRS.	22
3.	mapa mudo administrativo de Alemania. En color el estado confederado de Niedersachsen. El punto sitúa la ciudad de Braunschweig.	24
4.	mapa catastral. En color la parcela donde se encuentra el edificio.	24
5.	vistas aéreas del edificio. Bienroder Weg 81, Braunschweig. Fuente: Google maps.	25
6.	esquema de vista frontal del escáner láser de mano Zeb Revo de la casa GeoSlam.	25
7.	nube de puntos original. La trayectoria del sensor está marcada por la línea morada. Fuente: (8).	26
8.	vista frontal de la nube de puntos. Se distinguen dos niveles y el cuerpo central que los comunica.	27
9.	vista cenital de la nube de puntos. Se distingue un pasillo central con habitaciones a ambos lados.	27
10.	asignaciones cromáticas en CloudCompare. Arriba, a partir de los datos originales; abajo, a partir de los datos editados con las expresiones de 1.	28
11.	cortes horizontales sin suelos ni techos. Siguiendo el gradiente cromático puede reconstruirse el itinerario de medición.	29
12.	segmentación del cuadrante superior derecho. Arriba, puntos de no interés; abajo, aspecto tras la eliminación de dichos puntos.	30
13.	resumen de compra de la información catastral. <i>Gebäude</i> significa edificio en castellano y <i>Mindestgebühr</i> , pedido mínimo.	31
14.	reconstrucción del edificio y la parcela que lo contiene. En naranja el perímetro del edificio.	31
15.	esquema del ancho máximo medido. En la imagen se distinguen una ventana y el alfeizar interior de las fachadas norte (arriba) y sur (abajo).	32
16.	vista esquemática del muro exterior. El lado izquierdo constituye la fachada principal.	32
17.	vista cenital del muro perimetral y parte de la tabiquería. En marrón, la nube de puntos completa.	32
18.	categorías taxonómicas.	33
19.	niveles jerárquicos de información en Revit.	33
20.	corte vertical norte-sur de la nube de puntos en la zona central de las escaleras. A la izquierda se encuentran los niveles definidos y sus cotas en metros.	34
21.	corte horizontal longitudinal del sótano.	35
22.	corte horizontal longitudinal del sótano después de dibujar los muros. Se ha exagerado la sombra para facilitar su identificación.	36
23.	vista de la puerta principal en nube de puntos desde el interior.	36
24.	creación de la familia <i>puerta exterior</i> en Revit. Se definen los parámetros que darán lugar a los diferentes tipos, en función de los valores que tomen.	37
25.	niveles visuales de detalle en Revit.	37
26.	imagen del modelo sin la nube de puntos. Vista de la entrada principal.	38
27.	en la figura se aprecian dos hueco en el centro de la pared en la planta superior.	38
28.	corte vertical de la fachada sur por el centro de una ventana.	38

29.	medidas de las ventanas de la fachada sur del ala este. Debajo de cada ventana se distingue un radiador.	39
30.	ventanas de la fachada sur de ala este colocadas en su posición. Cada ventana está formada por marco, cristal y alfeizar interior.	39
31.	detección de espacios en Revit.	40
32.	definición de habitaciones. En rojo el perímetro detectado por Revit.	40
33.	en rojo el nuevo perímetro de la habitación. La superficie se ha actualizado.	40
34.	leyenda para la clasificación de habitaciones en función de su superficie útil.	41
35.	mapa de la planta superior después de aplicar la leyenda.	41
36.	vista en miniatura del plano donde se muestran los dos estilos de visualización.	42
37.	render del modelo generado.	42
38.	modelo de referencia de la ISPRS.	43
39.	sótano del modelo de la ISPRS.	43
40.	sótano del modelo del TFM.	43
41.	espesor de la nube de puntos para la cara derecha de un tabique.	44
42.	vista de alzado del modelo de la ISPRS.	44
43.	alzado de la fachada principal en el modelo de la ISPRS.	45
44.	alzado de la fachada principal en el modelo del TFM.	45
45.	gráfico que muestra la situación del TFM en el contexto del máster. Las materias obligatorias se encuentran en sentido horario.	50
46.	Logo de la USAL en formato horizontal. Año 2012.	55
47.	fotografía del IGP tomada en 2018 por Ma Ku de la que se ha obtenido la paleta de colores. Parte inferior.	56

Lista de tablas

1.	datos del sensor ZEB-Revo obtenidos del estudio de la ISPRS (8)	26
2.	datos de la nube de puntos obtenidos del estudio de la ISPRS (8)..	27
3.	formato de los datos originales	27

14. Glosario de abreviaturas y acrónimos

AEC, *Architectural, Engineering and Construction industry*

BIM, *Building Information Modeling*

CAD, *Computer Aided Design*

CE, *Comisión Europea*

EE.UU., *Estados Unidos de América*

EPSA, *Escuela Politécnica Superior de Ávila*

GNSS, *Global Navigation Satellite System*

IDE, *Infraestructuras de Datos Espaciales*

IGP, *Institut für Geodäsie und Photogrammetrie*

IMU, *Inertial Measurement Unit*

ISO, *International Organization for Standardization*

ISPRS, *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*

LEED, *Leadership in Energy and Environmental Design*

LOD, *Level of Development*

MEP, *Mechanical, Electrical and Plumbing*

PFC, *Proyecto Fin de Carrera*

SLAM, *Simultaneous Localization and Mapping*

TFG, *Trabajo Fin de Grado*

TFM, *Trabajo Fin de Máster*

TIC, *Tecnologías de la Información y la Comunicación*

TUB, *Technische Universität Braunschweig*

UE, *Unión Europea*

15. Bibliografía

Referencias

- [1] Ajuntament de Barcelona, Agència de l'Habitatge Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya infraestructures.cat, C. D. A. T. I. E. D. D. B. (2015). Manifiesto [bimcat barcelona](http://bimcat.barcelona).
- [2] Bergé, G. (2019). *Analyse de la dérive d'un scanner dynamique, le Zeb-Revo RT*. PhD thesis, Gexia Foncier Expert, 209 rue Jean Bart, 31670 Labège.
- [3] BIM, C. (2015). Estrategia española.
- [del Estado] del Estado, J. Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de contratos del sector público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las directivas del parlamento europeo y del consejo 2014/23/ue y 2014/24/ue, de 26 de febrero de 2014. BOE-A-2017-12902.
- [5] Española, R. A. (2020). Diccionario de la lengua española.
- [6] Europea, C. (2015). Una estrategia para el mercado Único digital de europa. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex:52015DC0192>.
- [7] Flores, A. (2017). *¡BIM, VEN! 101 cosas que podrás hacer*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- [8] Khoshelham, Kouros Díaz Vilariño, L. . P. M. . K. Z. (2018). Isprs benchmark on indoor modelling report of scientific initiative 2017.
- [Ministerio de la presidencia] Ministerio de la presidencia, r. c. l. c. e. i. Real decreto 1515/2018 de 28 de diciembre, por el que se crea la comisión interministerial para la incorporación de la metodología bim en la contratación pública. BOE-A-2019-1368.
- [10] Press, C. U. (2020). Cambridge dictionary.
- [11] Santamaría Gallardo, Luisa Hernández Guadalupe, J. (2017). *Salto al BIM*. JHGUADALUPE.
- [12] Sergio Muñoz Gómez, V. R. S. (2018). Estudio macro de adopción bim en españa 2018. Technical report, BIME Initiative, buildingSMART Spanish Chapter.
- [13] Sergio Muñoz Gómez, V. R. S. (2019). Estudio macro de adopción bim en españa 2019. Technical report, BIME Initiative, buildingSMART Spanish Chapter.
- [TASKGROUP] TASKGROUP, E. Manual para la introducción de la metodología bim por parte del sector público europeo.

A. De lo útil y lo estético

La dualidad *útil-estético* se encuentra presente en la mayoría de los desempeños humanos, más en concreto, en los ambientes técnicos. Desde la economía hasta la automoción, la estética ayuda a transmitir determinada información. A veces es sólo un rectángulo de color que llama la atención sobre su contenido, diagramas de barras con textura o combinaciones de colores en el salpicadero de un coche.

Pensando ahora en colores, siendo más las variables visuales que pueden intervenir en la emisión de un mensaje o una información, es evidente que tienen una utilidad. En un extremo, podemos imaginar un mapa o un gráfico donde los colores han sido elegidos aleatoriamente. Colores muy saturados, cercanos y poco armónicos, pueden entorpecer la comprensión del contenido. En el otro extremo, imaginamos ese mismo mapa o gráfico con tonos adecuados al contenido al que representan o complementan.

Considerando el máster en que el trabajo se engloba y la titulación universitaria a la que éste da continuidad, parece pertinente y adecuado no dejar algunas facetas de lado. Aunque la expresión *ser topógrafo* se acaba imponiendo a otras, en pro del entendimiento, quiero aquí reivindicarlas. Somos también cartógrafos y, como tales, no debemos perder de vista lo estético y lo armónico.

Muchos de quienes nos encontramos alrededor de este TFM tenemos una relación importante con la Cartografía. Y muchos, si no todos, hemos asistido en algún mo-

mento como alumnos a clases canónicas que empiezan por el principio mismo de la cosas: «La Cartografía es la técnica y al arte de confeccionar...»

Arte de trazar mapas geográficos.
Ciencia que estudia los mapas.
(5)

Lo que se pretende es dar a la estética de este proyecto, centrados en los colores, un sentido y una argumentación. Puede perfectamente pasar desapercibida, existen multitud de paletas de colores y series que, sin duda, quedarían bien. Podríamos tomar una gama de verdes con distintas saturaciones y quedaría resultón pero, ciertamente, carente de significado. De hacerlo, de tomarnos un tiempo para decidir qué tonos vamos a emplear, tomémoslos dos tiempos y hagámoslo razonadamente. No es arbitrario que el tono corporativo y distintivo de la universidad en la que nos encontramos sea el que es.



FIGURA 46: Logo de la USAL en formato horizontal. Año 2012.

Lo primero que llama la atención del edificio es el tono rojizo del tejado y el tono crema de la fachada. El tono actual no es fruto del diseño de los arquitectos que plantearon el edificio, sino del efecto de remodelaciones y arreglos. Estos materiales han estado a la intemperie durante años. Empieza a aparecer un campo de decisiones. ¿Qué intención tenía ese color crema en las fachadas? Dejemos ese camino de momento y observemos el edificio desde el aire.

Observando los tonos de la mejor fotografía de que se dispone del IGP (véase

la figura 47) hay un claro predominante, el crema de las cuatro fachadas. El tejado presenta dos tonos, granate y negro. Es decir, todas las fachadas (elementos verticales) se ven representadas por el crema mientras que el tejado (elementos horizontales), lo hace a través del granate.



FIGURA 47: fotografía del IGP tomada en 2018 por Ma Ku de la que se ha obtenido la paleta de colores. Parte inferior.

Esos tres colores representan el edificio, recogen todos los tonos de las caras exteriores del mismo. Hemos llegado a una idea, a la determinación de unos tonos como *corporativos* de este trabajo. Y estos, además de no mostrar disonancia significativas, tienen una razón de ser. Tiene un significado directamente relacionado con el objeto que tenemos entre manos.

Aun argumentadas, podemos encontrar muchas más combinaciones. Por ejemplo, colores representativos de las marcas de instrumentos que han intervenido, negro y naranja. Sí, respondería a los planteamientos iniciales de evitar la aleatoriedad. Pero, además de la no aleatoriedad intervienen otros criterios. En este ejemplo concreto se considera mucho más adecuado representar al edificio que a los fabricantes. Por diversas razones, estéticas también, aunque éstas más discutibles.

Pero hay otras. Que se incluya este capítulo significa, de alguna manera, que lo que los colores representan es importante. Puede darse una mayor relevancia en el trabajo al edificio o las marcas. Optamos por el edificio.

Existe otra consideración importante. Este proyecto no parte de cero. Se plantea aplicar una metodología BIM a un edificio hace años construido y operativo. Adaptarse a lo preexistente, respetar los colores que ya tiene, encaja bien con la filosofía del trabajo. Se trata de modelizar el edificio, duplicarlo a un mundo virtual, tal como es en el mundo real y de igual manera que nuestra labor es mostrar un pilar de 60 cm de lado allí donde exista, tiene mucho más sentido extender ese planteamiento de base de la Topografía y la Cartografía, de fidelidad en la representación del mundo.

Por lo tanto, se consideran los colores de la figura 47 como adecuados para acompañar esta memoria. Cerrando argumentadamente un fleco que se ha quedado suelto: se resuelve la disyuntiva entre si tomar el color actual del edificio o el original. Pues bien, en consonancia con la filosofía de la metodología BIM, que se plantea para toda la vida útil del edificio, tomaremos el color actual, como el de un fotograma de una película. No se ha planteado el BIM como una foto fija anclada al momento de la entrada en uso del centro y, por tanto, carece de sentido obviar esta lógica y tomar como actual algo que lo era hace años. El tiempo tiene un sólo sentido de avance y el edificio debe estar enteramente en el mismo momento.