

# BIM methodology in Building Engineering degree: workshop in Graphical Expression of Technologies subject

## Metodología BIM en el grado de edificación: modelo de taller en la asignatura Expresión Gráfica de Tecnologías

### ENRIQUE NIETO

Graphic Expression and Building Engineering Department. Higher Technical School of Building Engineering. University of Seville. Spain. [jenieto@us.es](mailto:jenieto@us.es)

### FERNANDO RICO

Graphic Expression and Building Engineering Department. Higher Technical School of Building Engineering. University of Seville. Spain. [fricodel@us.es](mailto:fricodel@us.es)

### DANIEL ANTÓN

Graphic Expression and Building Engineering Department. Higher Technical School of Building Engineering. University of Seville. Spain. [danton@us.es](mailto:danton@us.es)

### JUAN JOSÉ MOYANO

Graphic Expression and Building Engineering Department. Higher Technical School of Building Engineering. University of Seville. Spain. [jmoyano@us.es](mailto:jmoyano@us.es)

- ◊ The implementation of BIM technology in the AECO sector is necessary and urgent.
- ◊ The difficulty of implementing BIM in the students' curriculum is due, in part, to the obsolescence of the plans.
- ◊ The incorporation of BIM must be implemented from the first course, as a start to a progressive forma-

The concept of BIM implies a radical change in the way of facing the architectural design and the life cycle process of the projects and the buildings. It is an efficient and open system of communication and cooperation between the different operators involved in the construction process and, therefore, it becomes in a suitable tool for its implementation in the Technical Schools of Engineering and Architecture. This paper defends the recognition of the BIM methodology as a collaborative and coordinated instrument for its application in the university teaching in degrees of this field of knowledge, so that the flow of interdisciplinary information is efficient. The experience of the implementation of this methodology in the Degree in Building is described. It is based on a workshop-integrator model in the subject called Graphic Expression of Technologies. Subsequently, educational enquiries derived from the innovation developed are collected, showing its benefits for the student body as regards learning, and also the limitations found. In conclusion, the outcomes obtained lead to continue supporting this technological integration. Finally, a series of recommendations for its improvement are provided, concerning the way to guide the students throughout the experience, and also related to the teaching organisation through the curriculum.

*BIM Methodology, Interdisciplinary Integration, Collaborative Work, Innovation in Teaching*

- ◊ La implantación de la tecnología BIM en el sector AECO es necesaria y urgente.
- ◊ La obsolescencia de los planes de estudio influye en la dificultad de la implantación del BIM en el curriculum formativo.
- ◊ La incorporación del modelado de información del edificio debe ser implantada desde el primer curso y de modo progresivo.

El concepto de BIM implica un cambio radical en la manera de afrontar el diseño arquitectónico y el proceso de ciclo de vida de los proyectos y de los edificios. Se trata de un sistema eficiente y abierto de comunicación y cooperación entre los distintos operadores que intervienen en el proceso constructivo y, por tanto, resulta ser una herramienta idónea para su implantación en las Escuelas Técnicas de Ingeniería y Arquitectura. Este artículo defiende el reconocimiento de la metodología BIM como instrumento de trabajo colaborativo y coordinado para su aplicación en la docencia universitaria en titulaciones de esta rama de conocimiento, a fin de que el flujo de información interdisciplinar sea eficiente. Se describe la experiencia de la implantación de esta metodología en el Grado de Edificación, a través de un modelo de taller-integrador en la asignatura de Expresión Gráfica de Tecnologías. Posteriormente, se recogen averiguaciones docentes derivadas de la innovación desarrollada, mostrando sus beneficios para el estudiantado a nivel de aprendizaje y las limitaciones halladas. Con todo, los resultados obtenidos llevan a seguir apostando por esta integración tecnológica. Finalmente, para la mejora de esta innovación, se aportan una serie de recomendaciones en lo relativo a la manera de guiar al alumnado en la experiencia y relacionadas con la organización de las enseñanzas a través de sus planes de estudios.

*Metodología BIM, Integración interdisciplinar, Trabajo Colaborativo, Innovación Docente*

## 1. INTRODUCCIÓN

La actual coyuntura en que se encuentra España, con la necesaria y urgente implantación de la tecnología BIM en el sector AECO, ya iniciada en países de nuestro entorno,

como Reino Unido, exige a todos los agentes educativos a asumir el compromiso de incorporar de inmediato esta metodología en los planes de estudios de los Grados Universitarios de Arquitectura e Ingeniería en sus diferentes especialidades.

La misión de las recientes Comisiones Nacionales para la implantación del BIM (Alemania, Francia, España, etc.), está última apelada es BIM, es involucrar a todos los operadores, sean administraciones, ingenierías, constructoras, profesionales y universidades. Otras iniciativas europeas a una escala más global, como es EU BIM Task Group, persiguen fomentar 'la construcción digital' en obras públicas con el uso común de la tecnología BIM, con el objetivo de optimizar la relación calidad-precio público, la calidad de la hacienda pública y la competitividad sostenible de la industria.

Frente a esta inercia emergente de las nuevas tecnologías de modelado con información alfa-numérica, las escuelas técnicas deben promover la revisión de sus planes de estudios. Esta modificación que afecta a áreas departamentales muy distintas, es necesaria, si se quiere un aprendizaje transversal de los contenidos de los títulos de grado. Además, supone un reciclaje continuo del profesorado y un proceso pedagógico en constante comunicación con el ámbito profesional.

## 2. EL MODELADO DE INFORMACIÓN DEL EDIFICIO O BIM

El concepto de Modelado de Información del Edificio o BIM (*Building Information Modeling*), implica un cambio radical en la manera de afrontar el diseño arquitectónico y el proceso de ciclo de vida del proyecto y del edificio. El hecho de que surja un sistema abierto de comunicación y cooperación entre los distintos operadores del proceso constructivo e ingenieril hace que el BIM se encuentre entre las áreas más destacadas en la comunidad científica [1]. Desde el sector de la Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Organización (AECO) se asume como una nueva oportunidad y un reto al exigir la dedicación de importantes recursos tanto técnicos como económicos del equipo humano. De hecho, en la actualidad el término BIM sobrepasa conceptos de sistemas o

de tecnologías para acercarse a una nueva concepción de metodología eficiente y colaborativa, incorporando información geométrica (3D), de unidades de tiempo (4D), de costes (5D), sostenibilidad (6D) y de mantenimiento (7D) y a diferentes niveles de detalles [2]. En las Escuelas Técnicas de Ingeniería y Arquitectura, este avance no debe ser óbice y se tiene que hacer un esfuerzo por implantar sistemas que reconozcan las plataformas BIM como verdaderos instrumentos de trabajo cooperativo entre las diferentes áreas del sector AECO: Técnicas de Construcción, Sistemas de Instalaciones, Análisis Estructural, Análisis Energético, Programación y Organización de Obras [3], [4], [5]. Desde el Centro de Formación Permanente de la Universidad de Sevilla, en el año 2009 se inició un ambicioso programa de cursos de formación en las últimas tecnologías de diseño CAD con el objetivo de realizar una línea específica de modelado de la construcción, empleando herramientas avanzadas (software) que incorporaran el concepto de Edificio Virtual de Información o BIM. Esto ha derivado actualmente en una oferta de formación completa especializada en Metodología Open BIM, que derivará en un título propio de Máster (Fig. 1).

Cada vez está más asumida la importancia de trabajar coordinadamente para que el flujo de información interdisciplinar en nuestro sector sea eficiente. Los que hemos denominado en la década pasada *última tecnología* para la representación y gestión de la construcción, entre los que se encuentran profesionales y docentes, ahora la percibimos como un sistema metodológico innovador muy válido para mejorar la educación en el área de la edificación [6], [7].

La actual fase en la que se encuentran las empresas y organizaciones del sector AECO de todos los países europeos es la de adaptación a las nuevas necesidades de una sociedad globalizada, de mejorar los sistemas de producción, la gestión y el mantenimiento de la edificación.

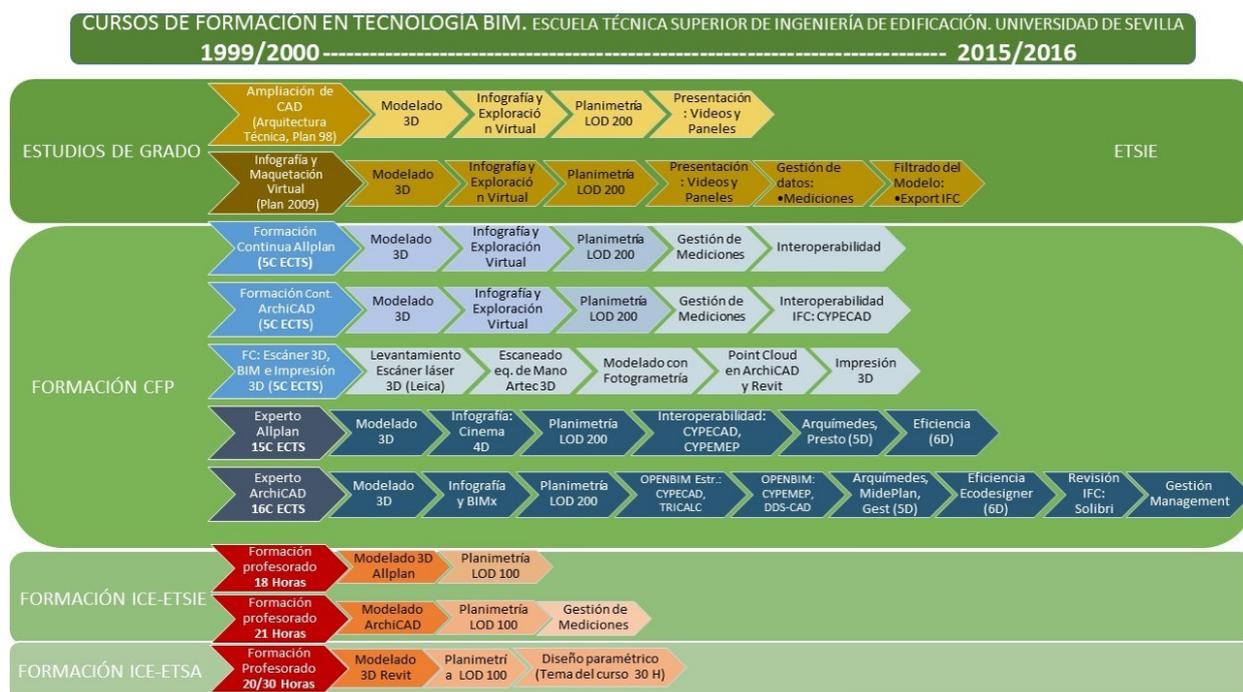


Figura 1: Cursos de formación en Tecnología BIM en ETSIE y CFP de la Universidad de Sevilla. Inicio curso 1999/2000 (Plan 1998) hasta el curso 2015/2016

En este sentido, la universidad y los centros de enseñanza superior deben adaptarse a una nueva formación. Los contenidos de los planes de estudios tienen que adecuarse a las demandas de la sociedad y sustentados en sistemas con un valor activo. De este modo evitaremos que volvamos a repetir errores pasados causados, más que por una carencia en conocimientos teóricos, por la falta de una metodología colaborativa y coordinada que emplee medios tecnológicos eficaces que mejoren la productividad.

El nivel de Implantación de BIM en España sigue siendo muy escaso, motivado principalmente por la crisis económica, que ha dado de lleno en el sector de la construcción. En países como Estados Unidos, Australia y la franja del norte de Europa ya están establecidas estrategias nacionales de implantación de BIM. Y en Reino Unido, a partir del pasado

enero del 2016, lo que se inició como una iniciativa gubernamental para el uso del BIM en las obras gestionadas por las administraciones públicas, ha acabado como un reto asumido por todas las empresas, públicas y privadas, del sector. En España, en el año 2015, se constituyó la comisión para la implantación de la metodología BIM. El Ministerio de Fomento asume el liderazgo de esta estrategia, para la que quiere contar con el apoyo de todos los agentes públicos y privados, entre los que se debe encontrar el mundo académico (Universidades y Centros de Estudios Superiores) para que la implantación sea real y efectiva. Es importante destacar en esta estrategia, entre otros objetivos, el *aumentar la productividad del sector de la construcción y reducir los costes de las infraestructuras a lo largo de todo el ciclo de vida* (Tabla 1).

Impulsar la implantación de BIM en la industria de la construcción española.
Fomentar el uso de BIM en todo el ciclo de vida de las infraestructuras.
Sensibilizar a las Administraciones Públicas en el establecimiento de requisitos BIM en las licitaciones de infraestructuras con el objetivo de reducir sus costes.
Establecer un calendario para la adaptación de la normativa para el empleo generalizado de BIM.
Desarrollar los estándares nacionales que posibiliten el uso homogéneo de BIM.
Realizar el mapa académico de la formación BIM en España y promover su inclusión en planes de estudio.
Promover la digitalización de los trabajos derivados del desarrollo de las infraestructuras, desterrando el formato físico, con el consiguiente ahorro económico y medioambiental.
Fomentar la aplicación de "Open BIM", es decir, que todas las operaciones relacionadas con BIM se basen en estándares abiertos y universales, interoperables entre sí.
Apoyar un mayor y mejor posicionamiento de la industria española en el mundo a través del empleo de la metodología BIM.
Afianzar la participación de España en los foros de decisión internacionales.

Tabla 1: Principales líneas del Decálogo de la Comisión BIM en España

### 3. MODELO DE TALLER-INTEGRADOR EN LA ASIGNATURA

A la espera de que se establezca un nuevo Plan para los Estudios de Grado en Edificación, la asignatura de Expresión Gráfica de Tecnologías ha iniciado en el curso 2015/2016 un

proyecto piloto para que el programa se sustente en una metodología más innovadora empleando las *nuevas tecnologías de Modelado y Gestión de la información*, y cumplir con sus competencias (Tabla 2).

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje	Actividades docentes	Evaluación
E119. Concebir, diseñar, definir, detallar y solucionar técnica y tecnológicamente elementos, procesos y sistemas constructivos. Empleando las nuevas tecnologías de Modelado y Gestión de la información del Edificio o BIM	Definir, elaborar y aplicar las herramientas gráficas avanzadas (software CAD-BIM) para un Modelado Paramétrico de los elementos, necesarias para solucionar técnica y tecnológicamente elementos, procesos y sistemas constructivos	Clases teóricas, clases prácticas y aprendizaje basado en proyectos técnicos, con el desarrollo de las áreas temáticas hasta un nivel de desarrollo /detalle (LOD) 400	Prácticas desarrolladas por los alumnos y Presentación de Trabajos

Tabla 2: Competencias Específicas de la asignatura Expresión Gráfica de Tecnologías, curso 2015/2016. Adaptación a las nuevas directrices para la Acreditación del Grado de Edificación

### 3.1. SIMULACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA FASE DE MODELADO

El BIM es una metodología muy eficaz para la simulación del proceso constructivo y su conocimiento, principalmente para el análisis de un edificio existente [8]. Por ello, constituye una herramienta de visualización y representación fundamental para los alumnos que cursan la asignatura de Expresión Gráfica de Tecnologías del Grado de Edificación.

Basándonos en un edificio cercano de arquitectura sencilla como modelo de estudio y análisis, y apoyándonos en la documentación gráfica aportada del proyecto, el alumno lo modela por fases evolutivas, como una simulación de su construcción, siguiendo las unidades temáticas del programa docente (Tabla 3).

Fase/Práctica I:	Modelo virtual Estructural, conteniendo: losa de cimientos, muro estructural del foso de ascensor, pilares, forjados y escaleras.
Fase/Práctica II:	Cerramientos, particiones de albañilería y huecos/carpinterías.
Fase/Práctica III:	Cubiertas y sistemas de instalaciones.
Fase/Práctica IV:	Finalización del Modelo y gestión de la información (= Innovación).

Tabla 3: Prácticas de la asignatura Expresión Gráfica de Tecnologías, curso 2015/2016

Las principales aplicaciones de modelado arquitectónico que encontramos hoy son AECOsim, Allplan, ArchiCAD y Revit. Cada uno tiene sus ventajas y singularidades, y es difícil escoger con criterio qué software utilizar. Si habláramos de una implantación en nuestra empresa o estudio, se complicaría

aún más. Evidentemente, la mejor solución sería que el alumno experimentara con las cuatro plataformas BIM, pero está claro que no se puede impartir en una asignatura cuatrimestral. Al final, se establece que el alumno emplee sólo una y sea de libre elección, ya que todas son válidas para solucionar las prácticas propuestas. Sin embargo, por operatividad, el profesor del grupo propone el software a usar: Grupo 1-3 emplea ArchiCAD y Revit, Grupo 2 opta por Allplan. Actualmente, son varios los profesores de la asignatura que usan software BIM y, por ello, bien conocedores de las herramientas que integran. Recordemos que en la escuela se inició el empleo de aplicaciones de "CAD avanzado" en el curso 1999/2000 [9]. De este modo, se facilita a los alumnos aplicarlas eficazmente en cada caso y sacarles el máximo rendimiento.

Como el alumno, en cada una de las prácticas, va elaborando detalles constructivos a partir del modelo de información general, resulta más eficaz y productivo que utilice las mismas aplicaciones informáticas BIM. Por lo que, a la vez que se modela virtualmente a un nivel de desarrollo/detalle LOD 200 [10], el alumno se centra en las zonas designadas para elaborar los detalles propuestos en relación con cada área temática, elevando aquí el nivel a LOD 300.

La metodología le facilita al profesor un seguimiento progresivo del modelado desarrollado por cada estudiante (trabajo individual), vinculado a cada fase del proceso virtual-constructivo del edificio. Ello permite que sea evaluado gradualmente a la vez que realiza las prácticas programadas durante el curso. Cuando el alumno llegue a la última práctica habrá finalizado el modelo gráfico tridimensional, siendo el arranque para una clasificación de los elementos integrantes: forjados, pilares, muros, cubierta, carpinterías y revestimientos (Fig. 2).

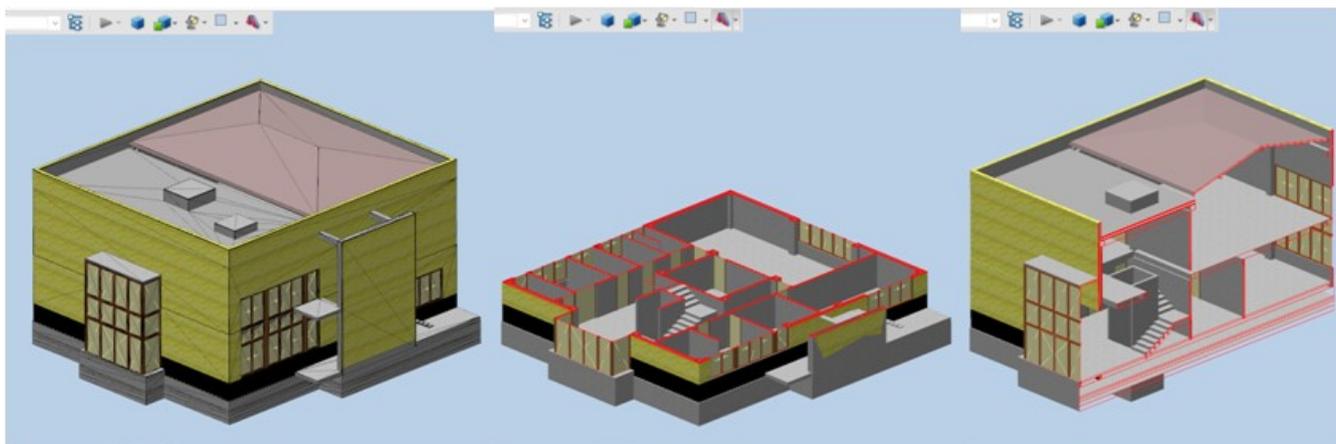


Figura 2: Modelado del edificio, empleando el software BIM Allplan. Explorado en archivo 3D.pdf

### 3.2. PRÁCTICA DE INNOVACIÓN. GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL MODELO

El objetivo de cualquier trabajo de investigación es adquirir conocimientos y dar a conocerlos mediante su divulgación y transmisión. En años anteriores, se había propuesto como última práctica de curso un trabajo de investigación, pretendiendo que el alumno adquiriera y reforzara una serie

de capacidades como *la capacidad de trabajar en equipo (Competencia G.07), la capacidad de análisis y síntesis (Competencia G.05), y en la búsqueda, análisis y presentación de los conocimientos adquiridos sobre un tema concreto de índole histórico-arquitectónica, constructiva o tecnológica.* A partir del curso académico 2015-2016 percibimos que era el momento idóneo para sustituir el término de Investigación por uno más acorde con los tiempos, como es el de Innovación.

En esta última fase del proyecto docente buscamos que el alumno pueda consumir el proceso de estudio de los sistemas constructivos empleados en el edificio en base a una representación gráfica-interactiva. La circunstancia de implementar la tecnología BIM en la metodología de la asignatura nos trasfiere un valor añadido a la tradicional grafía de planos acotados y de distribución del hecho constructivo. El alumno percibe de este modo una docencia

acorde con los progresos tecnológicos que le envuelven en su día a día, fundamental para que se vea más conectado y participativo. Finalizada la maqueta, obtienen de manera sencilla y flexible (motivados por revisiones o cambios sustanciales) las vistas de plantas y secciones acotadas del modelo, y los detalles propuestos a LOD 300 para el análisis de sistemas constructivos (Fig. 3, 4, 5 y 6).

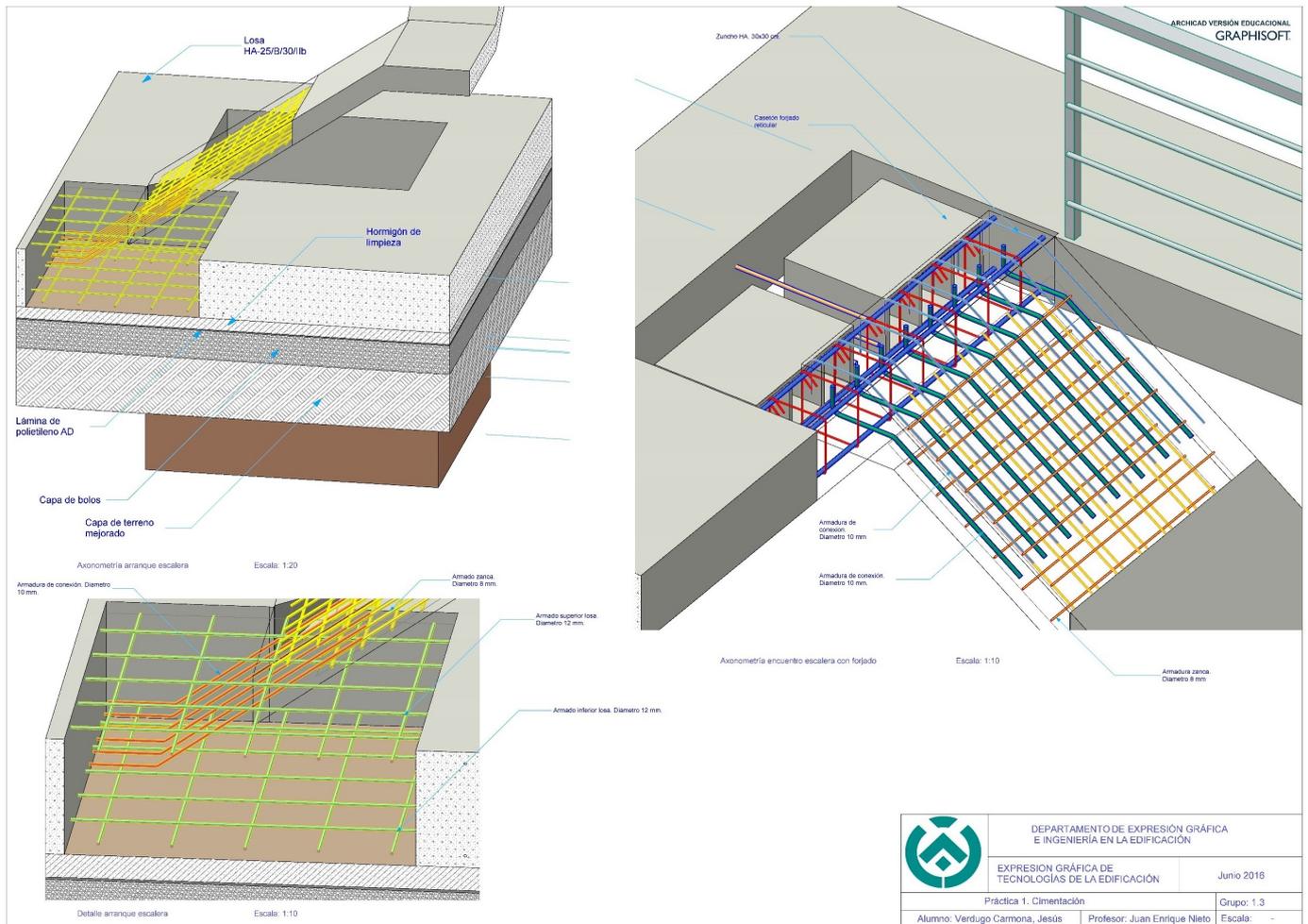


Figura 3: Arranque y desembarco de la escalera, con el análisis del reparto de las armaduras. Detalles Axonómétricos realizados con ArchiCAD 19. Alumno autor: Jesús Verdugo

Concedores del limitado tiempo que dispone el alumno para elaborar una documentación completa, proponemos una distribución equitativa entre todos los grupos de los Listados o

Esquemas de datos del modelo BIM, agrupándolos en categorías (Tabla 4).

- \_\_\_\_\_  
 Listado de volúmenes de hormigón en: losa de cimentación, pilares y forjados.
- \_\_\_\_\_  
 Listado de Superficies (áreas) útiles y construida.
- \_\_\_\_\_  
 Listado de Carpinterías: puertas, ventanas y ventanales.
- \_\_\_\_\_  
 Listado de muros: cerramientos y divisiones interiores.
- \_\_\_\_\_  
 Listado de superficies de los revestimientos de muros y techos

Tabla 4: Listado de datos asociados al modelo BIM representado. Práctica IV de EGTE, 2015/2016

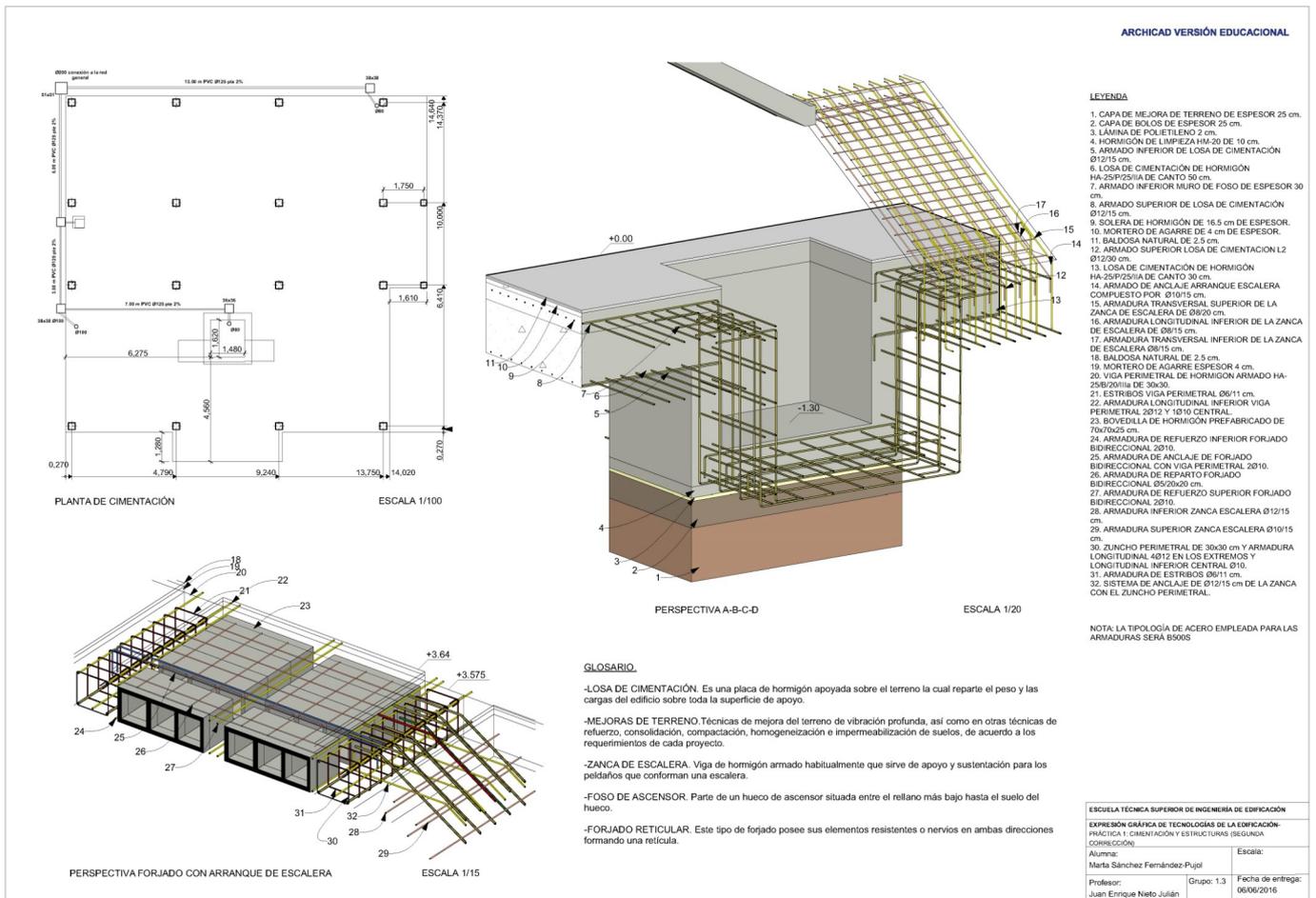


Figura 4: Arranque y desembarco de la zanca de escalera, con disposición de las armaduras. Detalles Axonómétricos realizados con ArchiCAD 19. Alumno autor: Marta Sánchez

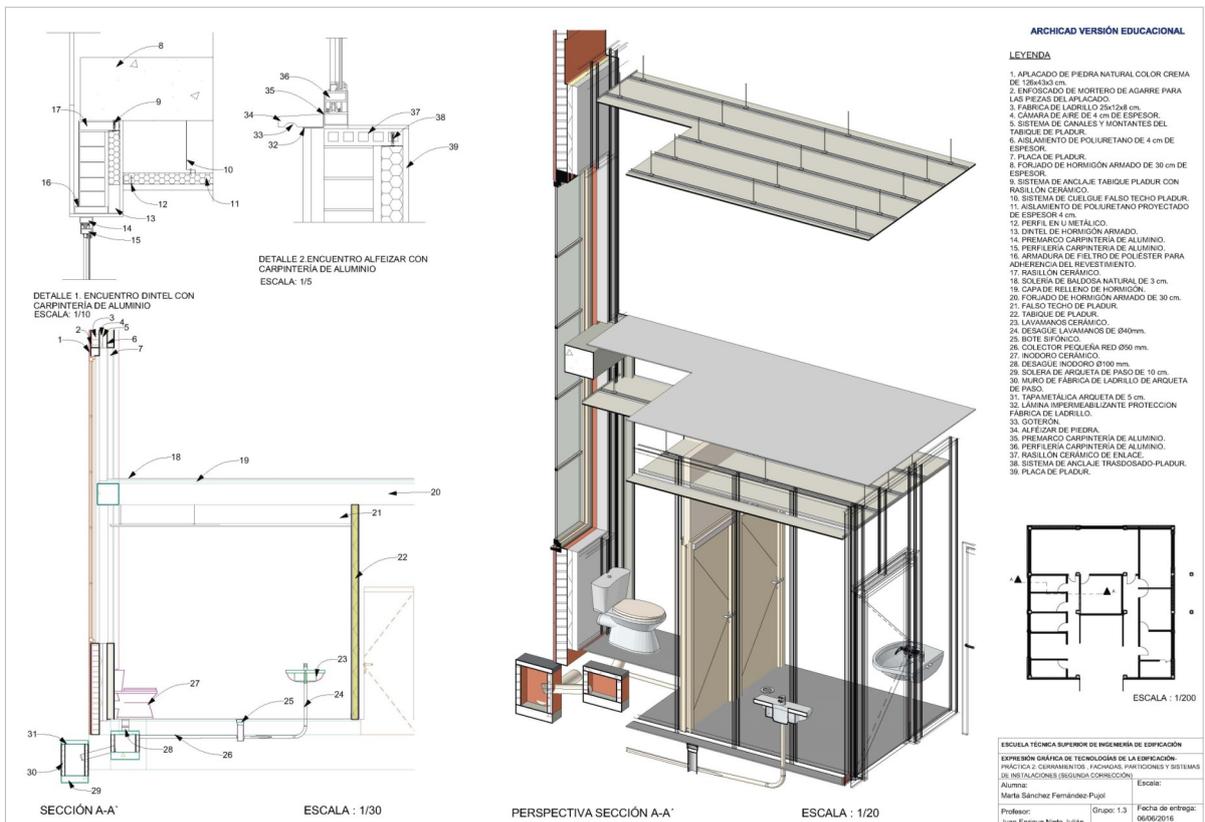


Figura 5: Análisis de sistemas de divisiones, falsos techos e Instalaciones en la zona de aseos. Detalles Axonómétricos realizados con ArchiCAD 19. Alumno autor: Marta Sánchez

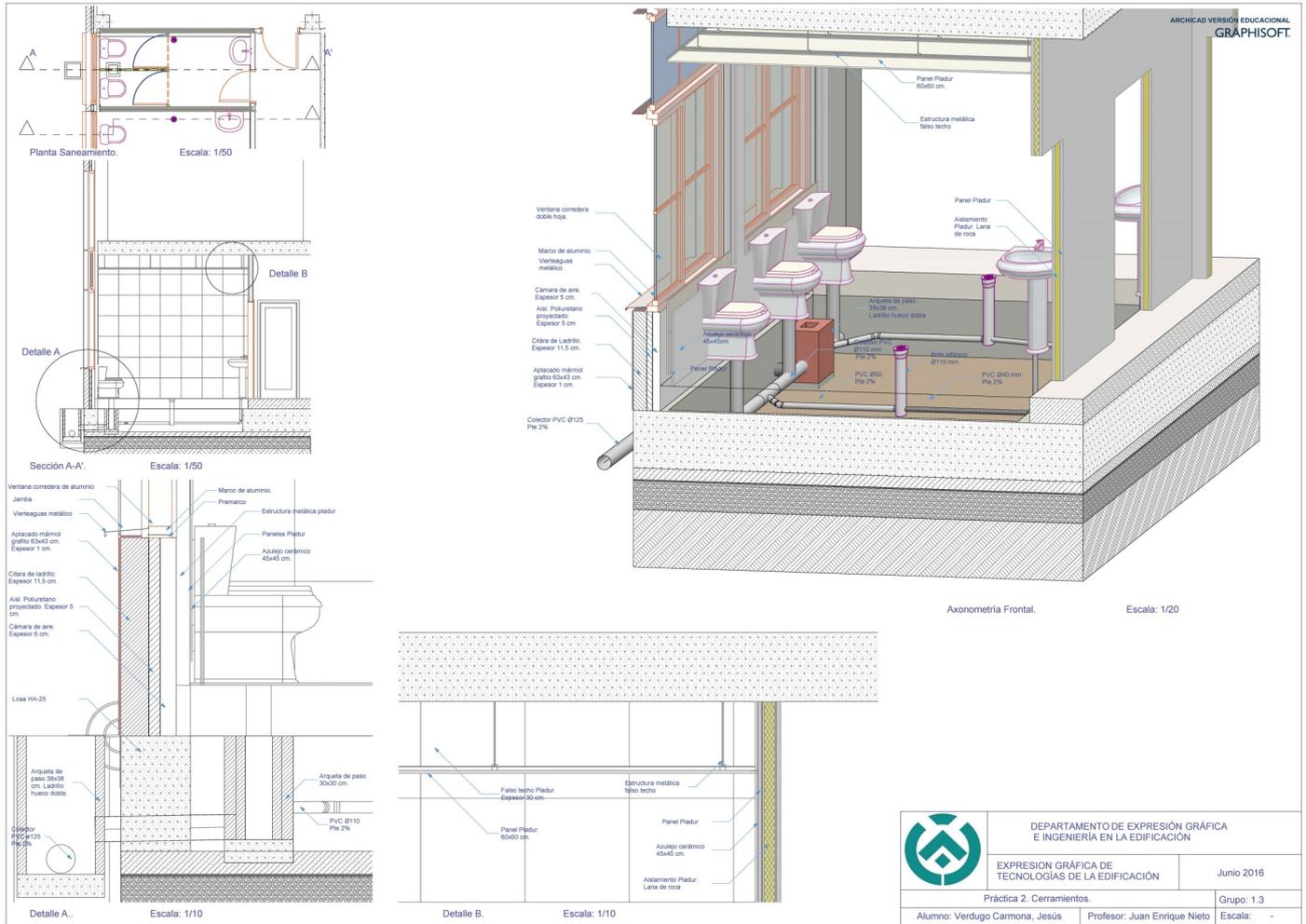


Figura 6: Análisis de sistemas de divisiones, falsos techos e Instalaciones en la zona de aseos. Detalles Axonométricos realizados con ArchiCAD 19. Alumno autor: Jesús Verdugo

### 3.3. DE LA MAQUETA VIRTUAL A LA MAQUETA FÍSICA POR IMPRESIÓN 3D

La expresión gráfica aporta al alumno conocimientos fundamentales para el entendimiento de los sistemas de la construcción. Los continuos avances tecnológicos en el área de la representación, intrínsecamente ligada a la visualización, hacen que la enriquezcan cada día con medios más eficaces para que la transmisión del conocimiento sea completa y plena. La exploración física y táctil del modelo por parte del alumno es esencial para la comprensión de la arquitectura, lo que nos ha llevado a plantear la transformación de la maqueta "virtual" en una maqueta "material" 3D.

El edificio tomado como modelo fue levantado por técnicas de escaneado en una etapa anterior, apoyado en tres posicionamientos circundantes de un equipo escáner láser 3D (ScanStation C10 de Leica). Para mejorar la visualización de texturas y tomar datos aéreos se confeccionó un levantamiento fotogramétrico, empleando una cámara fotográfica (Canon EOS 650D) en el recorrido perimetral, y el vuelo de un dron para captar la geometría de la cubierta.

Estos datos no han sido suministrados a los alumnos inicialmente, disponiendo sólo de las proyecciones métricas fundamentales del edificio para la confección del modelo BIM.

En una nueva etapa, previa a la confección de la maqueta física, la nube de puntos es insertada en el software BIM (ArchiCAD y Revit) para adaptar el modelado paramétrico a la realidad material (Fig. 7). Se demuestra, y no nos sorprende, que la construcción existente se distancia del proyecto de ejecución inicial en sus aspectos dimensionales y soluciones constructivas. La nueva metodología sustentada en la tecnología BIM asume, como uno de sus principales fines, solventar estos problemas al apostar por una construcción eficiente, desde su concepción y diseño, pasando por la fase construcción "As Built", hasta su mantenimiento.

Para la obtención del modelo físico mediante prototipado rápido con proceso de fabricación aditiva, se hace necesario exportar el modelo definitivo a un formato estándar como por ejemplo el STL, que recoge toda la información geométrica del mismo (Fig. 8).

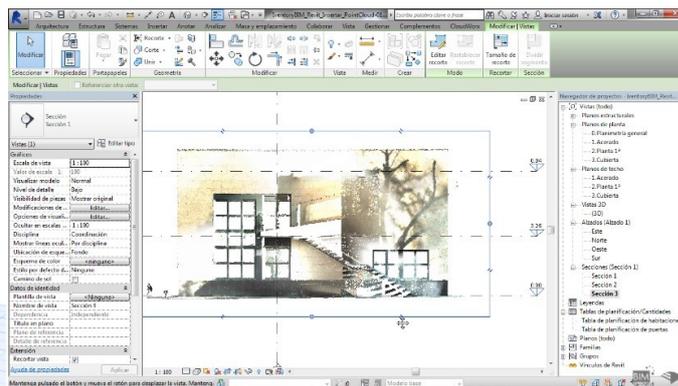
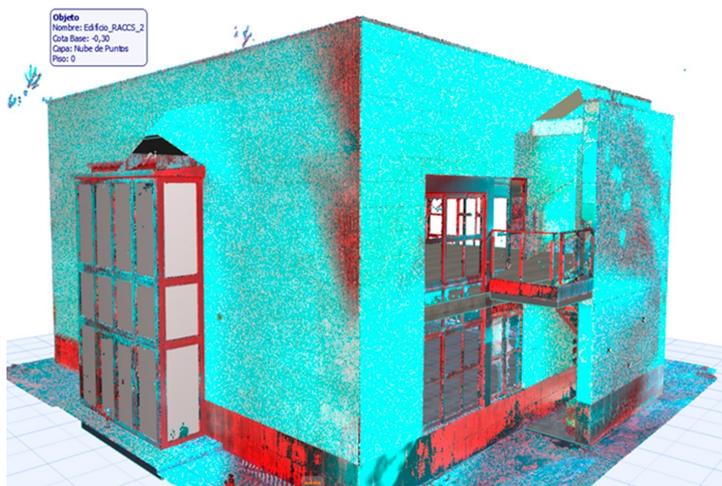


Figura 7: a. Inserción en ArchiCAD de la Nube de puntos procedente del escaneado del edificio. b. Base referencial para un modelado fiel del edificio (Vista Alzado de la N. Puntos en Revit)

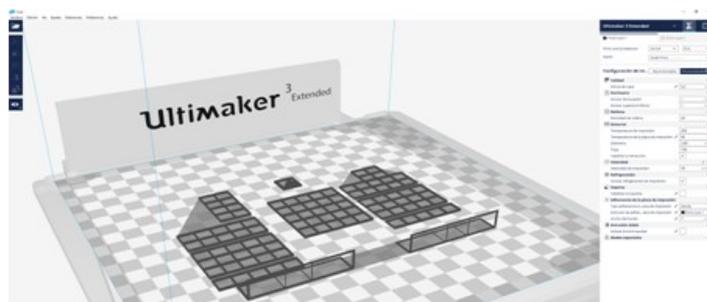
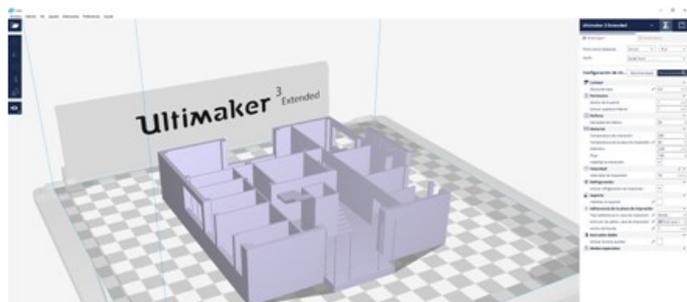


Figura 8: a. STL con escala y resolución de plantas para obtención de archivo GCode en impresión 3D. b. Ídem anterior en carpintería

Debido a las pocas posibilidades de edición posterior de este formato, se plantea el análisis previo y la subdivisión por plantas del modelo completo BIM, así como la separación de elementos y/o capítulos singulares del edificio como plantas y

carpinterías [11], mejorando de este modo los resultados finales en calidad y colores diferenciados para el ensamblaje final (Fig. 9), siguiendo diferentes métodos [12], [13].

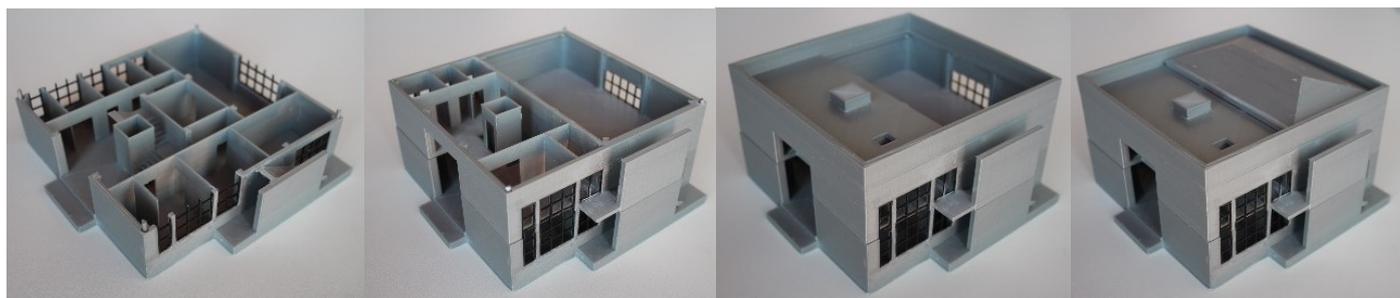


Figura 9: 3D dividida, imprimida por niveles para facilitar el estudio del edificio, y su ensamblaje final

### 3.4. DISTRIBUCIÓN DE LA CARGA DOCENTE

En la fase de modelado del edificio, el software BIM facilita al alumno llevar un ordenamiento lógico del proceso constructivo, similar a un levantamiento real del edificio, simulando sus mismas técnicas. En una fase posterior, debe materializar lo construido virtualmente empleando técnicas de impresión 3D. Habría que matizar que un proceso de fabricación lleva implícito otros factores importantes asociados a las propiedades físicas de los materiales empleados en la maqueta impresa y a la técnica de

fabricación digital utilizada [14]. Si nos adentramos en el área de la ingeniería, es habitual que toda idea concebida de diseño termine en piezas totalmente automatizadas [15]. La realización de prototipos 3D añade una nueva dimensión a la percepción, más allá de la visual, en la arquitectura y la construcción de edificios [16].

Por eso, de las cuatro horas presenciales semanales, una hora se dedicará al análisis del edificio, reforzada con otra hora para plasmar la toma de datos por croquis. En el segundo día, se seguiría con la consecución del modelado paramétrico de la parte analizada, manteniendo en paralelo el objetivo

final (trabajo de investigación) de la obtención del modelo virtual completo, con la posibilidad de su impresión 3D.

#### 4. RESULTADOS

La asignatura de EGTE dispone de una carga docente acotada en un cuatrimestre que dificulta la implantación de sistemas BIM, más cuando el alumno se incorpora en el segundo curso del Grado sin apenas haber empleado modelado (3D), sólo con conocimientos básicos de representación vectorial 2D delimitada por el sistema diédrico. Por ello, creemos que los resultados son muy satisfactorios, sobre todo en los grupos tutelados por profesores con formación BIM o con experiencia en proyectos

sustentados en tecnología BIM.

Mostramos a continuación una tabla con los datos de la experiencia realizada en el curso pasado (2015/2016), insertando los ítems fundamentales para evaluar la consecución de objetivos iniciales, y donde se exponen los porcentajes en referencia al número de alumnos por cada grupo analizado de la asignatura EGTE.

Aunque es prematuro aportar datos significativos y contrastados con experiencias en talleres de cursos académicos anteriores, sí hay que destacar que la predisposición y entusiasmo del alumno es total desde el primer momento, jugando un papel dinamizador importante en el proceso de adopción de la metodología BIM.

Grupo	Nº alumnos	Software utilizado	Croquis previo	Modelo completo lod 200	Detalles lod 300	Listado completo de datos asociados
1	24	ArchiCAD	98%	90%	72%	52%
2	28	Allplan	95%	82%	68%	56%
3	26	Revit y ArchiCAD	93%	91%	64%	48%

Tabla 5: de datos asociados al modelo BIM representado. Práctica IV de EGTE, 2015/2016

Esta nueva sistemática basada en BIM proporciona un aprendizaje progresivo, que se traduce en la adquisición de nuevas habilidades. La visualización de los elementos constructivos y su disposición definitiva en el edificio modelado permiten que los estudiantes entiendan, con mayor facilidad, la estructura lógica del proceso edificatorio (Fig. 10). El procedimiento viene a reforzar la grafía tradicional mediante la toma de datos por coquizado, equivalente a un trabajo de campo, consumándose su formación con la finalización de la última práctica de Innovación.

##### 4.1. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El análisis de los datos aportados en la tabla anterior indica unos resultados que pueden considerarse óptimos en cuanto a la realización de croquis previo, con la obtención de los datos básicos para la realización del modelo. Debe resaltarse aquí, que en estos croquis se ha favorecido la representación mediante tectografía secuencial del proceso de ejecución.

El siguiente dato reseñable ha sido la consecución del modelo completo en la práctica de Innovación con nivel LOD 200, como trabajo en grupo a lo largo del curso, no alcanzándose el cien por cien debido principalmente a abandonos de la asignatura en los diferentes grupos.

En referencia a los porcentajes obtenidos en el nivel de detalles LOD 300, debe aclararse que el factor tiempo ha sido fundamental, y ha destacado la baja formación del alumnado en sistemas de instalaciones, asignatura que no han

cursado un número significativo de alumnos.

Mencionar también que la mayor dificultad observada ha sido la obtención e inclusión en la maquetación del plano de visualizaciones 3D, acompañando a la planimetría obtenida del modelo, con este alto nivel de detalle. Pero al ser una asignatura que se apoya en una formación continua, el alumno ha podido ir solucionando errores y mejorando la calidad de los detalles en posteriores revisiones.

Se le han facilitado entregas sucesivas hasta alcanzar niveles de aprobado, que en muchos casos han sido muy satisfactorios, como puede apreciarse en las láminas expuestas, que muestran las soluciones de las prácticas.

Sólo resaltar que la bajada de porcentajes en este nivel ha estado influida por el descarte de las soluciones constructivas incorrectas aportadas, aunque se sí se han alcanzado los mínimos establecidos en competencias.

La exigencia en correspondencia de los listados de datos asociados con el proyecto real, ha ofrecido el menor porcentaje de logros en la tabla aportada, habiéndose descartado de la misma a aquellos alumnos/as que no han presentado la totalidad de los indicados en la Tabla 4.

Por último, resaltar que la representación analítica de la arquitectura, empleando objetos paramétricos asociados a sus sistemas constructivos, ha facilitado al alumno un mejor entendimiento del edificio para su posterior levantamiento planimétrico.

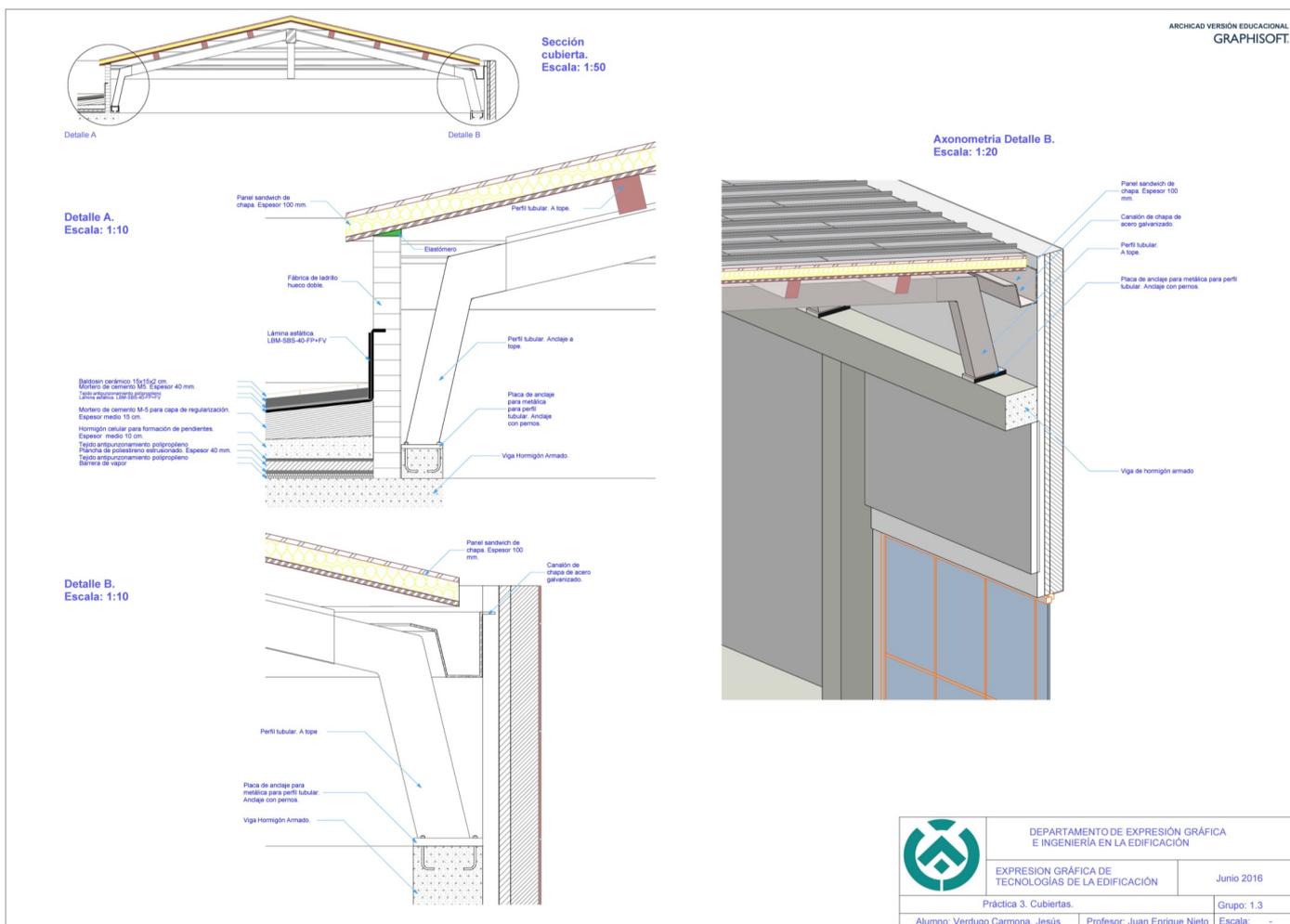


Figura 10: Práctica III de EGTE. Análisis de sistemas de Cubrición. Detalles realizados con ArchiCAD 19. Alumno: Jesús Verdugo

## 5. CONCLUSIONES

Esta Metodología innovadora, lejos de ser un motivo para provocar recelos y rápidos abandonos de los alumnos, incorpora sistemas vanguardistas que la sociedad requiere. El alumno percibe una docencia acorde con los avances tecnológicos que le envuelven en su día a día, y esto hace que se vea más conectado y participativo.

Los sistemas de delineación por CAD nos han proporcionado durante varias décadas una representación precisa de la geometría del sistema constructivo, derivada de una idea inicial que el arquitecto o ingeniero había plasmado en un boceto previo. Ahora, con el modelo 3D paramétrico el alumno analiza y entiende mejor lo que visualiza, no siendo necesario acudir a una planimetría por proyecciones diédricas (2D). En un primer estado, el alumno, a un nivel de LOD200, asimila la configuración del edificio (como contenedor), para después, en un posterior estado poder analizar el sistema estructural/constructivo por aproximación a un LOD 300 (contenido tecnológico).

A partir de este momento es cuando el Modelo del Edificio está listo para incorporar la "I" del término BIM (de

Información). El alumno debe realizar ahora la gestión de los datos asociados al edificio modelo para la correcta categorización de elementos y la obtención de listados de datos. Para ello, es necesario que previamente realice una identificación lógica y ordenada de las piezas representadas e integrantes en el modelo.

Con los resultados cosechados, nuestras pretensiones son continuar con la experiencia adquirida y reforzarla para el siguiente curso 2016-2017, proponiendo un nuevo modelo de edificio algo más ambicioso. Como ya se ha comentado, a pesar de que se ha comprobado que dadas las restricciones temporales de un cuatrimestre y que el alumno no muestra conocimientos básicos en el empleo de sistemas BIM, se hace necesario el desarrollo, desde el comienzo y en paralelo a la toma de datos con croquis a "mano alzada", de una práctica de modelado BIM mediante trabajos en grupo (trabajo de innovación). En ella no se debería sobrepasar el nivel de detalle/desarrollo LOD 200, y debería abarcar un volumen conceptual del edificio, principalmente en su aspecto estructural y constructivo, con una definición únicamente de materiales envolventes que permita la visualización del contenedor, sea por un motor de renderizado o mediante exploración interactiva (estudios de soleamiento, recorridos virtuales o BIMx).

La incorporación en el proyecto docente de un modelado por etapas, asociado a una simulación progresiva de la construcción del edificio, hace que delimitemos las zonas a representar en un LOD 300, pero concienciando al alumno que desarrollar los detalles con *software* de modelado BIM es factible y ventajoso para su mejor entendimiento, así como por su eficacia en posteriores fases. Una vez obtenido el modelo arquitectónico, el alumno podrá proporcionar los archivos IFC de intercambio estándar entre plataformas.

Además, para consumir el curso, el alumno podrá visualizar su modelo en una maqueta física. Estarán a su disposición las impresoras 3D del Departamento de Expresión Gráfica para imprimir sus modelos virtuales, mejorando la comprensión de la arquitectura analizada.

No obstante, la implantación de estos sistemas especializados en el programa docente de la asignatura (EGTE) conlleva varios inconvenientes, motivados principalmente por una estructura de Plan de Estudios desfasada. Para cumplir con las competencias específicas en el programa docente, los alumnos deben realizar un esfuerzo extra para su superación, pues carecen de una formación básica y previa en el manejo del *software* BIM. La reestructuración del programa docente de la asignatura de EGTE debe hacerse contigua a un análisis profundo del actual Plan de Estudios, un tema candente actualmente por la dificultad que implica coordinar las diferentes áreas involucradas en el Grado de Edificación.

En un nuevo Plan de Estudios bien estructurado, en base a una metodología colaborativa, la incorporación del modelado de información del edificio debe ser implantada desde el primer curso, como inicio a una formación progresiva. La reubicación de la asignatura de Expresión Gráfica en un nivel superior del Grado, tercer o cuarto curso, donde el alumno ya es conocedor de las herramientas básicas para un modelado paramétrico, le permitiría implementar en el modelo todos los conocimientos adquiridos en las áreas específicas (estructuras, construcción, seguridad e instalaciones). Se trataría de un modelo abierto y exportable preparado para ser atendido de forma interdisciplinar, donde poder introducir información asociada al análisis estructural, el control de costes, la eficiencia energética y la gestión y el mantenimiento del edificio.

## 6. REFERENCIAS

- [1] Singh, V., Gu N., Wang X. A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform, *Automation in Construction*, vol. 20, pp. 134-144, 2011.
- [2] Leite, F., Akcamete A., Akinci B., Atasoy G. Kiziltas S. Analysis of modeling effort and impact of different levels of detail in building information models, *Automation in Construction*, vol. 20, pp. 601-609, 2011.
- [3] Cos- Gayón López, Fernando. Experiencia de implantación de metodología BIM en Plan de Estudios del Máster Universitario de Edificación de la Universidad politécnica de Valencia. Congreso Internacional BIM/ 5º Encuentro de usuarios BIM. BIM INTERNATIONAL CONFERENCE, pp. 14-22, 2016.
- [4] Latorre, A., Sanz, C., Sánchez, B. Vuidaurre, M., Integración de BIM en Arquitectura y Arquitectura Técnica. Análisis de los órdenes ECI. Congreso Internacional BIM/ 5º Encuentro de usuarios BIM. BIM INTERNATIONAL CONFERENCE, pp. 23-32, 2016.
- [5] Valverde, D., Cañizares, J.M., Márquez, D., Pérez, P.E., Peso Pascual, J. Implementación BIM en la Escuela Politécnica de Cuenca, Experiencia Piloto en Proyectos Técnicos 15-16. Congreso Internacional BIM/ 5º Encuentro de usuarios BIM. BIM INTERNATIONAL CONFERENCE, pp. 34-45, 2016.
- [6] I. Oliver-Faubel, "BIM en el grado de edificación: la experiencia de la escuela técnica superior de edificación de la universidad politécnica de Madrid", *Spanish journal of BIM*, no 16/01, pp. 44-46, 2016.
- [7] J. Vázquez-Rodríguez, "Incorporación de herramientas paramétricas para la generación y análisis del modelo virtual del Edificio en la formación de los estudiantes de Arquitectura", *Spanish journal of BIM*, no 16/01, pp. 22-27, 2016.
- [8] J. E. Nieto Julián, "Implementación de las nuevas técnicas de levantamiento en el sistema BIM (Building Information Modelling)", in XII Congreso Internacional de Expresión Gráfica Aplicada a la Edificación (Congreso APEGA), 2014, vol. 12, no. 1, pp. 318-328.
- [9] J. E. Nieto Julián, "Experiencia integradora de la tecnología BIM en la ETSIE de Sevilla", in EUBIM, Encuentro de usuarios BIM 2014. 2º Congreso Nacional BIM, 2014, pp. 257-269.
- [10] BIM Forum. (2013, August 22). Level Of Development Specification [Online]. Available: <http://bimforum.org/lof/>
- [11] Y. Schwartzburg and M. Pauly, "Fabrication-aware design with intersecting planar pieces," in *Computer Graphics Forum*, 2013, vol. 32, no. 2 Part3, pp. 317-326.
- [12] P. Song, Z. Fu, L. Liu, and C. W. Fu, "Printing 3D objects with interlocking parts," *Comput. Aided Geom. Des.*, vol. 35-36, pp. 137-148, 2015.
- [13] M. Malé-Alemany, "El potencial de la fabricación aditiva en la arquitectura: hacia un nuevo paradigma para el diseño y la construcción," *Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)*, 2015.
- [14] F. Rico Delgado, J. E. Nieto Julián, and D. Antón García, "Novel approach to the management of point clouds derived from scanning and photogrammetry for the optimisation of printable 3D formats," in *Drawing, Building, Dreaming. Research on graphic expression applied to building*, 1st ed., F. Felip Miralles, J. Gual Ortí, M. Cabeza González, and C. García-García, Eds. Valencia: Tirant Lo Blanch, 2016, pp. 1051-1065.
- [15] N. Harsha, N. Sukrutha, and S. Nagabhushan, "The Scope of Rapid Prototyping in Civil Engineering," *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 4, no. 8, pp. 3506-3508, 2013.
- [16] T. Modeen, "CAD/CAMing: The use of rapid prototyping for the conceptualization and fabrication of architecture", *Automation in Construction*, vol. 14, no 2, pp. 215-224, 2005.

## WHAT DO YOU THINK?

To discuss this paper, please submit up to 500 words to the editor at [bm.edificacion@upm.es](mailto:bm.edificacion@upm.es). Your contribution will be forwarded to the author(s) for a reply and, if considered appropriate by the editorial panel, will be published as a discussion in a future issue of the journal.