

Integración de la metodología BIM en la docencia de ingeniería estructural: experiencia del Máster de Formación Permanente en BIM de la UDC

Integration of BIM methodology in the teaching of structural engineering: experience of the UDC's Master's degree in BIM

Juan Luis Pérez-Ordóñez^a, André Garrido Iglesias^b, José Romero Fernández^c,
Sindy Seara-Paz^d, Belén González-Fonteboa^e y Fernando Martínez-Abella^f

^a Dr. Ingeniero en Informática. Universidade da Coruña. Profesor Titular de Universidad. juan.luis.perez@udc.es

^b Máster en edificación Sostenible. Universidade da Coruña. Estudiante de doctorado. andre.giglesias@udc.es

^c Máster en edificación Sostenible. Universidade da Coruña. Estudiante de doctorado. jose.romero.fernandez@udc.es

^d Dra. Ingeniera de Caminos. Universidade da Coruña. Profesora Titular de Universidad. gumersinda.spaz@udc.es

^e Dra. Ingeniera de Caminos. Universidade da Coruña. Catedrática de Universidad. belen.gonzalez.fonteboa@udc.es

^f Dra. Ingeniero de Caminos. Universidade da Coruña. Catedrático de Universidad. fernando.martinez.abella@udc.es

RESUMEN

El sector de la construcción ha evolucionado significativamente con la metodología BIM, optimizando costes, coordinación y eficiencia. El Máster BIM de la Universidade da Coruña capacita a profesionales en modelado, cálculo y gestión estructural, utilizando herramientas como Revit, ArchiCAD y CYPECAD, entre otras. Su evaluación combina tareas prácticas que permiten a los alumnos desarrollar competencias clave para proyectos complejos. Este enfoque práctico, respaldado por un equipo docente especializado, garantiza altas tasas de éxito y prepara a los estudiantes para liderar en el ámbito profesional.

ABSTRACT

The construction sector has evolved significantly with the BIM methodology, optimising costs, coordination and efficiency. The BIM Master's Degree at the University of A Coruña trains professionals in structural modelling, calculation and management, using tools such as Revit, ArchiCAD and CYPECAD, among others. Its evaluation combines practical tasks that allow students to develop key competences for complex projects. This practical approach, supported by a specialised teaching team, ensures high success rates and prepares students to lead in the professional environment.

PALABRAS CLAVE:

Educación en Ingeniería Estructural, Máster, Formación Permanente, Metodología BIM.

KEYWORDS:

Structural Engineering Education, Master's Degree, Continuing Education, BIM Methodology

1. Introducción

A través de los siglos, el sector de la construcción ha experimentado una gran transformación

gracias al avance en las técnicas y los materiales empleados, consiguiendo ejecutar proyectos cada vez más complejos que implican a profesionales de distintas disciplinas. Centrándose en la última década no cabe duda

de que la aplicación de la metodología BIM es fundamental para obtener mejor eficiencia del gasto que conlleva una construcción [1]. La metodología puede abarcar tanto a la realización de edificios como infraestructuras. No en vano, las administraciones, en primer lugar, impulsadas por la Unión Europea, y ahora por España con la ley de Contratos del Sector Público fomentan su uso. En junio de 2023 se aprueba el Plan BIM en la Contratación Pública [2] y se establece un calendario para coordinar la incorporación gradual de BIM en la gestión de la información de un contrato público.

Al margen de la obligatoriedad, el desarrollo de proyectos BIM no solo permite tener la información del proyecto controlada y desarrollar una coordinación eficaz entre las partes, permite la colaboración entre disciplinas en un mismo proyecto y la visualización en todo momento del avance del proyecto y de las modificaciones o desarrollos que este está teniendo, para anticipar una respuesta al error. Un proyecto BIM integrado, con una gestión coordinada y controlada, permitirá la reducción de errores [3] y el control económico y de obra con una mayor facilidad.

2. Máster BIM – UDC

El Máster de Formación Permanente en BIM (Building Information Modeling) de la Universidade da Coruña parte de un título propio de posgrado implantado en el año 2014 que ha ido evolucionado para dar respuesta a las necesidades de los técnicos (ingenieros civiles, arquitectos, arquitectos técnicos...) a la hora de especializarse en la metodología BIM con el objetivo de poder aplicarla en todo el ciclo de vida de la infraestructura o edificio. El máster tiene una dedicación de 60 Créditos ECTS [4] en la que se abordan la coordinación e intercambio de información entre las distintas especialidades involucradas en una construcción. En la definición del plan de estudios, dada su importancia dentro del proyecto, se ha

incorporado formación en el ámbito de la ingeniería estructural. En la tabla 1 se muestran los módulos y asignaturas con su dedicación.

Tabla 1. Plan de estudios

MÓDULO/ASIGNATURA	ECTS
Módulo: CEBIM1: Modelado de la información arquitectónica	17
CEBIM1.1 - Introducción a la metodología BIM	0,7
CEBIM1.2 - BIM 3D: Modelado Básico	5,5
CEBIM1.3 - BIM 3D: Documentación del Modelo	5,8
CEBIM1.4 - BIM 3D: Modelado Avanzado	3,5
CEBIM1.5 - BIM 3D: Parametrización: Desarrollo de Familias y Programación de Objetos	1,5
Módulo: CEBIM2 - Interoperabilidad y colaboración entre disciplinas	13
CEBIM2.1 - Interoperabilidad – Intercambio de información	0,7
CEBIM2.2 - Diseño y cálculo de estructuras en edificación	3
CEBIM2.3 - Diseño y cálculo de instalaciones en edificación - MEP	4,3
CEBIM2.4 - Trabajo colaborativo	4,3
CEBIM2.5 - Aplicaciones BIM	0,7
Módulo: MBIM1 - Gestión en la edificación	9
MBIM1.1 - Gestión de Proyectos BIM. Plan de Ejecución BIM - BEP	1,5
MBIM1.2 - Estimación de costes - 5D	3
MBIM1.3 - Plan de obra - 4D	3,5
MBIM1.4 - Control de Calidad en Proyectos BIM	1
Módulo: MBIM2 - Análisis energético en edificación	3
MBIM2.1 - Análisis energético en edificación – BEM	3
Módulo: MBIM3 - Programación y Fabricación Digital	3
MBIM3.1 - Programación: Dynamo y Grasshopper	1,5
MBIM3.2 - Fabricación Digital	1,5
Módulo: MBIM4 - Gestión de la operación del edificio	3
MBIM4.1 - Técnicas de levantamiento (LiDAR, GIS)	1,6
MBIM4.2 - Patrimonio en BIM (HBIM)	0,7
MBIM4.3 - Mantenimiento del Edificio (FM)	0,7
TFM - Trabajo Fin de Máster	12

3. Diseño y cálculo de estructuras en edificación

El objetivo principal de la asignatura es alcanzar los conocimientos básicos para poder realizar el modelado de estructuras en un proyecto empleando la metodología BIM. Para lograr este objetivo es necesario que el estudiante consiga identificar las condiciones de predimensionado básico sobre las estructuras y sus condicionantes a la hora de realizar el modelo en BIM.

3.1. Contenido

El temario de la asignatura es el siguiente:

1. Predimensionado.
2. Modelado de estructuras en ArchiCAD. [5]
3. Modelado de estructuras en Revit. [6]
4. Interoperabilidad con CYPECAD. [7]
5. Desarrollo de documentación estructural.

El flujo de trabajo en las estructuras en BIM [Figura 1] es un flujo cíclico en el que se realiza un predimensionado previo y su modelado en ArchiCAD o Revit. Ese modelo en formato nativo se traslada mediante el formato de archivo interoperable IFC (Industry Foundation Classes) [8] a las herramientas de cálculo. Una vez introducidas las cargas y realizado el cálculo, se genera la documentación estructural y se realimenta el modelo original.

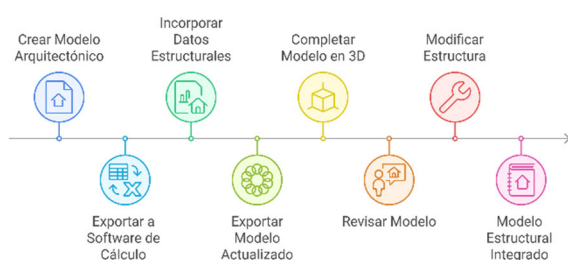


Figura 1. Proceso desde el modelo arquitectónico al modelo estructural integrado en BIM.

3.1.1. Predimensionado

El predimensionado permite a los estudiantes abordar el diseño estructural inicial de forma práctica. Aplicando reglas simplificadas, los

estudiantes pueden definir las dimensiones preliminares de los elementos estructurales, facilitando la creación de un modelo inicial que sirva de punto de partida para el diseño detallado. Esta fase proporciona una estructura con dimensiones aproximadas, suficiente para que el resto del equipo del proyecto desarrolle sus respectivas disciplinas, como las instalaciones o la arquitectura. De esta forma, se asegura una integración temprana entre las distintas áreas del proyecto, optimizando la colaboración interdisciplinar y minimizando posibles conflictos en fases posteriores.

3.1.2. Modelado de estructuras en ArchiCAD y Revit.

En los programas de modelado, ArchiCAD y Revit, se realiza el modelado de las geometrías aproximadas obtenidas del predimensionado. Este paso resulta fundamental en el caso de exportar la geometría desde el programa de modelado hacia el programa de cálculo, en lugar de tener que volver a definir toda la estructura desde cero en el programa de cálculo.

Para ello se utilizarán en el modelado las herramientas correspondientes en cada programa a cada uno de los elementos estructurales en este caso: pilares estructurales, suelos estructurales, armazón estructural y zapatas, en el caso de Revit; y pilares, vigas y forjados en el caso de ArchiCAD.

Es importante conocer las herramientas de cálculo y de modelado con las que se van a trabajar para que la interoperabilidad se realice de la mejor forma posible. Por ejemplo, en Revit existe la herramienta específica para modelar zapatas mientras que en ArchiCAD no, por lo que, en este último, el modelado de zapatas se realiza con la herramienta “Forjado”. A esos forjados, se les deberá indicar que se exporten como elementos zapata en sus definiciones del formato IFC para que la herramienta de cálculo entienda que se tratan de elementos de cimentación y los interprete correctamente.

Por otro lado, en Revit se suele trabajar no sólo con los niveles que definen cada una de las plantas del edificio, si no con niveles auxiliares que definen la cota de falsos techos, por lo que se debe indicar a esos niveles que no definan una planta del edificio para que el programa de cálculo interprete correctamente la altura de los pilares.

3.1.3. Interoperabilidad con CYPECAD

Partiendo de un modelo predimensionado, se realizará la exportación e importación con el archivo IFC.

El modelo se importa en las herramientas de comprobación y dimensionado, donde se acabarán de definir sus características (material estructural, tipo de hormigón y de acero, tipología de forjado o losa, etc.). Como en todo proceso automatizado, se deberá realizar una comprobación morfológica de las conexiones entre barras, nudos, láminas y tipos de elementos además de deberán introducir las diferentes cargas e hipótesis para que el cálculo se realice de forma adecuada.

3.1.4. Desarrollo de documentación estructural

Una vez comprobadas las secciones y dimensionadas las piezas de la estructura, se procede a generar el modelo de piezas estructurales de detalle como las armaduras, tornillos, anclajes, piezas de montaje. Esta definición se podrá realizar en la herramienta de modelado (Tekla, Revit, ArchiCAD), o en las herramientas de cálculo que nos den esta opción como (SCIA o SAP2000). Este modelo enriquecido se traslada al proyecto conjunto donde se realizará un análisis de conflictos con las demás disciplinas para coordinar las interferencias y realizar los ajustes necesarios. Realizado el análisis se desarrolla la documentación estructural mediante planos con diferentes listados, esquemas, vistas y plantas que permitan definir correctamente la estructura. El proceso se cierra con la realimentación de la información del programa de cálculo en el modelo BIM.

En el caso de que la solución no sea satisfactoria, no se vuelve al punto de partida, sino que se volverá al modelo de cálculo, donde se planteará con el modelo original alternativas hasta obtener una solución óptima.

Con el objetivo de realizar proyectos con menos errores, es necesaria una comunicación más fluida entre disciplinas de forma organizada consiguiendo mejorar las interacciones entre estas.

El proceso de aprendizaje comienza con el manejo de la herramienta, la gestión de los procesos de la herramienta y por último la iteración con las otras disciplinas y la realimentación del modelo. Es importante este orden, ya que la falta de destreza en el manejo de la herramienta condiciona al cálculo. Ejemplo de esto puede ser un alumno no plantea un tipo de estructura debido a la posible limitación que tenga a la hora de modelarla. Se da por supuesto que el alumno sabe dimensionar y calcular una estructura y que las limitaciones vienen por la falta de destreza en la herramienta de modelado y cálculo.

3.2. Organización docente

La dedicación docente de la asignatura son 3 créditos ECTS que se dividen en 0.6 ECTS en contenidos teóricos y 2.4 ECTS en contenidos prácticos. Traducidos a horas presenciales le corresponden 4.2 horas teóricas y 16.8 horas prácticas a las que hay que sumar las 54 horas de dedicación autónoma del alumno.

Organizadas en 8 sesiones de trabajo donde en:

La sesión 1 y 2 se desarrolla la parte teórica de predimensionado, flujo de trabajo en BIM y condicionantes a la hora de elegir una herramienta u otra.

La sesión 3, 4 se desarrolla el modelado en ArchiCAD y la elaboración de la documentación gráfica en esta herramienta.

La sesión 5 y 6 se desarrolla el modelado en Revit y la elaboración de la documentación gráfica en esta herramienta.

La sesión 7 y 8 se desarrolla la comprobación y adecuación del modelo de arquitectura a la herramienta CYPE.

Durante las sesiones el alumno realiza los ejercicios de aula con su equipo personal, con el objetivo de que practiquen los posibles errores que pueden cometer en el manejo.

Cabe destacar que para poder cursar la asignatura es necesario tener los conocimientos previos en el cálculo y dimensionado de las estructuras, ya que sin ello solo podrían adquirir los conocimientos en el manejo de las herramientas.

3.3. Evaluación

La evaluación de la asignatura se realiza mediante la realización de ejercicios prácticos que se detallan a continuación:

3.3.1. Tarea 1: modelado estructural en ArchiCAD.



Figura 2. Estructura de la vivienda pareada en ArchiCAD en hormigón y acero.

Se entregará la estructura de dos viviendas unifamiliares pareadas de planta baja y dos semisótanos de muros y pilares, con forjados unidireccionales o, alternativamente, una estructura que proponga el alumno al profesor.

La práctica contendrá lo siguiente:

- Planos a partir de vistas de las plantas de estructura (cimentación, forjado de primera planta y segunda, planta de cubierta), alzados, secciones (detalles de armado) y vistas 3D.

Como mínimo han de contener zapatas, pilares y vigas de hormigón según el predimensionado del alumno y la cubierta debe ser de madera realizada con la herramienta Roofmaker. Debe etiquetarse los elementos de la estructura (pilares, vigas, zapatas, etc.).

- Debe haber los siguientes archivos: PLN de la estructura, IFC de la estructura y PDF con los planos

3.3.2. Tarea 2: modelado estructural en Revit.

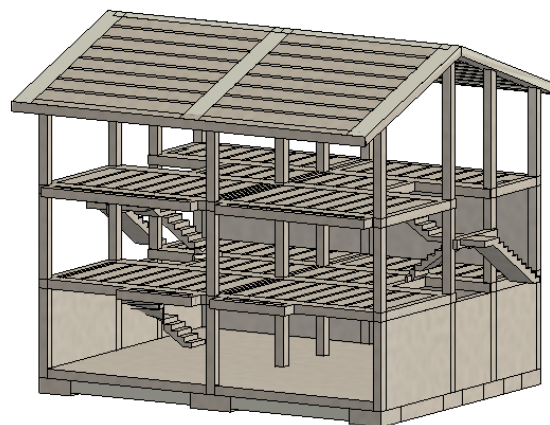


Figura 3. Estructura de la vivienda pareada en Revit en hormigón armado.

Se entregará la estructura de dos viviendas unifamiliar pareadas de planta baja y dos semisótanos de muros y pilares, con forjados unidireccionales o, alternativamente, una estructura que proponga el alumno al profesor. La práctica contendrá lo siguiente:

- Planos a partir de vistas de las plantas de estructura (cimentación, forjado de primera planta y segunda, planta de cubierta), alzados, secciones (detalles de armado) y vistas 3D. Como mínimo han de contener zapatas, pilares y vigas de cimentación, vigas y vigas de cubierta según el predimensionado del alumno. Debe etiquetarse los elementos de la estructura (pilares, vigas, zapatas, etc.).

- Debe haber los siguientes archivos: RVT de la estructura, IFC de la estructura y PDF con los planos

3.3.3. Tarea 3: cálculo estructural en CYPECAD.

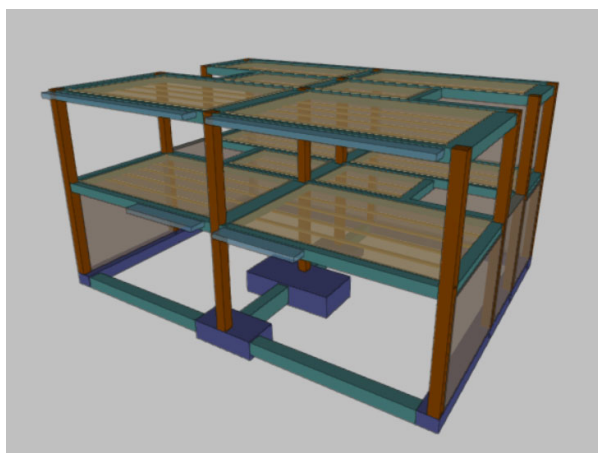


Figura 4. Estructura de la vivienda pareada en CYPECAD en hormigón.

Se entregará la estructura de dos viviendas unifamiliares pareadas de planta baja y dos semisótanos de muros y pilares, con forjados unidireccionales o, alternativamente, una estructura que proponga el alumno al profesor. La práctica contendrá lo siguiente:

- Cálculos con la herramienta CYPECAD, renombrado de pilares, vigas, forjados y sus características necesarias para el cálculo, cargas, etc. Se deberá con los datos anteriores obtener la comprobación de la estructura y la exportación de IFC de elementos calculados.

- Debe haber los siguientes archivos:

Archivos de CYPE en una carpeta comprimida y el IFC de la estructura calculada.

3.4. Calificación

La calificación de la asignatura se obtiene mediante la ponderación mostrada en la Tabla 2. Como se puede observar las tareas de modelado tienen un peso del 70 % frente al 30% reservado para el cálculo.

Cabe destacar que es necesario superar los 3 ejercicios para poder aprobar la asignatura.

Tabla 2. Ponderación de los ejercicios

Ejercicio	%
Tarea 1: Modelado estructural en ArchiCAD	35
Modelado	20
Documentación (Planos)	15
Tarea 2: Modelado estructural en Revit	35
Modelado	20
Documentación (Planos)	15
Tarea3: cálculo estructural en CYPECAD	30
Modelos IFC para la interoperabilidad	10
Cálculo estructural	20

El desglose de la puntuación de cada tarea se rige por los siguientes criterios:

Tarea 1: Modelado estructural en ArchiCAD

- Planta: resolución de una planta estructural coherente y acorde al edificio (0,6 Puntos).
- Estructura: resolución de la estructura, dimensionado, correcto modelado, elección de tipos (0,8 Puntos).
- Cubierta: resolución de forjado inclinado en otro material (0,3 Puntos).
- Propiedades: correcta elección de las configuraciones del programa para dotar de la información necesaria (0,3 Puntos).
- Documentación del modelo: presentación del plano estructural y la correcta definición de la información (1,5 Puntos).

Tarea 2: Modelado estructural en Revit

- Planta: resolución de una planta estructural coherente y acorde al edificio (0,6 Puntos).
- Estructura: resolución de la estructura, dimensionado, correcto modelado, elección de tipos (0,8 Puntos).
- Cubierta: resolución de forjado inclinado en otro material (0,3 Puntos).
- Propiedades: correcta elección de las configuraciones del programa para dotar de la información necesaria (0,3 Puntos).
- Documentación del modelo: presentación del plano estructural y la correcta definición de la información (1,5 Puntos).

Tarea 3: Cálculo con CYPECAD

- IFC: correcta exportación dotada de la información necesaria (1 Punto).

- Cálculo: Correcta elección de cargas, resolución de problemas de importación, análisis de resultado (2 Puntos).

3.5. Resultados

Los alumnos en la realización de los ejercicios en el aula y las tareas de evaluación cuentan con el apoyo del profesor y de los contenidos explicados en la plataforma Teams, donde pueden volver a visualizar las explicaciones. En cuanto a las tasas de la asignatura. En término medio la tasa de rendimiento (ecuación 1) es de 84,4%. La tasa de evaluación (ecuación 2) es del 87,5% y la tasa de éxito (ecuación 3) es del 96,9%. En la Tabla 3 se muestra en detalle las tasas de los últimos 6 cursos. Los altos valores obtenidos son posibles debido al sistema docente empleado que se enfoca en la realización de ejercicios prácticos. Los alumnos en el aula resuelven, con cada herramienta, un ejercicio práctico de características similares de lo que deben entregar para su evaluación.

Tabla 3. Tasa de rendimiento, evaluación y éxito

Curso	Tasa de rendimiento	Tasa de evaluación	Tasa de éxito
18-19	87,5%	87,5%	100,0%
19-20	87,5%	91,7%	95,5%
20-21	95,8%	95,8%	100,0%
21-22	85,7%	100,0%	85,7%
22-23	75,0%	75,0%	100,0%
23-24	75,0%	75,0%	100,0%

$$Tasa\ rendimiento = \frac{superados}{matriculados} \quad (1)$$

$$Tasa\ evaluación = \frac{presentados}{matriculados} \quad (2)$$

$$Tasa\ éxito = \frac{superados}{presentados} \quad (3)$$

Al finalizar la asignatura el alumno se ve capacitado en el manejo de las herramientas de modelado de estructuras y con conocimientos para afrontar un trabajo en el software de cálculo de mayor complejidad.

3.6. Interrelación entre asignaturas

Las asignaturas de cualquier plan de estudios nunca se deben considerar como un compartimento estanco del conocimiento ya que los conceptos, habilidades y competencias que se desarrollan en una materia suelen tener conexión con los distintos campos que se imparten en otras. Es habitual que el aprendizaje de una materia se complemente, es decir que se complete o matice, con los contenidos de otras. En el caso de la formación en el ámbito de estructuras se identifican distintas disciplinas que se ligan íntegramente con ellas. Cabe resaltar que este Máster cada asignatura es autónoma a la hora de la obtención de las habilidades en manejo del software específico. En la Figura 5 se muestra las relaciones más importantes de las asignaturas del Máster con respecto a las estructuras.

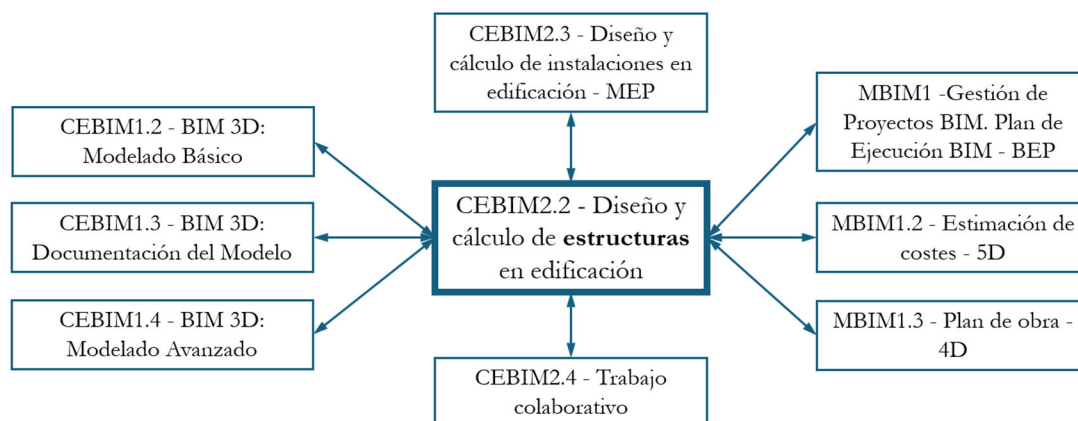


Figura 5. Relaciones principales de la asignatura de estructuras.

4. Conclusiones

Las estructuras en el campo docente se han centrado en la explicación de ejercicios teóricos y prácticos, encaminados a la obtención del valor numérico y el aprendizaje del concepto estructural, sin hacer tanto hincapié en la necesidad de un diseño conceptual de la estructura en un modelo geométrico que permita al alumno la comprensión del ejercicio. La conceptualización de un modelo esquemático de cálculo, sin una vinculación a una construcción, con caso hipotético de cargas y no real, hace que el alumno tenga mayores dificultades en la comprensión del concepto. Con las herramientas BIM, se pretende salvar este inconveniente, planteando una solución constructiva basada en un predimensionado que permitirá comprender el ejercicio, aplicarle las hipótesis de acciones y evaluar con las herramientas de cálculo la viabilidad de la solución.

La exportación de los resultados de cálculo y su traslado nuevamente al modelo BIM en vigas, pilares, muros, ménsulas, forjados, armados, etc., permite adquirir al alumno las habilidades de supervisión del detalle constructivo y la resolución de conflictos en la elaboración del elemento en diseño y finalmente en su puesta en obra.

La potencia de la metodología BIM es imparable y su evolución continua, especialmente con la futura incorporación de la inteligencia artificial, promete ampliar aún más sus capacidades. Esto no solo potenciará la precisión, eficiencia en el diseño y la gestión de proyectos, sino que también implicará la necesidad de adaptaciones en el sistema docente, impactando directamente en la estructura y los contenidos de asignaturas como la actual, para preparar a los futuros profesionales de manera integral y actualizada.

5. Bibliografía

- [1] Noor Akmal Adillah Ismail, Ilya Sufaira Hasbullah, Mohd Amizan Mohamed, Mohd Arif Marhani, Raja Rafidah Raja Muhammad Rooshdi, Shaza Rina Sahamir, Hamed Golizadeh, Lean-BIM Collaborative Approach for Sustainable Construction Projects in Malaysia, *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology* (2023) 356–366. <https://doi.org/https://doi.org/10.37934/araset.33.1.356366>.
- [2] M. y A. Urbana. Ministerio de Transportes, PLAN BIM en la contratación pública, (2023). https://cdn.mitma.gob.es/portal-web-drupal/cbim/v_26_bis_web_plan_bim_contratacion_publica.pdf (accessed December 1, 2024).
- [3] Z. Liu, M. Osmani, P. Demian, A. Baldwin, A BIM-aided construction waste minimisation framework, *Autom Constr* 59 (2015) 1–23. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.07.020>.
- [4] Y.S. and Culture. European Commission: Directorate-General for Education, ECTS users' guide 2015., (2015).
- [5] Graphisoft, ArchiCAD, (2023). <https://graphisoft.com/solutions/archicad> (accessed November 14, 2024).
- [6] Autodesk, Revit, (2023). <https://www.autodesk.com/es/products/revit/overview> (accessed November 30, 2024).
- [7] CYPE Ingenieros, CYPECAD, (2024). <https://info.cype.com/en/software/cypecad/> (accessed November 14, 2024).
- [8] AENOR, UNE-EN ISO 16739-1:2024. Intercambio de datos en la industria de construcción y en la gestión de inmuebles mediante IFC (Industry Foundation Classes). Parte 1: Esquema de datos.,

(2024). <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0072782> (accessed November 30, 2024).