



# Implementación del aprendizaje basado en proyectos a través de la tecnología BIM

## Implementing Project-Based Learning through BIM Technology

<sup>1</sup>Gonzalo Sánchez-Barroso; <sup>2</sup>Jaime González-Domínguez; <sup>3</sup>Félix Badilla-Murillo; <sup>4</sup>Juan Aunió-Villa; <sup>5</sup>Justo García-Sanz-Calcedo; <sup>6</sup>Juan Pablo Carrasco-Amador, <sup>7</sup>José Luis Canito-Lobo

<sup>1</sup>Departamento de Expresión Gráfica, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura, gsm@unex.es

<sup>2</sup>Departamento de Expresión Gráfica, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura, jaimed@unex.es

<sup>3</sup>Escuela de Ingeniería en Producción Industrial, Instituto Tecnológico de Costa Rica, fbadilla@itc.ac.cr

<sup>4</sup>Departamento de Ingeniería Hospitalaria, HM Hospitales, jaunion@hmhospitales.com

<sup>5</sup>Departamento de Expresión Gráfica, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura, jgsanz@unex.es

<sup>6</sup>Departamento de Expresión Gráfica, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura,

jpcarrasco@unex.es

<sup>7</sup>Departamento de Expresión Gráfica, Escuela de Ingenierías Industriales, Universidad de Extremadura, jlcanito@unex.es

Recibido: 22/02/2020 | Aceptado: 28/05/2020 | Fecha de publicación: 31/08/2020

DOI:10.20868/abe.2020.2.4462

## RESUMEN

Debido a las exigencias del panorama profesional actual, surge la necesidad de desarrollar competencias transversales durante la etapa universitaria que faciliten su inserción laboral. Una metodología docente que resulta adecuada en las ingenierías es el aprendizaje basado en proyectos. Implementarlo a través de la metodología BIM reforzará la adquisición de estas competencias transversales a los estudiantes. Este trabajo muestra el marco de trabajo desarrollado para implementar el aprendizaje basado en proyectos a través de la tecnología BIM en ambientes educativos de ingeniería de proyectos. Los resultados ponen de manifiesto una mejor comprensión del proyecto por parte de los alumnos que deriva en una mejora cualitativa de las soluciones técnicas proyectadas.

**Palabras clave:** Aprendizaje Basado en Proyectos, BIM, proyectos de ingeniería, innovación educativa

## ABSTRACT

---

The engagement of engineers from various specialties is demanded by construction projects to ensure their success. Its main consequence is the need to create collaborative working environment. Consequently, one of the most demanded competence in professional activity nowadays is the ability to carry out projects in multidisciplinary teams. Project-based learning is a suitable tool for improving this skill in construction projects engineering students.

This paper focuses on showing the framework developed for implementing project-based learning through Building Information Modelling (BIM) technology in engineering construction education environments. A collaborative framework managed by BIM execution plan was established. This document assigns roles and tasks for each member of the team, who work on the same digital file hosted in a cloud. Furthermore, it establishes the characteristics and timing of project's deliverables.

The results show a qualitative enhancement in the quality of the work developed by the students with respect to 2D technology previously implemented. Keeping track of their partner's work improves coordination to design compatible solutions. So, a better coordination among engineers is the reason of this improvement. This methodology aids to develop transversal competences of engineering students by favouring their performance in multidisciplinary teams.

**Keywords:** *Project-Based Learning, BIM, engineering projects, educational innovation.*

---

## 1. INTRODUCCI3N

El panorama profesional actual demanda el trabajo conjunto de t3cnicos de diferentes especialidades de la ingenier3a, arquitectura y construcci3n. El 3xito de los proyectos de construcci3n vendr3 determinado por la complementariedad de los proyectistas y su capacidad de trabajar en equipo. El desarrollo de las competencias trasversales durante la etapa universitaria posicionar3 al candidato positivamente en su futuro profesional [1].

Son numerosas las investigaciones que ponen de manifiesto la necesidad de adquirir competencias m3s all3 de los conocimientos t3cnicos impartidos en la formaci3n universitaria [2, 3]. Una de las competencias m3s demandadas en la actividad profesional hoy en d3a es la habilidad para llevar a cabo proyectos en equipos multidisciplinares [4]. El aprendizaje basado en proyectos es la herramienta adecuada

para mejorar estas habilidades en los estudiantes de ingenier3a de proyectos de construcci3n [5].

La necesidad de digitalizar el proceso constructivo ha derivado en la proyecci3n de edificaciones e infraestructuras apoyado en prototipos virtuales con los que llevar cabo el desarrollo digital de la construcci3n. El Building Information Modelling (BIM) concibe un enfoque hol3stico del proyecto que se despliega en sus siete dimensiones [6]. Se ha demostrado que supone un esfuerzo adicional en sus fases iniciales sobre la planificaci3n tradicional, sin embargo, conforme se avanza en el ciclo de vida del proyecto, la desviaci3n en costes y tiempos se reducen [7].

El aprendizaje basado en proyectos es una evoluci3n del aprendizaje basado en problemas. El enfoque de proyectos abarca un per3odo de tiempo delimitado, est3 enfocado a obtener un producto y establece hitos y entregables intermedios [8, 9]. Sin embargo, ambos se basan

en cuatro pilares [10]: 1) ayudar a los estudiantes a adquirir habilidades en la resoluci3n de problemas tras construir su propio conocimiento, 2) conseguir que los contenidos gen3ricos permitan resolver problemas espec3ficos, 3) enfatizar en el intercambio de informaci3n y la cooperaci3n entre los miembros del equipo y 4) permitir al estudiante establecer sus propias metas y alcance del proyecto, favoreciendo su pensamiento cr3tico e independiente.

Zhang, Xie y Li [11] aplicaron el aprendizaje basado en proyectos en la did3ctica de planificaci3n de proyectos BIM para mejorar las competencias de estudiantes de ingenier3a. Proporcionaron a los alumnos una programaci3n detallada de los entregables y su criterio de evaluaci3n, a los cuales deb3an responder aplicado a un caso real espec3fico. Concluyeron que esta metodolog3a mejora las competencias de los futuros ingenieros y proporciona una base s3lida para adquirir conocimientos t3cnicos.

Wu y Hyatt [12] implementaron el aprendizaje basado en proyectos en estudios universitarios de gesti3n de la construcci3n para investigar acerca del papel del BIM para facilitar el dise1o de viviendas sostenibles. Los resultados ponen de manifiesto las sinergias entre esta tecnolog3a y la metodolog3a docente para dotar al alumno de capacidades transversales a su campo de estudio.

Chong et al [13] incorporaron el desarrollo de un proyecto en BIM a trav3s del aprendizaje basado en proyectos en los curr3culos docentes para desarrollar competencias transversales. Los resultados indican la idoneidad de este marco docente para evaluar el desarrollo de estas competencias impartiendo conocimientos espec3ficos de construcci3n. Concluyen en confirmar la efectividad del aprendizaje basado

en proyectos para inculcar en alumnos el pensamiento cr3tico y habilidades de resoluci3n de problemas en ambientes de trabajo multidisciplinarios.

Las percepciones de los alumnos acerca de la aplicaci3n de esta metodolog3a docente ya han sido analizadas [14]. Destacaron el aprendizaje aut3nomo, la creatividad y la adaptaci3n a nuevas situaciones como las principales competencias transversales adquiridas tras participar en un curso de estas caracter3sticas, contribuyendo a mejorar su empleabilidad futura.

El prop3sito de este art3culo es presentar el marco de trabajo desarrollado para implementar el aprendizaje basado en proyectos a trav3s de la tecnolog3a BIM en ambientes educativos de ingenier3a de proyectos.

## **2. METODOLOG3A**

El flujo de trabajo fue dise1ado con el objetivo de simular durante la formaci3n universitaria la din3mica de trabajo de una oficina t3cnica profesional. La duraci3n de los cursos/asignaturas es limitada, por lo que exige acotar el contenido a los objetivos de aprendizaje.

El aprendizaje basado en proyectos comprende la exposici3n de los contenidos te3ricos y pr3cticos. Adem3s, se incluyen en el curr3culo determinados conocimientos espec3ficos relativos al objeto del proyecto a desarrollar. En el dise1o del flujo de trabajo se tuvo en cuenta cubrir las necesidades de tutorizaci3n.

La Fig. 1 muestra la l3nea temporal con hitos que esquematiza las actividades clave de la metodolog3a planteada.

## Implementación del aprendizaje basado en proyectos a través de la tecnología BIM

Gonzalo Sánchez-Barroso, Jaime González-Domínguez, Félix Badilla-Murillo, Juan Aunión-Villa, Justo García-Sanz-Calcedo, Juan Pablo Carrasco-Amador, José Luis Canito-Lobo



Fig. 1: Programación temporal de actividades del curso.

El flujo de trabajo comienza con la constitución de los equipos de trabajo que deben estar integrados por un estudiante de cada especialidad. A cada uno de ellos se le asigna un rol: BIM Manager (y modelador arquitectónico) y otros tres BIM Modeller (un estructurista y dos de instalaciones).

A continuación, se lleva a cabo la elección del complejo industrial objeto del proyecto y se les comunica a los estudiantes. El alcance del trabajo debe cubrir todas las disciplinas de las titulaciones de ingeniería participantes: industrial, electrónica y automática, mecánica y eléctrica. Los profesores ejercen el papel de Propiedad, por lo que deben establecer el programa de necesidades del proyecto.

En este punto se empiezan a acometer las primeras actividades de Ingeniería Básica. Apoyándose en modelos digitales que los alumnos deben generar mediante tecnología BIM, comienzan a esbozar la solución general del problema. Durante las clases prácticas se debe

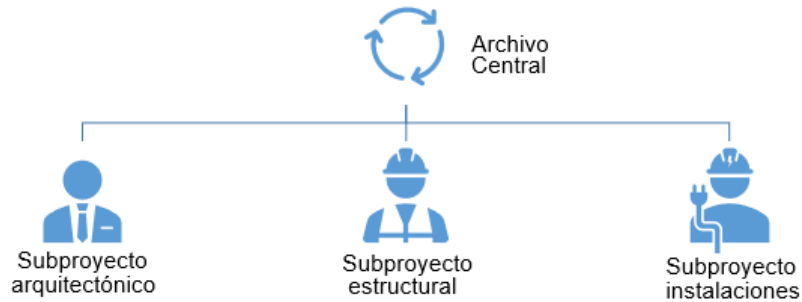
exponer la metodología de trabajo colaborativo basada en la nube.

La coordinación del proyecto se lleva a cabo a través de un archivo digital central de un software comercial BIM, otros archivos de software de cálculo ingenieril y el resto de los documentos para la documentación generada, todo ello alojado en la nube.

Centrándonos en el archivo central del software BIM, se crean a partir de éste los subproyectos: arquitectura, estructuras, instalaciones generales, MEP, etc. Este Archivo Central es propiedad del BIM Manager. Será donde se sincronice el trabajo de cada miembro del equipo, como se muestra en la Fig. 2. Carga los datos implementados por cada miembro, lo que permite revisar el avance de los trabajos, detección y corrección de colisiones, toma conjunta de decisiones de diseño, etc. Este Archivo Central será remitido a los profesores para evaluar la calidad de los entregables.

## Implementación del aprendizaje basado en proyectos a través de la tecnología BIM

Gonzalo Sánchez-Barroso, Jaime González-Domínguez, Félix Badilla-Murillo, Juan Aunió-Villa, Justo García-Sanz-Calcedo, Juan Pablo Carrasco-Amador, José Luis Canito-Lobo



**Fig. 2:** Coordinación del trabajo basado en software BIM.

Este constituirá el primer entregable programado y, al igual que los dos restantes, deben ser revisados por los profesores de acuerdo con el programa de requisitos. Tras la revisión de los entregables, se comunica a los equipos individualmente las consideraciones oportunas sobre sus diseños y en grupo para enriquecer el aprendizaje colectivo.

Para incluir los contenidos específicos relativos al proyecto objeto de aprendizaje, se propone basarse en la curva de contenidos-complejidad (curva C-C). Esta curva propone que la cantidad de contenidos y su nivel de complejidad evolucionen de manera inversa. Se presentan al alumno mayor cantidad de contenidos al principio, siendo su nivel de complejidad bajo. A medida que avanza el proyecto, se intercambian los niveles.

A continuación, se continúa con la formación acerca de las tareas de Ingeniería de Detalle para alcanzar el entregable "Proyecto de Ejecución". Al final del curso, se realiza una revisión del grado de consecución de objetivos y asimilación de contenido por parte de los alumnos. Esto permitió depurar errores de alcance, revisión de contenidos y mejora de la docencia.

### 3. CASO DE ESTUDIO

La metodología propuesta se implementó en la asignatura "Proyectos" de los Grados en

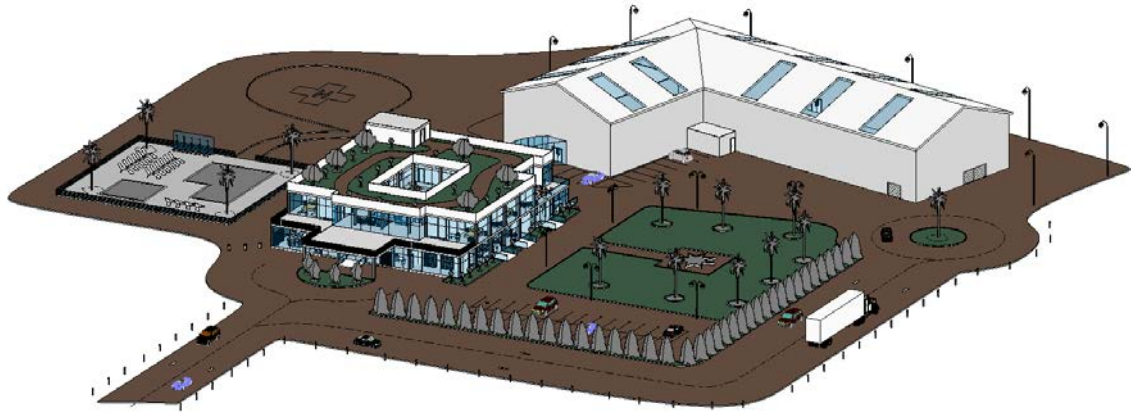
Ingeniería de la Rama Industrial de la Universidad de Extremadura. La duración de la asignatura fue de 15 semanas, se organizó para establecer tres entregables: semana 4, semana 10 y semana 15. Tras esto, se llevó a cabo una exposición y defensa del proyecto.

La asignatura se organizó en clases magistrales y prácticas de ordenador en las que se impartieron los contenidos teórico-prácticos objeto de la asignatura. De manera simultánea, se impartieron conocimientos específicos acerca de la proyección del complejo industrial. Durante este período se programaron tutorías previas a las entregas para aclarar dudas y llevar a cabo un seguimiento continuo de la evolución de los trabajos. Tras cada entregable, los estudiantes recibieron feedback de los docentes con la intención de subsanar las deficiencias detectadas de cara a las siguientes entregas.

Los trabajos que se encargaron a los alumnos durante los cinco cursos que lleva aplicándose esta metodología fueron: concesionario-taller de coches, estación de servicio, complejo enoturístico (bodega y hotel), supermercado y carpintería y venta de muebles de madera. En la Fig. 3 se muestra uno de los complejos enoturísticos desarrollados. Cuenta con zona de producción (bodega), así como zona de alojamiento y servicios.

## Implementación del aprendizaje basado en proyectos a través de la tecnología BIM

Gonzalo Sánchez-Barroso, Jaime González-Domínguez, Félix Badilla-Murillo, Juan Auni3n-Villa, Justo Garc3a-Sanz-Calcedo, Juan Pablo Carrasco-Amador, Jos3 Luis Canito-Lobo



*Fig. 1: Complejo enotur3stico (bodega y hotel).*

En la Fig. 4 se muestra otro ejemplo de establecimiento compuesto por carpinter3a y zona de exposici3n y venta de muebles.



*Fig. 2: Carpinter3a, venta de muebles de madera y administraci3n.*

En la Fig. 5 se muestra el supermercado proyectado, que cuenta con zona de exposici3n y venta, as3 como de almacenamiento y acopio de productos.



*Fig. 3: Supermercado, almac3n refrigerado y administraci3n.*

La asignación de tareas entre los roles depende de la disponibilidad de alumnos de cada especialidad. Los conocimientos comunes a todas las ramas permiten readaptar determinadas tareas asignadas para encajar en el rol asignado.

Se aplicaron las herramientas propias de cada una de las fases que comprende el desarrollo de proyectos de ingeniería (estudios previos, ingeniería básica e ingeniería de detalle): localización industrial para determinar el emplazamiento de la planta, distribución en planta para optimizar procesos, diseño de puestos de trabajo, análisis energéticos para determinar la orientación del edificio, estudios con entidad propia, evaluación económica y financiera, etc.

El Archivo Central se empleó como modelo para exportar a otros softwares comerciales de cálculo con posibilidad de intercambio mediante archivos IFC. La falta de comunicación con determinados softwares limita las posibilidades de intercambio, no pudiendo aprovechar el modelo como base para el cálculo. Consecuentemente, fue necesario incorporar determinados elementos del modelo manualmente una vez han sido diseñados y calculados fuera del entorno BIM. Por tanto, los diseños, cálculos y comprobaciones para la redacción del proyecto básico y de ejecución del complejo industrial se llevaron a cabo de manera paralela. Debido a las limitaciones de tiempo, actualmente se emplea el modelo 3D para generación automática de planos. El desarrollo e incorporación de tablas de planificación para mediciones y presupuesto queda fuera del alcance de la implementación debido a su complejidad.

#### **4. CONCLUSIONES**

Los resultados muestran una mejora cualitativa en la calidad de los trabajos realizados por los estudiantes con respecto a la tecnología 2D previamente implementada. Mantener un registro del trabajo de los compañeros mejora la coordinación para diseñar soluciones

compatibles. La razón de esta mejora radica en una mejor coordinación entre ingenieros. Esta metodología ayuda a desarrollar competencias transversales en estudiantes de ingeniería favoreciendo su desempeño en equipos multidisciplinares.

Para los alumnos, mejora los conocimientos en los procesos constructivos de proyectos reales. El diseño en 3D ayuda, por un lado, a la visualización completa de lo proyectado y, por otro, a la comprobación de interferencias y/o conflictos entre las diferentes disciplinas. Finalmente, se puede decir que la implementación de esta metodología mejora la calidad de las soluciones. Estas conclusiones coinciden con investigaciones previas [14].

La adopción de esta tecnología para mejorar la adquisición de competencias transversales y los conocimientos en ingeniería de proyectos supone un esfuerzo adicional para el profesorado. La necesidad de impartir conocimientos sobre la metodología de trabajo colaborativa aumenta la dedicación, sin embargo, las necesidades de tutorización se han mantenido puesto que la visión 3D mejora la comprensión del proyecto por parte de los alumnos.

#### **AGRADECIMIENTOS**

Los autores desean agradecer al Fondo Social Europeo y a la Universidad de Extremadura el apoyo para este trabajo de investigación. Este estudio ha sido desarrollado a través del proyecto de investigación GR-18029 vinculado al VI Plan Regional de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación de la Junta de Extremadura.

## REFERENCIAS

- [1] R. Hernandez-Linares, J. Agudo, M. Rico and H. Sanchez, "Transversal Competences of University Students of Engineering," *Croatian Journal of Education*, vol. 17, no. 2, pp. 383-409, 2015.
- [2] J. Perkins, Professor John Perkins' Review of Engineering Skills, London, UK: Department of Business Innovation and Skills, 2013.
- [3] R. Morgan and S. Ion, *The Universe of Engineering: A Call to Action*, London, UK: Royal Academy of Engineering, 2014.
- [4] R. Hernández-Linares, J. Agudo, M. Rico and H. Sánchez, "Transversal competences of university students of engineering," *Croatian Journal of Education*, vol. 17, no. 2, pp. 383-409, 2015.
- [5] K. Jeon, O. Jarret and H. Ghim, "Project-based learning in engineering education: is it motivational?," *International Journal of Engineering Education*, vol. 30, no. 2, pp. 438-448, 2014.
- [6] R. Charef, H. Alaka and S. Emmitt, "Beyond the third dimension of BIM: A systematic review of literature and assessment of professional views," *Journal of Building Engineering*, vol. 19, pp. 242-257, 2018.
- [7] A. Candelario-Garrido, A.M. Reyes Rodríguez and J. García-Sanz-Calcedo, "A quantitative analysis on the feasibility of 4D Planning Graphic Systems versus Conventional Systems in building projects," *Sustainable Cities and Society*, vol. 35, pp. 378-384, 2017.
- [8] A. Rad, T. Popa, V.-D. Mihon and B. Iancu, "Problem-based learning and project-based learning concepts and their applications to engineering education," in *16th RoEduNet Conference: Networking in Education and Research*, Targu Mures, Romania, 2017.
- [9] A. Kolmos and E. de Graaff, "Problem-based and project-based learning in engineering education merging models," in *Cambridge Handbook of Engineering Education Research*, Cambridge, England, Cambridge University Press, 2014, pp. 141-160.
- [10] K. Yamaguhi, H. Kawazoe, Y. Kondo and S. Sakamoto, "Problem-based learning programs aiming at practical application of knowledge of specialized subjects," *Aviation Industry Press*, pp. 1001-1006, 2004.
- [11] J. Zhang, H. Xie and H. Li, "Project-based learning with implementation planning for student engagement in BIM classes," *International Journal of Engineering Education*, vol. 35, no. 1, pp. 1-13, 2019.
- [12] W. Wu and B. Hyatt, "Experimental and project-based learning in BIM for sustainable living with tiny solar houses," *Procedia Engineering*, vol. 145, pp. 579-586, 2016.
- [13] W. Chong, J. Chang, K. Parrish and U. Berardi, "Sustainable Design with BIM Facilitation in Project-based Learning," *Procedia Engineering*, vol. 118, pp. 819-826, 2015.
- [14] F. Zamora-Polo, M. Martínez Sánchez-Cortes, A.M. Reyes-Rodríguez and J. García-Sanz-Calcedo, "Developing Project Managers' Transversal Competences Using Building Information Modelling," *Applied Science*, vol. 9, p. 4006, 2019.
- [15] R. Kreider and J. Messner, *The uses of BIM. Classifying and Selecting BIM Uses*, PA, USA: The Pennsylvania State University, University Park, 2013.