

REFLEXIONES SOBRE LA INCORPORACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LOS ESTUDIOS DE INGENIERÍA DE CAMINOS

¹Ángela Moreno Bazán; ¹Marcos García Alberti; ¹Alejandro Enfedaque Díaz;
²Antonio Arcos Álvarez; ³Alvaro Picazo Irazo; ¹Jaime.C Gálvez Ruíz

¹Departamento de Ingeniería Civil: Construcción, E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid

²Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, E.T.S de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Madrid

³Departamento de Tecnología de la Edificación, E.T.S. de Edificación, Universidad Politécnica de Madrid, a.picazo@upm.es.

Resumen

Tras la implantación en varios países de la metodología conocida como Building Information Modelling (BIM) en el ejercicio profesional de la arquitectura, han ido apareciendo en el ámbito de la formación universitaria una serie de iniciativas dirigidas a incorporarla en los estudios de grado y máster en la rama de la arquitectura y la edificación. Debido a la inminente introducción en la práctica profesional de dicha metodología en el ámbito de las infraestructuras y la Ingeniería Civil, es necesario plantear nuevos itinerarios formativos en la Ingeniería de Caminos que instruyan a los estudiantes para el futuro entorno laboral a través de competencias que completen la formación de sus alumnos.

Para poder atender a esta necesidad, la Escuela de Caminos, Canales y Puertos (ETSICCP) de la Universidad Politécnica de Madrid ha decidido crear una asignatura específica dentro de la formación optativa del Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos: Smart construction methodologies for projects: BIM in Civil Engineering. Esta asignatura formará en competencias que respondan a las necesidades actuales y futuras y además servirá de guía para implementar la tecnología BIM de manera transversal al resto de niveles formativos.

El objeto del presente trabajo es analizar qué aspectos positivos y negativos tiene incorporar esta asignatura dentro del ámbito docente de la ETSICCP y compararlos con las propuestas existentes actualmente en otras universidades. Además, servirá para establecer una futura hoja de ruta para la incorporación del aprendizaje BIM en el nivel apropiado en el ámbito de la ingeniería de caminos.

Palabras clave: Ingeniería civil, BIM, construcción, innovación.

1. INTRODUCCIÓN

La industrialización y la modernización del modelo productivo del sector de la construcción ha sido siempre una tarea compleja al tratarse de una fabricación por encargo en la que las secuencias y procedimientos no pueden sistematizarse fácilmente. Sin embargo, tras el fuerte impacto de la crisis financiera de 2007 en dicho sector, apareció en él una conciencia generalizada de necesidad de modernización. Por ello, se desarrollaron nuevas

metodologías de proyecto que introducen las posibilidades y utilidades de las nuevas tecnologías e integran la gestión de la vida completa de la obra desde la fase de proyecto [1,2]. Esta nueva apuesta se ha consolidado con la implantación en varios países [3] de la metodología conocida como *Building Information Modelling* (BIM). Por consiguiente, en el ámbito de la formación universitaria ya han aparecido una serie de iniciativas dirigidas a incorporar la metodología BIM en los estudios de Arquitectura y Edificación [4-7]. Sin embargo, sigue estando pendiente su introducción en los currículos de Ingeniería de Caminos, incluyéndolo entre las competencias que completan la formación de sus alumnos [8-10]. Por ello, resulta necesario apostar por un nuevo enfoque que combine la formación tradicional y los recursos tecnológicos aportados por la metodología BIM y que prepare a los egresados para el mundo profesional en el ámbito de las infraestructuras [11-12].

Por parte del Gobierno Español se están dando los primeros pasos [13] y a partir de 2019 la metodología BIM será obligatoria para trabajar con la Administración Pública en la licitación y construcción de infraestructuras. Así, algunas empresas del sector ofrecen másteres privados específicos para ingenieros de caminos que incorporan esta tecnología. Sin embargo, en los planes de estudios de Ingeniería de Caminos solo existen implementaciones aisladas que no disponen de una estrategia global en el desarrollo formativo del alumno. Para poder atender a esta necesidad, la Escuela de Caminos, Canales y Puertos (ETSICCP) de la Universidad Politécnica de Madrid ha decidido crear una asignatura específica para incluirla en el Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, de carácter habilitante, que responda a las necesidades actuales y sirva de guía para implementar la tecnología BIM de manera transversal al resto de niveles universitarios.

El objeto del presente trabajo es analizar la influencia que podría tener la incorporación de una nueva asignatura dentro del ámbito docente de la ETSICCP con respecto a las propuestas existentes actualmente en otras universidades. Además, se propondrá una hoja de ruta para una futura incorporación de la metodología BIM de forma transversal en el plan de estudios de Ingeniería de Caminos que favorezca el salto de los egresados en su futuro desarrollo profesional.

2. ANTECEDENTES

Las tendencias actuales en Europa muestran el camino que seguirá la Administración Pública española próximamente en la licitación de obra pública. Ya a día de hoy en varios países de nuestro entorno la metodología BIM ha cobrado una importancia capital y, por tanto, los técnicos y empresas del sector de la construcción deben ya conocerla e incorporarla a sus procedimientos de trabajo.

Partiendo de la situación actual, el cambio supone una modificación drástica del paradigma tradicional en la industria de la construcción. Éste cambio puede ser impuesto desde las administraciones, se puede generar de forma consensuada por las propias empresas y profesionales o, como parece ser que está sucediendo en nuestro país, los cambios se están produciendo puntualmente partiendo de iniciativas casi particulares. Paralelamente a la industria, en el mundo académico universitario español está ocurriendo lo mismo que en el sector de la construcción. Han ido apareciendo, aislada y espontáneamente, una serie de iniciativas dirigidas a incorporar la metodología BIM en los estudios de grado [4].

Con la gran demanda de formación específica en BIM en los años más recientes [12], han sido muchas las universidades públicas y privadas que han empezado a ofertar cursos de Formación Continua en Arquitectura e incluso ya han aparecido ofertas de estudios de máster, títulos propios y otros cursos de posgrado. Sin embargo, en cuanto a la formación y el aprendizaje en BIM en la rama de Ingeniería Civil, su implantación es casi experimental cuando no testimonial. En muchas ocasiones se trata de iniciativas individuales de un profesor sin haber sido programadas oficialmente, o se plantean como experiencias piloto en un único grupo de docencia entre todos los grupos de matrícula. En ambos casos pueden no tener siquiera reflejo en las guías docentes publicadas. Es por ello que solo pueden llegar a conocerse a través de la publicación de los resultados de estas experiencias por parte de los profesores en congresos de pedagogía, docencia universitaria o congresos de temática BIM.

3. METODOLOGÍA BIM EN EL AULA

La actual situación de los estudios de Ingeniería Civil está marcada por las exigencias que fija el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte para la docencia de enseñanzas que dan lugar al aprendizaje y futuro ejercicio de profesiones reguladas. Así pues, en el caso del Grado de Ingeniería Civil y Territorial y el Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos existen un gran número de competencias que quedan establecidas directamente por el Ministerio en asignaturas de carácter básico y obligatorio. Por ello, las modificaciones de los planes de estudios son de gran complejidad y además no hay que olvidar que cualquier modificación ha de pasar por los consiguientes procesos de acreditación, tanto por parte de agencias de ámbito nacional como internacional, que verifiquen la calidad de las modificaciones introducidas. Por lo tanto, la metodología BIM es comúnmente introducida en asignaturas optativas ya que los descriptores de dichas asignaturas suelen aparecer globalmente repartidos en el bloque de especialización sin estar asignados unívocamente a ninguna asignatura en concreto. Esto permite adaptarse rápidamente a los cambios detectados en el mundo profesional y también cubrir las materias demandadas por el alumnado.

Puede argumentarse que la implantación de competencias siguiendo este esquema supone una integración aislada en una sola asignatura, pero sin embargo permite en un futuro darle un enfoque transversal y multidisciplinar en el plan de estudios. Esto es especialmente deseable cuando se trabaja en BIM ya que es una metodología que cubre numerosos ámbitos. Además, obteniendo resultados positivos se conseguirá que la experiencia de implantación de BIM cale en la masa crítica del alumnado y del profesorado, animando al resto de docentes a una implantación en un futuro.

Desde el punto de vista material hay que resaltar que actualmente la mayoría los alumnos disponen de ordenadores compatibles con la metodología BIM y que además los proveedores de software disponen de versiones gratuitas para estudiantes dentro de su estrategia comercial. Sin embargo, hay que tener también en cuenta la inexperiencia de la mayoría de los profesores en el manejo de las herramientas necesarias para trabajar en BIM y cómo hacer un uso didáctico de las mismas. Por ello, hay que contar con ciertos recursos económicos para formar al profesorado. Así, una vez que la asignatura esté implantada y que los profesores se hayan formado para el uso de las herramientas se podrán ir transfiriendo contenidos a otras asignaturas transversales, o verticales abarcando asignaturas de diferentes cursos.

3.1. Conocimientos, competencias y habilidades que deben adquirir

El nuevo modelo del sector de la construcción que se está gestando, demanda profesionales formados en unas competencias en ocasiones diferentes a aquellas en las que fueron formados anteriormente. Por tanto, las competencias que definen las titulaciones de grado actuales no cubren en la totalidad las demandas por el mercado profesional y sector de la construcción actual. Algunas de las competencias que se podrían reforzar gracias a la implantación de una asignatura sobre BIM son las siguientes:

- Capacitación científico-técnica y metodológica para el reciclaje continuo de conocimientos y el ejercicio de las funciones profesionales de asesoría, análisis, diseño, cálculo, proyecto, planificación, dirección, gestión, construcción, mantenimiento, conservación y explotación en los campos de la ingeniería civil.
- Capacidad para planificar, proyectar, inspeccionar y dirigir obras de infraestructuras de transportes terrestres (carreteras, ferrocarriles, puentes, túneles y vías urbanas) o marítimos (obras e instalaciones portuarias).
- Capacidad para planificar, diseñar y gestionar infraestructuras, así como su mantenimiento, conservación y explotación.
- Conocimiento de todo tipo de estructuras y sus materiales, y capacidad para diseñar, proyectar, ejecutar y mantener las estructuras y edificaciones de obra civil.

- Capacidad de planificación, gestión y explotación de infraestructuras relacionadas con la ingeniería civil.
- Capacidad para aplicar los conocimientos técnicos en la evaluación de proyectos, obras e infraestructuras dentro del ámbito de la ingeniería civil.
- Capacidad para integrar y aplicar los conocimientos técnicos en asesoría, análisis, cálculo, proyecto, construcción y evaluación técnica de infraestructuras de ingeniería civil.
- Capacidad de preparar y presentar comunicaciones orales, escritas y gráficas, estructurada y argumentadamente.
- Capacidad de organizar y dirigir los esfuerzos de un equipo.
- Capacidad de ejercer las funciones profesionales de proyecto, cálculo, evaluación técnica, planificación y gestión técnica mediante el uso de normativa europea e internacional.
- Capacidad de utilización de los servicios de información y comunicación para el ejercicio de las funciones profesionales del perfil de egreso.

3.2. Estructura de la asignatura

La asignatura propuesta refleja una carga lectiva de 4,5 créditos ECTS (Sistema Europeo de Transferencia de Créditos) los cuales se han dividido en 8 temas. En ellos se utilizarán los programas que más se adecuan al ámbito de la ingeniería civil, como son actualmente Revit y Civil 3D. Además, se emplearán varios 'plugins' específicos para algunos temas concretos.

Tema 1. Aspectos generales del Proyecto de Construcción

- 1.1. Aspectos generales y organización de las diferentes etapas de la planificación, construcción y explotación de obras
- 1.2. El Proyecto de Construcción tradicional
- 1.3. Metodologías clásicas de Gestión de Proyectos
- 1.4. Los agentes intervinientes
- 1.5. Tipos de proyectos, características de cada uno de ellos
- 1.6. Análisis de los componentes de cada tipo de proyecto
- 1.7. Revisión previa del proyecto de construcción y coherencia documental

Tema 2. Introducción a la metodología BIM de gestión de Proyectos

- 2.1. Concepto de BIM (*Building information Modelling*)
- 2.2. Diccionario BIM
- 2.3. Implantación actual de la metodología BIM
- 2.4. Ventajas e inconvenientes de la metodología BIM
- 2.5. Revisión del software BIM y sus aplicaciones

Tema 3. Modelado Estructural en BIM (REVIT)

- 3.1. Plantilla del proyecto, ubicación
- 3.2. Modelado. Elementos del modelo: categorización, referencia y vista
- 3.3. Modelo Geométrico y modelo analítico

3.4. Mediciones y documentación: Tablas de planificación, cantidades y fases

3.5. Detección de conflictos

3.6. Trabajo colaborativo

Tema 4. Modelado de Obras Lineales en BIM (Civil 3D)

4.1. Explanaciones

4.2. Obras lineales

4.3. Cubicación

4.4. Drenaje

4.5. Visibilidad y Recorrido virtual

Tema 5. Presupuestos y Certificaciones. (COST-IT)

5.1. Mediciones de modelos BIM

5.2. Presupuesto

5.3. Software complementario

5.4. Informes

Tema 6. Gestión BIM I. (NAVISWORKS)

6.1. El proyecto colaborativo. Trabajo en red

6.2. Modalidades y métodos

6.3. Gestión de los modelos. Modelo federado

6.4. Detección de Interferencias

6.5. Planificación: Timeliner y simulaciones

6.6. Interacción con programas de seguimiento de obra y control de ejecución

Tema 7. Gestión BIM II

7.1. Gestión de documentación y comunicaciones.

7.2. Flujos de trabajo.

7.3. Transmits

7.4. Control de Revisiones y versiones

7.5. Coordinación

7.6. Roles BIM

Tema 8. Conservación y explotación de infraestructuras

8.1. Conceptos generales. Beneficios e impactos de la conservación.

8.2. Innovaciones y nuevas tecnologías en actividades de conservación y explotación de carreteras.

Durante los primeros temas (temas 1, 2, 3 y 4) se inicia al alumno en las herramientas de creación del modelo, con el conocimiento del entorno e interfaz del software y desarrollando un modelo en el nivel de definición de la información más bajo. En este momento el alumno debe conocer y comprender el contenido de un proyecto de construcción de Ingeniería Civil y ser capaz de utilizar adecuadamente la terminología BIM (Figura 1), por lo que sería lógico la implantación de la asignatura en el último curso del Máster de Caminos, Canales y Puertos, en el semestre previo a la realización de los Trabajos Fin de Máster de contenido profesional. Tras la adquisición y puesta en práctica de los conocimientos necesarios en el uso del modelo para obtener la documentación

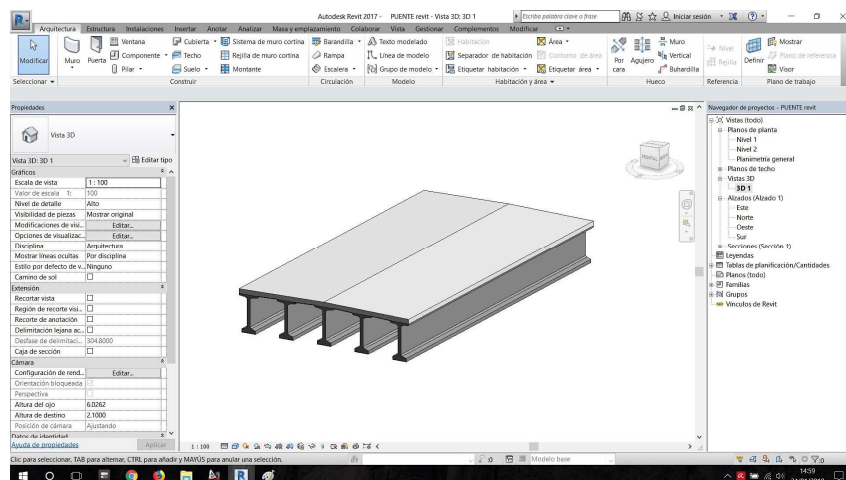


Fig. 1: Ejemplo de un paso elevado utilizado para la asignatura.

completa de un proyecto surge un nuevo objetivo, la optimización y sistematización del proceso. Una vez que se siente capacitado para desarrollar el modelo con garantías, comenzará a sistematizar su trabajo. A partir del Tema 5 ya debe aplicar las técnicas de organización, medición, valoración de obras, control de calidad y costes con autonomía, acierto, rigor lógico y método científico.

A medida que se va dominando la tecnología y comprobando sus posibilidades, surge la evidencia de que abarcar todas las disciplinas es una tarea que requiere de una gran inversión de esfuerzo, tiempo y fundados conocimientos de todas las áreas de conocimiento que exige hoy en día abarcar un proyecto de construcción. A partir del Tema 6 por tanto el alumno aprenderá la parte más significativa: planificar, organizar y dirigir la ejecución de una obra de construcción, así como su mantenimiento (Tema 8). El Tema 7 se centrará exclusivamente en conocer y utilizar las nuevas tecnologías para el intercambio de datos en la Ingeniería Civil. El objetivo final de la asignatura será que el alumno sea capaz de desarrollar la documentación de proyecto en BIM, desde la concepción inicial hasta la producción de la documentación ejecutiva con la que se licitará y construirá el proyecto, así como conocer los beneficios que implica esta metodología en el seguimiento y control de la ejecución y en las posteriores tareas de conservación y explotación.

3.3. ¿CÓMO IMPLEMENTAR LA METODOLOGÍA BIM DE MANERA TRANSVERSAL?

Hasta el Tema 4 el contacto con BIM no lo es realmente con la metodología, sino más bien con la tecnología, concretamente con herramientas BIM de diseño tridimensional. Esta circunstancia es importante a la hora de diseñar y programar la formación en BIM porque el alumno deseará conocer y dominar las herramientas de software como primer objetivo de su aprendizaje y cualquier otra información que distraiga este primer objetivo será rechazado. Esta fase se podría asimilar al niño que empieza a decir sus primeras palabras

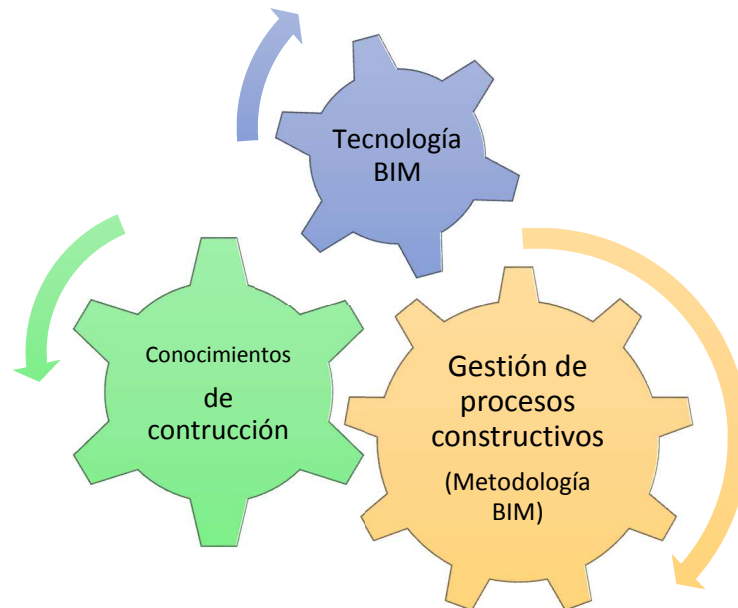


Fig. 2: Relación entre tecnología y metodología BIM.

antes de ser capaz de enunciar frases completas. Por ello, en el futuro sería ideal que el alumno desde cursos muy tempranos se vaya iniciando en el trabajo en entorno BIM, mediante el manejo de las herramientas básicas de diseño mientras simultáneamente va adquiriendo conocimientos de construcción básicos (Figura 2) que le permitiesen entender el proceso de diseño, construcción e incluso explotación de la infraestructura de forma global. Por ello, una vez con la experiencia necesaria será el momento de plantear si es necesaria la creación en los primeros cursos de grado de una asignatura específica para tal fin.

En el momento que el estudiante haya adquirido los conocimientos básicos de la metodología BIM se deberán volcar los conocimientos de cada materia relacionada con la construcción de manera individual. Así el uso de BIM durante toda la carrera le permitirá adquirir un nivel tal de madurez, comprensión del proceso proyecto-construcción y toma de decisiones, que esta integración se habrá producido a medida que incorporaba disciplinas a su modelo BIM, quedando ahora solo aprender las herramientas de gestión necesarias.

Y es en esta asignatura, situada en el último periodo de su formación donde deberá aprender a gestionar los procesos constructivos, integrando toda la formación anteriormente adquirida y conformando un modelo de coordinación (Tema 6, 7 y 8), limitándose exclusivamente al descubrimiento de las inferencias y dependencias que existen entre los distintos modelos. Resolviendo los conflictos que surjan de las soluciones adoptadas y dimensionadas, aplicando sobre el modelo todo su saber constructivo, de análisis y toma de decisiones.

Por otro lado, la metodología BIM está fuertemente influida por los avances tecnológicos y por la mejora de las herramientas según el uso de las mismas va generalizándose. En este sentido, los retos de la implantación del BIM en la Ingeniería Civil son todavía incipientes y es probable que esté sometido en los próximos años a fuertes avances y cambios tecnológicos, metodológicos y normativos. Por ello, la implantación en una única asignatura permitirá adaptarse con agilidad y rapidez a los cambios esperables, así como formar de forma continua adecuadamente a los docentes que la impartirán.

4. CONCLUSIONES

BIM como metodología de trabajo para la gestión de datos, información y procesos de los proyectos de construcción, reúne todas las características necesarias para considerarla en sí misma una disciplina académica integrable en los planes de estudios del grado y de máster en ingeniería civil cuyo aprendizaje requiere un secuencia progresiva, donde aunque se divida en cursos separados, se pueda colaborar entre sí, asegurando que no haya aislamiento [14].

Por lo tanto, los principios de BIM se pueden introducir como experiencia pionera en una asignatura y luego extenderlo entre las diferentes disciplinas del plan de estudios. Los primeros años la asignatura se va a centrar en las habilidades individuales de modelado y análisis del modelo. Los años siguientes, cuando se lleve a más niveles del grado y del máster, se considerará enfocarla más en el trabajo en equipo y la complejidad a través de la colaboración.

Es probable que la Escuela se enfrente a muchos problemas para implementar BIM, pero el mayor de ellos la integración entre las diferentes áreas del plan de estudios y encontrar la colaboración interdepartamental evitando solapes y buscando las sinergias.

Los retos de la implantación del BIM en la Ingeniería Civil son todavía incipientes y son esperables en los próximos años importantes avances y cambios tecnológicos, metodológicos y normativos. La implantación inicial en una única asignatura podría permitir adaptarse con agilidad y rapidez a dichos cambios.

Por último decir que las experiencias en los estudios de Arquitectura y Edificación de integración transversal han demostrado que BIM es en sí mismo un eficaz medio didáctico que da buenos resultados. Sin embargo, en Ingeniería Civil esta maduración no ha llegado a un nivel muy alto en la universidad española aunque se espera que eso cambie próximamente mediante la implantación de experiencias como la que se propone en esta contribución.

Agradecimientos

Reflexiones sobre la incorporación de la metodología BIM en los estudios de ingeniería de caminos

Los autores agradecen al Ministerio de Economía, Industria y Competitividad la financiación del trabajo mediante el proyecto del Plan Estatal BIA 2016-78742-C2-2-R.

REFERENCIAS

- [1] Azhar, Salman. "Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry." *Leadership and management in engineering* 11.3 (2011): 241-252.
- [2] Peterson, Forest, et al. "Teaching construction project management with BIM support: Experience and lessons learned." *Automation in Construction* 20.2 (2011): 115-125.
- [3] Brioso, Xavier. "Teaching Lean construction: Pontifical Catholic university of Peru training course in Lean project & construction management." *Procedia Engineering* 123 (2015): 85-93.
- [4] Oliver Faubel, Inmaculada. "Integración de la metodología BIM en la programación curricular de los estudios de Grado en Arquitectura Técnica/Ingeniería de Edificación. Diseño de una propuesta." (2016)
- [5] Menéndez Cárdenas, Margarita. "Incorporación de Metodología BIM en la Gestión Integrada de Proyectos" Máster Universitario en Gestión de Proyectos de Edificación – Project Management, 2016
- [6] Nieto Julián, E., Quiñones Rodríguez, R., Llorens Corraliza, S. & Cortés Albalá, I. 2014, "Experiencia integradora de la tecnología BIM en la ETSIE de Sevilla", EUBIM. Encuentro de usuarios BIM 2014. 2º Congreso Nacional BIM, Editorial UPV, València, mayo 2014, pp. 258.
- [7] Prieto Muriel, Paloma. "Implantación de la tecnología BIM en estudios universitarios de Arquitectura e Ingeniería" Máster Universitario en Investigación en Ingeniería y Arquitectura.
- [8] Bokor, Orsolya, and Miklós Hajdu. "The Use of eLearning in Teaching Construction Management Core Subjects." *Procedia Engineering* 85 (2014): 75-83.
- [9] Purnuş, Augustin, and Constanța-Nicoleta Bodea. "Educational simulation in construction project financial risks management." *Procedia Engineering* 123 (2015): 449-461.
- [10] Abbas, Ali, Zia Ud Din, and Rizwan Farooqui. "Integration of BIM in construction management education: An overview of Pakistani engineering universities." *Procedia Engineering* 145 (2016): 151-157.
- [11] Puche, D'Paola, Emilio Humberto, and Emilio Humberto. "Nuevas tecnologías en la enseñanza de la ingeniería civil: BIM y realidad virtual." MS thesis. Universidad EAFIT, 2014.
- [12] Palomo Piruat, Fernando "Integración del Building Information Modeling (BIM) con la práctica del Facility Management (FM). Mejora de procesos de toma de decisiones en mantenimiento." Máster Universitario en Organización Industrial y gestión de Empresas, 2016.

- [13] buildingSMART España 2014, Guía de Usuarios BIM España (uBIM), 1ª edn, BuildingSMART Spanish Chapter, Digital - Madrid (España).
- [14] Techel, Florian et al. "Teaching building information modeling (BIM) from a sustainability design perspective." *Em 'body'ing Virtual Architecture: The Third International Conference of the Arab Society for Computer Aided Architectural Design (ASCAAD 2007)*. 2007.