

La enseñanza del modelo integrado para la construcción en ingeniería civil y ambiental: caso de estudio en el Instituto Politécnico de Worcester

Baeza Pereyra, J. R.¹ y Salazar Ledezma, G.²

Fecha de recepción: 7 de diciembre de 2007 – Fecha de aceptación: 24 de octubre de 2008

RESUMEN

El Modelo Integrado para el Diseño y Construcción (Building Information Model, BIM, por sus siglas en inglés) está ganando popularidad entre los desarrolladores de proyectos de gran escala, tales como Administración General de Servicios de los Estados Unidos (GSA, por sus siglas en inglés), quienes han estado promoviendo su uso en sus proyectos. Asociaciones profesionales de diseñadores y constructores tales como el Instituto de Arquitectos Americanos (AIA, por sus siglas en inglés), la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE, por sus siglas en inglés), y la Asociación de contratistas Americanos (AGC, por sus siglas en inglés) están revisando cuidadosamente las implicaciones derivadas del uso del BIM para la práctica profesional futura. Este trabajo presenta el resultado de un sondeo entre dos grupos de estudiantes de la materia CE1030 del Instituto Politécnico de Worcester. El curso de sistemas integrados para la construcción se ofreció en sendas semanas en ambos grupos: el término B (Agosto-Diciembre del 2005) y durante el término C (Enero-Mayo del 2006). En el sondeo se evaluaron los siguientes puntos: si la clase se adaptó al estilo de aprendizaje de la materia, si la herramienta les fue útil y si les facilitó el trabajo en conjunto. Los resultados de este sondeo fueron (entre otros) de que los estudiantes redujeron su tiempo de aprendizaje, se redujeron inconsistencias de diseño y lo más importante, el uso del software ayudó a los alumnos a enfocarse en el entendimiento de la filosofía del modelo integrado para la construcción.

Palabras clave: Modelo Integral de construcción, educación en ingeniería, resultados estadísticos

Building Information Model for civil and environmental engineering education: Case study from Worcester Polytechnic Institute.

ABSTRACT

Building Information Model (BIM) is gaining popularity among large scale building developers such as the American General Services Administration of America (GSA) which has already started to promote its use in its projects. Professional associations of designers and builders such as the American Institute of Architects (AIA), American Society of Civil Engineers (ASCE), and the Associated General Contractors of America (AGC) are now looking carefully to the implications derived from the use of the BIM for future professional practice. In this work the result of a survey between two different groups of students of CE1030 at Worcester Polytechnic Institute is presented. The BIM courses were offered in a one week fashion to both groups: in the fall of 2005 (B term) and recently in the spring of 2006 (C term). The survey evaluated issues such as: class fitted learning style, if BIM is a helpful tool, and if it facilitates group work. The results of this survey show that students reduced learning time, reduced design inconsistencies and, the use of the software incremented students' focus on understanding the integrated modeling philosophy.

Keywords: Building Information Model, engineering education, statistical results

¹ Profesor Investigador. Cuerpo Académico de Construcción. Facultad de Ingeniería-UADY. E-mail: bpereyra@uady.mx

² Profesor Asociado. Dept. of Civil and Environmental Engineering. Worcester Polytechnic Institute. Mass., USA

INTRODUCCIÓN

La industria de construcción está en tiempos de cambio en la manera en que el proceso de diseño y construcción de edificaciones son llevados a cabo. Esto se debe a la llegada de la tecnología de información basada en el concepto conocido como modelo integral de diseño y construcción (BIM, por sus siglas en inglés). Baeza y Salazar afirman que con esta tecnología, la información necesitada para la coordinación, la implementación y la operación del diseño de un proyecto se capturan en modelos digitales, al mismo tiempo que se diseñan los objetos (Baeza, Salazar 2005). Por otro lado, Salazar y Almeida escriben que las ventajas que BIM ofrece al sector de la construcción proporcionan premisas fuertes para superar la naturaleza fragmentada de la industria (Salazar, Almeida, 2004). En consecuencia la industria probablemente considere los nuevos procesos emergentes que substituyan a la separación tradicional entre el diseño, la construcción, la puesta en marcha y el mantenimiento de edificaciones (Baeza, Salazar, 2005).

BIM está ganando renombre entre los desarrolladores de proyectos de escala grande, tal como la Administración General de Servicios de Estados Unidos (GSA) que ha comenzado a promover su uso en sus proyectos. Asociaciones profesionales de diseñadores y de constructores tales como el Instituto Americano de Arquitectos (AIA), la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE), y los Contratistas Generales Asociados de América (AGC) ahora están mirando cuidadosamente las implicaciones derivadas del uso del BIM para la práctica profesional futura. Los esfuerzos de estos profesionales junto con la evolución tecnológica derivarán en un cambio para una mejor colaboración y coordinación entre las diversas habilidades y pericias implicadas en el diseño y la construcción de edificios.

Para cubrir las demandas y retos de este cambio, el modelo educativo de ingeniería civil necesita ser revisado constantemente; si no se hace caso a las tendencias del mercado, los educadores no serán líderes en la innovación, en comparación con el lado práctico de la profesión (Wiezel et al.1999). Por estas razones, es imperativo que los educadores tengan acceso, que experimenten y comprendan la tecnología que respalda al modelo integrado de construcción. Esto conlleva a hacer recomendaciones curriculares para que los estudiantes aprendan a ser líderes en una industria transformada por la tecnología computacional.

Este trabajo describe las actividades educativas y los resultados hasta la fecha conducidos durante los cinco años pasados en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental (CEE, por sus siglas en inglés) en el Instituto Politécnico de Worcester (WPI, por sus siglas en inglés) relacionado con la introducción del BIM en el plan de estudios. En este trabajo se presentan los fundamentos de esta tecnología y los requisitos del software para ponerlo en práctica, junto con la metodología usada para probar conceptos fundamentales en lo referente a los estilos de aprendizaje de los estudiantes. Este artículo describe la introducción del BIM a los estudiantes de licenciatura y a los estudiantes graduados inscritos en cursos orientados al uso de la computadora, al desarrollo de proyecto y a la elaboración de tesis en ingeniería civil. Finalmente, presenta los datos adquiridos de encuestas relacionadas a las actividades académicas de los estudiantes (Salazar, Mokbel, Aboulez, 2006).

EL MODELO INTEGRAL DE CONSTRUCCIÓN

La tradicionalmente fragmentada tarea de la construcción ha estado gradualmente evolucionando hacia un modelo más cooperativo, para cubrir la creciente demandas de proyectos de mayor calidad en menos tiempo y a menor costo. Mejorar las vías de comunicación entre la obra y la oficina central es un componente importante para lograr una mejor colaboración entre los participantes en un proyecto (Graphisoft, 2008).

El modelo integrado de diseño y construcción es una filosofía adoptada recientemente por la industria de la construcción europea y norteamericana. En dicho modelo se describen los elementos de un edificio en tres dimensiones y más dimensiones: puertas, ventanas, escaleras, techos, etc. de la manera como se construye en realidad. Con la tecnología que respalda al modelo, las edificaciones se definen como una colección de objetos interrelacionados que coexisten en más dimensiones que las que puede ofrecer el CAD tradicional. El modelo integral guarda toda la información de un edificio en una base de datos central y permite coleccionarlos en atributos que describen las características de cualquier objeto en particular, así conformando un modelo virtual del edificio (Ásale, 2006).

SOFTWARE BIM

En un software CAD tradicional se crean vistas en tres dimensiones de una serie de líneas y planos las cuales se suelen guardar en múltiples archivos, mientras que en el modelo integral de diseño y construcción se crea una base de datos única capaz de

generar múltiples vistas en tres dimensiones y guardar atributos del modelo. Entre los diversos atributos no gráficos que se pueden guardar en dicha base de datos, se encuentra el costo, los proveedores, fase en la que se genera un componente del modelo, etc. Esta diferencia fundamental es una implicación importante para el educador al definir un temario en el que se debe enseñar y al cual se deben apegar múltiples materias asociadas a una carrera ingeniería civil (Baeza, Zaragoza, 2006).

Existen unos cuantos vendedores en el mercado que producen software integral a precios económicos, tanto para desarrollo como para costeo. Por varios años, Autodesk Revit® ha proveído fondos para la enseñanza del BIM en el Politécnico de Worcester, a través del uso gratuito del software por estudiantes y maestros, soporte técnico y presentaciones en colaboración con el Instituto.

En el politécnico la ayuda promovida por esta empresa ha hecho que los estudiantes, tanto graduados como de licenciatura tengan acceso libre al software, así como la capacidad de explorar las posibilidades y límites de dicho sistema. Este esfuerzo ha creado una experiencia local y una comprensión en los aspectos básicos del software y de la construcción misma. Así pues se ha logrado promover cursos, trabajos de investigación, tesis de maestría e inclusive de doctorado. Uno de los autores de este trabajo es un miembro activo del Consorcio para el Diseño/Construcción de Autodesk/Revit. Este grupo consiste en representantes de la industria de la construcción, empresas consultoras e investigadores y otros académicos que buscan nuevas maneras de utilizar el modelo integral para mejorar diseño y la metodología de la construcción, así como el proceso educacional.

La inclusión de los conceptos sobre el modelo integral en una currícula como la del WPI promueve mejores logros medibles en los proyectos de la mayoría de los cursos relacionados con el programa de Ingeniería-Construcción. Dichos proyectos ya son comparables con los que se diseñan en la realidad. El modelo integral logra que los estudiantes se preparen mejor para las funciones y los retos que son necesarios para ser líderes en la industria, a mediano plazo. Los mayores beneficios para los estudiantes incluyen:

- Desarrollar una panorámica y entendimiento integral de la construcción, sus componentes, el proceso de diseño y los de construcción, que eventualmente generan nuevas ideas

para diseñar y construir futuros proyectos de infraestructura.

- Adquisición de destrezas por los estudiantes, creando mejores oportunidades de empleo y fortaleciendo la colaboración con la industria a través de proyectos, tesis, estudios independientes y estancias de trabajo. Esto también permitirá un desarrollo más sólido y realista el programa para graduados de maestría en construcción.

EL MODELO INTEGRAL DE CONSTRUCCIÓN EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DEL POLITÉCNICO DE WORCESTER.

La inclusión de BIM en el currícula ha logrado una gradual y consistente mejora en el aprendizaje de los estudiantes durante los últimos cinco años (Salazar et. al, 2003). Ahora BIM es utilizado tanto para la maestría como para la licenciatura en ingeniería civil, así como en proyectos de interacción y en proyectos de calificación para doctorados en el WPI.

El primer estudio fue patrocinado por el Departamento de Servicios Educativos del Politécnico. El plan era introducir el modelo mediante cursos en la primavera y verano de 2003. En el primer semestre de primavera, los estudiantes inscritos en la materia “Integración la Tecnología de Información a la Ingeniería Civil” se usó Autodesk Revit®, desarrollando un proyecto de clase en el semestre. Se introdujo un módulo básico de una semana en la licenciatura para la materia “Fundamentos de Computación en Ingeniería Civil” (un curso de licenciatura dirigido primariamente ingenieros civiles de los tres primeros semestres de la licenciatura), así como para estudiantes cuarto quinto y sexto semestres. El grupo responsable de investigar el mecanismo de enseñanza del modelo tuvo la oportunidad de explorar junto con los estudiantes, de una manera gradual y progresiva con los trabajos de clase, utilizando la herramienta computacional y los conceptos del BIM. Adicionalmente, al final el semestre primavera el grupo de investigación organizó un taller dirigido a compartir con los investigadores del Departamento de Ingeniería los progresos logrados durante dicho curso así como retroalimentarse con los comentarios de los otros miembros el comité de ingeniería civil.

Después de este esfuerzo, el módulo básico de una semana se ofreció dos veces durante el 2003. Se decidió extenderlo al semestre de otoño y recientemente al semestre de primavera el 2006. Este módulo, de una semana también, ha sido incluido en la última parte del curso de Autocad que

tradicionalmente se enseña en la licenciatura y se ofreció en ambos casos la opción elegir entre el BIM y el CAD. Asimismo ya se hizo una tradición que en los semestres primavera y verano se incluya tanto de Autocad como Revit en la oferta de cursos.

CE 1030 INGENIERÍA CIVIL Y PRINCIPIOS DE COMPUTACIÓN

Se decidió estudiar cómo afecta la inclusión de la tecnología BIM en la materia de licenciatura “Ingeniería Civil y Principios de Computación” (CE 1030). Dicho curso presenta a los estudiantes los fundamentos de la dinámica de grupos en ingeniería civil, los fundamentos de ingeniería, destrezas para preparar presentaciones y reportes escritos y en el uso de la computadora. Los grupos de estudiantes completan un proyecto en cada semana, usando la computadora como medio de desarrollo. Dicho proyecto se presenta ante la clase y se entrega un reporte acerca del tema de la semana. Dicho curso se recomienda para estudiantes desde el primero y cuarto semestres de ingeniería (“freshmen” y “sophomores” respectivamente).

La necesidad de que los estudiantes y de los profesionales novicios de estar al tanto de los intrincados aspectos que se encuentran en la comunicación del diseño, visualización y coordinación de tareas de construcción, ha sido altamente reconocida durante años. Es por esta razón que los conceptos de BIM se presentan a los estudiantes de ingeniería del WPI, en módulos de una semana en las clases de CE 1030. Durante este período de una semana, los estudiantes se concentran en sus respectivas tareas relacionadas con sus proyectos desarrollados en BIM, mediante levantamientos, tareas extra-clase y un cuestionario final (Salazar, Almeida 2004). La estructura semanal del módulo se divide en dos clases frente a grupo, tres trabajos extra clase, con un grado de dificultad incremental entre una y otra tarea y un cuestionario final.

CE 585 LA TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN EN LA INTEGRACIÓN DE LA INGENIERÍA CIVIL

Este curso forma parte del programa de Posgrado en Ingeniería del WPI. Está dirigido a profesionales que desean un mejor entendimiento y experiencia práctica sobre tecnología de información de estado de arte y su aplicación en el diseño, planeación, construcción y administración en proyectos de infraestructura civil. El formato del curso incluye clases presenciales, sesiones de laboratorio de cómputo y un proyecto de curso desarrollado de manera colaborativa entre los estudiantes, a través del curso. Al final del semestre y

con el uso extensivo de BIM, la clase desarrolla un paquete computacional bien coordinado e integrado, con componentes de diseño y administración. Este paquete incluye dibujos, especificaciones, estimado de costos y programación de una unidad de infraestructura civil.

A los estudiantes se les pide que completen los módulos de entrenamiento en los softwares que se necesitarán para el curso. El entrenamiento es básicamente en línea, con sesiones de laboratorio de cómputo en clase y también por ensayo y error (más determinación y paciencia). Los libros y tutoriales en línea están apareciendo en el mercado. Por el momento, los estudiantes están apegados a un libro (Fox, Balding, 2006), pero no están limitados en cuanto a las fuentes de información disponibles para complementar su conocimiento.

La naturaleza y alcance de los proyectos de este curso les permite a los estudiantes aprender y usar el software, sobre todo en aquellos aspectos que promueven la colaboración. De esta manera los estudiantes pueden organizar el diseño y administración del flujo de trabajo promoviendo la interacción entre el diseño y la construcción a través de BIM. El reporte final de los estudiantes incluye los siguientes componentes:

- Una total revisión de BIM en términos de su uso
- Facilidad de manejo del software
- Ventajas y desventajas encontradas en el uso del software
- Interoperabilidad y otros softwares de Arquitectura, Ingeniería y Construcción
- Importancia de BIM en el ambiente de diseño y construcción
- Conclusiones
- Potencial para investigación y desarrollo de investigación

ENCUESTA DEL ÍNDICE DE ESTILOS DE APRENDIZAJE

A los estudiantes se le pide que completen una encuesta en línea, como parte de un modelo educativo desarrollado por el Dr. Felder de la Universidad de North Carolina (Felder, 2008). Dicho modelo permite que los estudiantes analicen sus propios estilos de aprendizaje relacionado con la manera en que entienden y se les enseña el BIM durante CE 1030.

Los estudiantes completan un cuestionario de 30 minutos, que contienen cuatro temas que se refieren a BIM. En general, las respuestas han sido consistentes con los objetivos del módulo. La mayoría de los

estudiantes indican que el BIM es una herramienta útil que facilita el trabajo en grupo. La siguiente tabla muestra una comparación entre los resultados de los cuestionarios aplicados en el 2003 y 2006 de los módulos de la materia CE 1030.

La gran mayoría de los estudiantes percibió que la manera en que se dio el módulo se adecua a sus estilos de aprendizaje, sin embargo existe una tendencia a la baja en cuanto a este aspecto se refiere.

Tabla 1 - Resumen de las percepciones del uso de BIM por los estudiantes de CE 1030 en 2003 y 2006

TEMA	2005			2006		
	Si	No	Indiferente	Si	No	Indiferente
La clase se ajusta a su estilo de aprendizaje	85%	7%	8%	73%	18%	9%
BIM es una herramienta útil	88%	0%	12%	86%	5%	9%
BIM facilita el trabajo grupal	67%	18%	15%	73%	14%	14%

DISCUSIÓN

BIM se considera útil como herramienta por la mayoría de los estudiantes y hay una tendencia a la alta en el rubro que facilita el trabajo grupal, aunque lo opuesto es también es cierto. Esto se puede explicar porque para recolectar los datos numéricos o geométricos se necesita interacción grupal para producir un modelo BIM de un edificio en particular. Pero una vez generada dicha información, sólo un estudiante a la vez puede trabajar con el modelo en la computadora. En este aspecto es importante recalcar que hay una característica del software llamada “Worksets” (Montealegre Beach Arquitectos, 2007) que promueve una verdadera colaboración. Esta característica permite dividir la base de datos del software y darles el control de diferentes aspectos del modelo a diferentes miembros del equipo. Aprender dicha característica requiere de clases adicionales y mayor tiempo de práctica, lo que está más allá del tiempo reservado para este módulo.

módulo subsecuente, enseñado por otro instructor. Por ejemplo, un módulo que vincule aspectos de protección al fuego (Salazar, Almeida 2004). Para ello, el segundo instructor necesitará apoyo y coordinación con el instructor previo.

El software cambia de una versión a otra, sin embargo el aprendizaje es el mismo. La curva de aprendizaje no se ve modificada. Un aspecto interesante es que los estudiantes dejan de ver líneas y puntos, para pasar a ver objetos constructivos. Esto es similar a pasar de ser meros dibujantes a constructores incipientes. Lo que es más importante es que el estilo de aprendizaje cambia de cuando se enseña CAD a BIM. Por el momento, BIM mantiene su compatibilidad con CAD, pero todavía hay brechas que saltar en cuanto a estimación y control de costos. Habría que realizar este mismo experimento con cursos relacionados al área para comparar el desempeño de los estudiantes con el uso del software.

Con lo aprendido del experimento, se ha concluido que s pueden obtener beneficios adicionales si se ligase este módulo de una semana a un segundo

A continuación se presentan algunos trabajos desarrollados en Autodesk Revit por los estudiantes de ambos cursos:

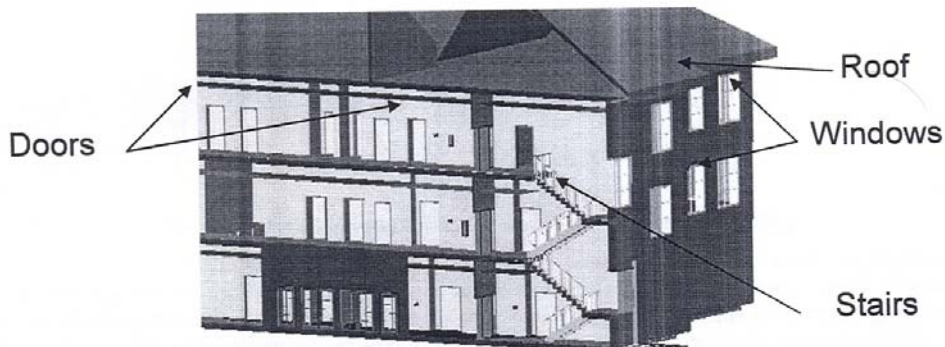


Figura 1. Sección del edificio Kaven Hall, WPI, realizado por alumnos de la licenciatura, (CE 1030, 2005)

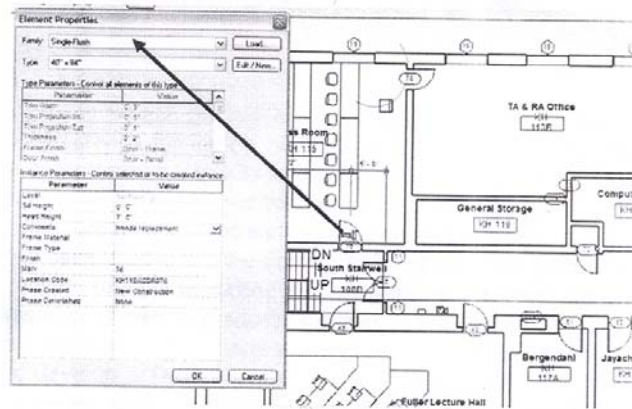


Figura 2.- Remodelación virtual del centro de trabajo de los estudiantes, Kaven Hall, WPI, realizado por alumnos de la licenciatura, (CE 1030, 2005)

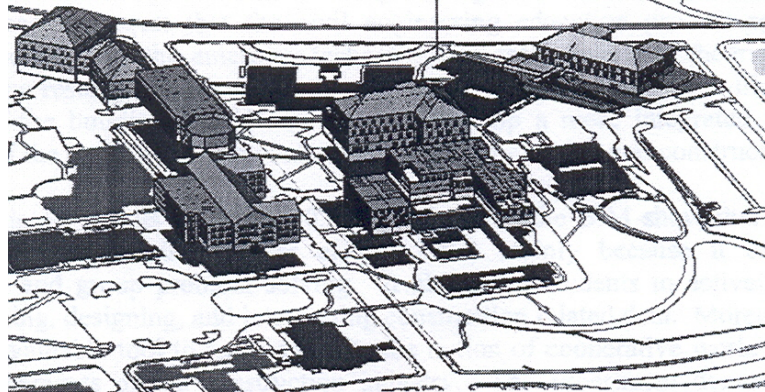


Figura 3.- Levantamiento del Campus del WPI, realizado Por los estudiantes de licenciatura y maestría, WPI. (CE 1030, y CE 585, 2006)

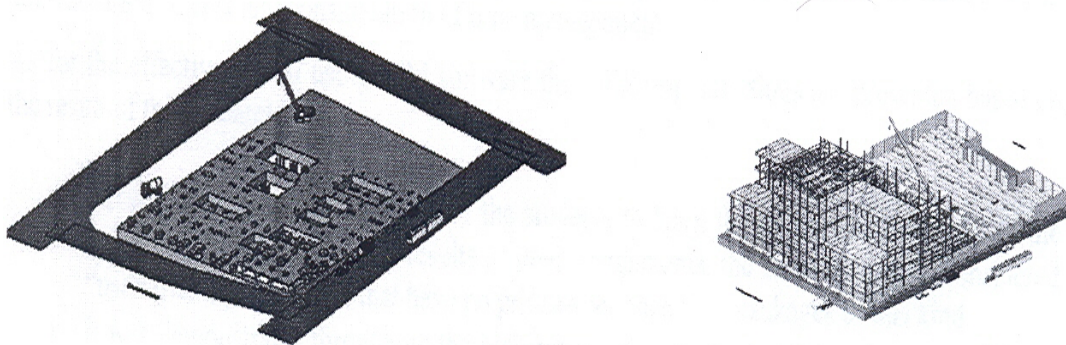


Figura 4.- Seguimiento de la construcción del nuevo edificio de la Corte de Justicia del Condado de Worcester, Massachussets (CE 585). Una tesis de doctorado y una de maestría de Hala Mokbel y Mohamed Aboulezz respectivamente, fueron el resultado de este proyecto. (2006)

CONCLUSIONES

La tecnología BIM es hasta cierto punto comparable a la de CAD, pero ahonda más en aspectos que pueden ser atractivos para otras áreas del quehacer ingenieril. Se pudo demostrar que con un curso básico de una semana, tanto los alumnos de licenciatura, maestría y doctorado pueden alcanzar un mayor grado de

entendimiento del proceso de construcción. Pero lo más importante que se resaltó en el estudio de los dos módulos de una semana, es que este tipo de tecnología promueve la participación global de los miembros de un equipo, promoviendo la colaboración en la dinámica de grupo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ásale, David (2006), “BIM: Adiós al CAD”, <http://www.plataformaarquitectura.cl/2006/11/24/bim-adios-al-cad/>

Baeza, Julio, Salazar Ledesma, Guillermo (2005), “Integración de proyectos utilizando el modelo integrado para la construcción”, Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería.

Baeza Pereyra, Julio R., Zaragoza Griffé, Nicolás (2006), “Introducción al modelo integrado de diseño y construcción”, Anuario 2006, Administración para el Diseño, Universidad Autónoma Metropolitana.

Felder, Richard (2008), “Index of Learning Styles (ILS)”, Resources in science and engineering education, <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/ILSpa.html>

Fox, C. and Balding, J., (2006) “Introducing and implementing Autodesk Revit® Building”, Thomson Delmar Learning, NY.

Montealegre Beach Arquitectos (2007), “Trabajo en grupo”, http://revit-mba.blogspot.com/2007_10_01_archive.html

Ronald O. Méndez (2006), “The Building Information Model in facilities management”, Tesis de Maestría en Ingeniería, WPI.

Salazar, G., & Almeida, J., “Use of the Parametric Building Model in Civil and Environmental Engineering Education at WPI”, Proceedings of the ASEE Annual Conference, Salt Lake City, Utah, June 20 – 23, 2004.

Salazar, Guillermo F., Polat, Ismail H., Almeida, Joao C., (2003) “The Role of the Parametric Building Model in the Future Education and Practice of Civil Engineering and Construction” Proceedings of the ASCE IV Joint International Symposium on Information Technology, Nashville, TN, November 15-16.

Salazar Guillermo, Mokbel Hala, Aboulezz Mohamed (2006), “The Building Information Model in the Civil and Environmental Engineering Education at WPI”, Proceedings of the ASEE New England Section 2006 Annual Conference.

Wiesel, A., Walsh, K., Brena, J., “A Critical Analysis of an Introductory Computer Course for Constructors” Journal of Construction Education, Spring 1999, Vol. 4, No. 1, pp. 39-49.

Este documento se debe citar como:

Baeza Pereyra, J. R. y Salazar Ledezma, G. (2008). **La enseñanza del modelo integrado para la construcción en ingeniería civil y ambiental: caso de estudio en el Instituto Politécnico de Worcester.** Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 12-3, pp. 63-69, ISSN: 1665-529X.