

**MEMORIAS 2008  
CONGRESO NACIONAL  
DE ADMINISTRACIÓN Y  
TECNOLOGÍA PARA LA  
ARQUITECTURA, INGENIERÍA  
Y DISEÑO**

6



**EL MODELO INTEGRADO PARA  
LA CONSTRUCCIÓN EN LA  
ENSEÑANZA DE INGENIERÍA  
CIVIL Y AMBIENTAL (CASO DE  
ESTUDIO EN EL WORCESTER  
POLITECHNIC INSTITUTE)**

**Julio R. Baeza Pereyra  
Guillermo Salazar Ledezma**



## **EL MODELO INTEGRADO PARA LA CONSTRUCCIÓN EN LA ENSEÑANZA DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL (CASO DE ESTUDIO EN EL WORCESTER POLITECHNIC INSTITUTE)**

**Julio R. Baeza Pereyra**

Profesor Investigador Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México

**Guillermo Salazar Ledezma**

Profesor Asociado Dept. of Civil and Environmental Engineering  
Worcester Polytechnic Institute 100 Institute Rd,  
Worcester, Massachusetts, USA

### **RESUMEN**

El Modelo Integrado Para La Construcción (BIM, por sus siglas en inglés) está ganando popularidad entre los desarrolladores de proyectos de gran escala, tales como Administración General de Servicios (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) ahora 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 diversos grupos de estudiantes de la materia CE1030 del Instituto Politécnico de Worcester. El curso sistema integrado para la construcción se ofreció en sendas semanas en ambos grupos: el término B (Agosto-Diciembre del 2005) y recientemente 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, Si la herramienta les fue útil y dicha herramienta 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 mas importante, el uso del software los ayudó a los alumnos a enfocarse en el entendimiento.

### **ABSTRACT**

BIM is gaining popularity among large scale building developers such as the General Services Administration (GSA) who have already started to promote its use in their 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. This work was a result of a survey among two different groups of students of CE1030 at Worcester Polytechnic Institute. The BIM courses were offered in a one week fashion to both groups: in the fall of 2003 (B term) and recently in the spring of 2006 (C term). The survey evaluated issues: Class Fitted Learning Style, BIM is a Helpful Tool, BIM Facilitate Group Work. The results of this survey is that students reduced learning time, reduced design inconsistencies, the use of the software increments focuses the students on understanding.

## INTRODUCCION

La industria de construcción está en los primeros tiempos de cambio histórico en la manera en el que el proceso de diseño y construcción de edificaciones son llevados a cabo. Esto es debido al advenimiento de una información basada en la tecnología concepto conocido como diseño integral de proyectos (BIM, por sus siglas en inglés). Con esta tecnología, la información fundamental necesitada para la coordinación, la construcción y la operación de diseño de un proyecto se captura en modelos digitales al mismo tiempo que se diseñan los objetos que se crean. Las ventajas que son ofrecidas por BIM al sector de la construcción proporcionan premisas fuertes para superar la naturaleza fragmentada de la industria. En consecuencia la industria es probable que considere los nuevos procesos emergentes que substituyen a la separación tradicional del diseño, construcción, puesta en marcha y mantenimiento de unidades constructivas (Baeza, Salazar, 2005).

BIM está ganando renombre entre los desarrolladores de proyectos de la escala grande tales como la administración general de los servicios (GSA) que han comenzado ya a promover su uso en sus proyectos. Las asociaciones profesionales de diseñadores y de constructores tales como el instituto americano de los arquitectos (AIA), de la sociedad americana de los ingenieros civiles (ASCE), y del contratistas generales asociados de América (AGC) ahora están mirando cuidadosamente a las implicaciones derivadas del uso del BIM para la práctica profesional futura. Los esfuerzos de estos profesionales juntados con esta evolución tecnológica derivarán un cambio que transforme procesos con la colaboración y la coordinación mejoradas entre las diversas habilidades y la pericia implicada en el diseño y la construcción de edificios.

Para cubrir las demandas y los retos de este cambio, el modelo educativo de la ingeniería civil necesita ser constantemente revisado; si no se hace caso a las tendencias del mercado los educadores no serán líderes en la innovación, comparado 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 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. Este trabajo presenta fundamentos de esta tecnología y los requisitos del software de ponerlo en ejecución, tan bien como las metodologías usadas para probar conceptos fundamentales en lo referente a los estilos que aprenden de los estudiantes. El papel describe la introducción del BIM al estudiante y a los estudiantes graduados alistados en clases orientadas computadora, proyecto y tesis del genio civil. Finalmente, presenta los datos recogidos de exámenes, de concursos, y de informes del grupo en conexión a las actividades académicas de los estudiantes (Salazar, Mokbel, Aboulezz, 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 interés de proyectos de alta calidad en menos tiempo y a menor costo. Mejorar las vías de comunicación el campo y campo oficina central es un componente importante para lograr una mejor colaboración entre los participantes en un proyecto.

El modelo integrado de construcción el término recientemente adoptado por la industria de la construcción europea y norteamericana. Dicho modelo describe edificios en tres dimensiones tales como: puertas, ventanas, escaleras, techos, etc. a la manera como se construye en realidad. Con esta nueva tecnología, las edificaciones se definen como una colección de objetos interrelacionados que pueden usuales salas se tres dimensiones. El modelo integral guardar toda la información de un edificio en la base de datos central y permiten y coleccionarlos en atributos que describe en las características de cualquier objeto en particular, así conformando la vista de un modelo virtual del edificio. En la figura 2 se muestran algunos atributos que se le han dado algunos objetos del edificio se muestra.

## **SOFTWARE BIM**

El software CAD tradicional crea vistas en tres dimensiones de una serie de líneas y planos las cuales se suelen guardar en múltiples archivos, mientras que el modelo integral de construcción crea una base de datos única capaz de generar múltiples vistas de tres dimensiones consistentes del modelo. Esta diferencia fundamental es una implicación importante para el educador al definir un temario en el que se debe enseñar y al cual se debe apegar múltiples materias asociadas a una carrera ingeniería civil.

Existen unos cuantos vendedores en el mercado que producen software integral a precios económicos, tanto para desarrollo como para costeo. Por varios años ya Autodesk Revit® a proveído fondos para el desarrollo de este tipo de enseñanza Politécnico de Worcester, a través del uso gratuito del software, soporte técnico y presentaciones de colaboración profesional. En contraste, la Universidad Autónoma de Yucatán ha recibido más énfasis en software de diseño gráfico, cálculo estructural, sistemas de información geográfica, pero no se le ha dado el suficiente énfasis al área de edificación (Baeza, Salazar, 2005). Por edificación se entiende no sólo el diseño gráfico, sino también del costo, posición de objetos en un diagrama, dimensiones, materiales, texturas, vendedores, dimensiones, secuencia de construcción, frentes de obra, etc. (Méndez, 2006).

En el politécnico la ayuda promovida por esta empresa ha hecho que los estudiantes, tanto graduados como los 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 le 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 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 departamentos relacionados a la carrera de Ingeniería-Construcción. Dichos proyectos ya son comparables a los reales construidos en campo. 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 para los estudiantes, así creando mejores oportunidades de empleo y fortalecer 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 en maestría en construcción.

#### **EL MODELO INTEGRAL DE CONSTRUCCIÓN 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 interacción en proyectos de calificación para doctorados en el WPI.

El primer estudio de patrocinado por el departamento de servicios educacionales el politécnico. El plan era introducir el modelo mediante sendos cursos en la primavera y verano de 2003. Primer semestre de primavera, los estudiantes inscritos en la materia integración la tecnología de información al ingeniería civil se usó Autodesk Revit © mediante un proyecto de clase diciendo igualmente semestre de primavera, un módulo básico de una semana se introdujo en la licenciatura para la materia ingeniería civil fundamentos de computación, un curso de licenciatura en señalando 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 exploró las oportunidades y experimentó los estudiantes de una manera gradual y progresiva con su trabajo utilizando la herramienta computacional y los conceptos del modelo. Adicionalmente, al final el semestre primavera grupo de investigación organizó un taller de departamento dirigido a compartir a los instigadores los progresos ese lograron durante ese curso así como tener retroalimentación de otros miembros el comité de ingeniería civil.

Después de este esfuerzo de un módulo de una semana ofreciéndose dos veces durante el 2003, se decidió extenderlo al semestre de otoño y recientemente en la primavera el 2006. Este

módulo de una semana también ha sido incluido en la última semana 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 en los semestres primavera y verano los tres años incluya tanto de Autocad como el Revit en la oferta para los cursos.

Por otra parte, académicos del WPI y de la UADY, BIM se impartió en dos cursos de verano en el 2005 y 2004 en maestría en Ingeniería, especialidad construcción, en la materia Integración de Diseño y Construcción". Igualmente se enseñan los principios de BIM en la materia de "Administración Integral de Proyectos de construcción".

En el este estudio se entrenó a seis estudiantes de proyecto Principal de Licenciatura (MQP) y a tres de Proyecto Independiente de licenciatura (IQP) en el uso de BIM. Se completaron dos cursos de licenciatura: el primero de estos cursos se llevó a cabo durante el término B (Agosto-Diciembre del 2005), con 36 alumnos y recientemente durante el término C (Enero-Mayo del 2006), con 41 alumnos. La siguiente sección se ahonda en dicho estudio.

### **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 con los fundamentos de la dinámica de grupos en ingeniería civil, los fundamentos de ingeniería, destrezas para preparar presentaciones y reportes escritos ingenieriles 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 primero a cuarto semestres de ingeniería ("freshmen" y "sophomores").

La necesidad de que los estudiantes y de los profesionales novicios de que estén al tanto de los intrincados aspectos que se encuentran en la comunicación del diseño, visualización y coordinación de tareas, ha sido altamente reconocida durante años y por es razón los conceptos de BIM se presentan a los estudiantes de ingeniería del WPI, en módulos de una semana en las clases de CE 1030, en las ocasiones en las que uno de los autores ha participado. 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.

Los estudiantes que toman este módulo una experiencia práctica en los campos de diseño, construcción y administración de la construcción. Un buen número de ellos cuentan con cierto conocimiento de software CAD, pero no en software BIM.

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 (). 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	2003			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%

BIM se considera útil como herramienta por la mayoría de los estudiantes y hay una tendencia a alta en este que también 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, solo 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" que promueve una verdadera colaboración. Esta característica permite particionar la base de datos del software y darles el control de diferentes aspectos del modelo a diferentes miembros del equipo. Aprendiendo dicha característica requiere de clases adicionales y mayor tiempo de práctica, lo que está más allá del tiempo reservado para este módulo.

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

## **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 software que se necesitarán para el curso. El entrenamiento es básicamente en línea y basado en la red, con sesiones de laboratorio de cómputo en clase y también por ensayo y error (mas 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 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
- Interoperabilidad y otros software de Arquitectura, Ingeniería y Construcción
- Importancia de BIM en el ambiente de diseño y construcción
- Conclusiones
- Potencial para investigación y desarrollo de investigación

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.

A continuación se presentan algunos de los logros de los estudiantes de ambos cursos:

**Figura 1. Sección del edificio Kaven Hall, WPI, realizado por alumnos de la licenciatura, (CE 1030, 2003)**

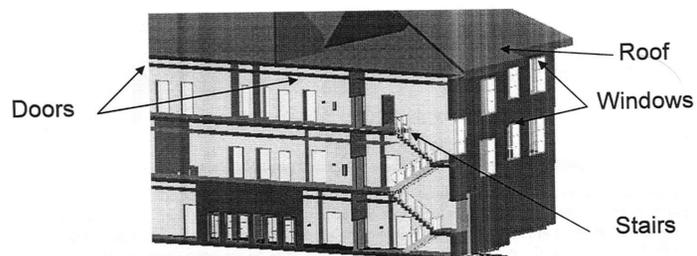


Figura 2.- Remodelación virtual del centro de trabajo de los estudiantes, Kaven Hall, WPI, realizado por alumnos de la licenciatura, (CE 1030, 2003)

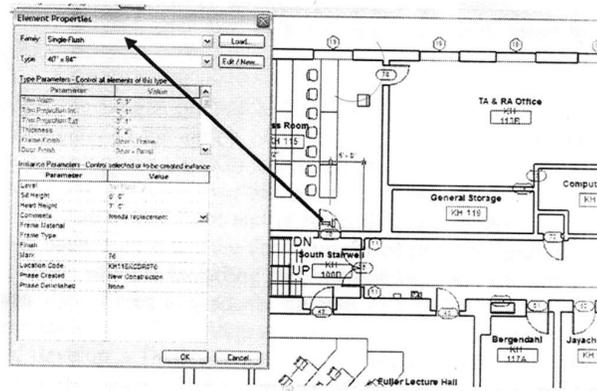


Figura 3.- Levantamiento del Campus del WPI, realizado Por los estudiantes de licenciatura y Maestría, WPI. (CE 1030, y CE 585, 2006)

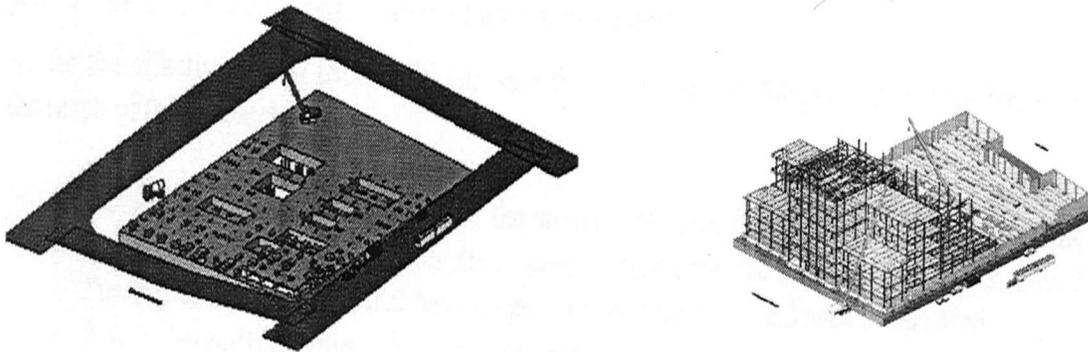
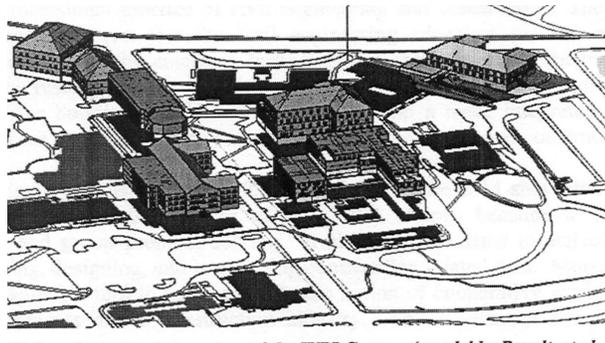


Figura 4.- Seguimiento de la construcción del nuevo edificio de la Corte de Justicia del Condado de Worcester, Massachussets. Una tesis de doctorado y una de maestría de Hala Mokbel y Mohamed Aboulezz., respectivamente. (2006)

## 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 resalto 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

- Baeza, Julio, Salazar Ledesma, Guillermo (2005), "Integración de proyectos utilizando el modelo integrado para la construcción", Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería.
- Fox, C. and Balding, J., (2006) "Introducing and implementing Autodesk Revit® Building", Thomson Delmar Learning, NY.
- Ronald O. Mendez (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.
- Wiezel, 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.

