



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**IMPLEMENTACION BIM EN LA ACADEMIA
PARA INGENIERIA CIVIL**

Autor
CARLOS ADOLFO ZAPATA MOLINA

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020



IMPLEMENTACIÓN BIM EN LA ACADEMIA PARA INGENIERIA CIVIL

Carlos Adolfo Zapata Molina

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
INGENIERO CIVIL

Asesores.

Juan Carlos Vélez Cadavid

Profesor de cátedra y Coordinador de la Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras
Universidad de Antioquia

Fabio Eduardo Fonnegra Tobón

Ingeniero Civil

ALDAFE SAS

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020

Resumen

Bulding Information Managment (BIM) es la respuesta de la industria de la construcción a la revolución industrial 4.0. En este trabajo se realiza una revisión bibliográfica para determinar las dificultades de implementación del BIM, las competencias básicas y las universidades que ya están modificando la estructura de sus planes de estudio en carreras afines a la industria AEC (Architecture, engineering and construction), esto con el fin de justificar y solicitar a la facultad de ingeniería de la Universidad de Antioquia una reestructuración del pensum de la carrera de ingeniería civil.

Introducción

La industria de la construcción es una de las más importantes del mundo en Europa genera alrededor de 18 millones de trabajos y 3.1 millones de empresas (CEN European Committee for Standardization, 2019) En Colombia vivimos bajo una cultura en la que es normal que se atrasen las obras lo que siempre termina traduciéndose en sobrecostos. El mayor problema de los retrasos se debe a problemas con la información de la obra.

ALDAFE S.A.S. es una empresa que actualmente se dedica a la elaboración de diseños arquitectónicos, estructurales y asesorías jurídicas. En esta empresa se realizó una practica académica en el apoyo en la elaboración de un plan implementación BIM para proyectos de edificación. El componente de investigación de esta práctica busca justificar la implementación de competencias BIM en la formación de los futuros ingenieros civiles de la Universidad de Antioquia para reducir la brecha entre educación e industria. En este documento se relatan algunas de las implicaciones de la aplicación de BIM en la industria y se plantea la metodología de investigación. Más abajo se hace un resumen de los principales temas encontrados en la revisión, se realiza una guía para la implementación BIM en la fase de diseño de un proyecto y termina las conclusiones redactadas a partir de esta investigación y a la experiencia recibida durante la práctica.

Tabla de contenido

1. Objetivos.....	5
1.1. Objetivo general	
1.2. Objetivos específicos	
2. Marco Teórico.....	6
3. Metodología.....	8
3.1. Revisión bibliográfica	
3.2. Análisis de los datos	
3.3. Redacción de Guía de implementación de proyectos piloto con metodología BIM en etapa de planeación y diseño.	
3.3.1. Diagnóstico empresarial	
3.3.2. Organización y evaluación del diagnóstico	
3.3.3. Elaboración de flujo de trabajo optimizado	
3.3.4. Estándares de calidad	
4. RESULTADOS.....	10
4.1. ANALISIS DE BASES DE DATOS	
4.2. BARRERAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM	
4.2.1. EN LA ACADEMIA	
4.2.2. EN LA INDUSTRIA	
4.3. UNIVERSIDADES	
4.4. CASOS DE ÉXITO	
4.5. Estandarización internacional BIM	
4.6. BIM en Colombia	
4.7. Guía para el diseño de proyectos piloto con implementación de la metodología BIM un proyecto de edificación.	
4.7.1. Descripción del proyecto	
4.7.2. Equipo central de colaboradores	
4.7.3. Objetivos generales y particulares del proyecto	
4.7.4. Flujo de trabajo de diseño	
4.7.4.1. Bosquejo arquitectónico inicial.	
4.7.4.2. Modelo 3D Base	
4.7.4.3. Ingeniería de detalle	
4.7.4.4. Documentación	
4.7.5. Modelos planificados	
4.7.6. Revisiones finales	
5. Conclusiones.....	24
6. Referencias Bibliográficas.....	26

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Justificar la inclusión de la metodología BIM dentro de los planes de Ingeniería Civil para eliminar la brecha entre academia e industria. Esto con el fin de educar a los futuros ingenieros civiles en competencias necesarias para el desarrollo sostenible y preciso de proyectos de edificación e infraestructura dentro del gremio de la construcción en Colombia.

1.2. Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica de casos de éxito de la implementación de competencias BIM dentro de los planes de estudio de carreras afines a la industria AEC (Architecture, Engineering and Construction industry) en todo el mundo.
- Identificar las dificultades presentadas en la implementación de la metodología BIM en las carreras afines a la industria AEC.
- Identificar las competencias BIM específicas que requiere la industria de los futuros profesionales de la industria AEC en Colombia.
- Elaborar una guía para estudiantes que indique la adecuada implementación de la metodología BIM dentro de la etapa de planeación y diseño de un proyecto de edificación.

2. Marco Teórico

2.1. ¿Qué es la metodología BIM?

Eastman et al., (2008) definen BIM (Building Information Modeling) como una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de proyectos de construcción. Afirman que su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo tridimensional de información digital, creado por todos los profesionales involucrados en el proyecto. Actualmente esta metodología va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y extendiéndose a lo largo del ciclo de vida del edificio, permitiendo la gestión de este y reduciendo los costes de operación (Vidal, 2015)

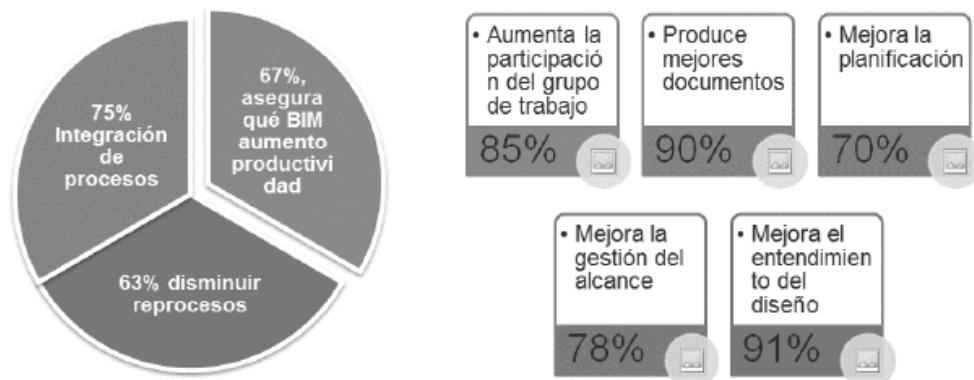
Vera Domínguez, (2016) plantea las dimensiones BIM como se presenta a en la figura 3.1.

Figura 3.1. Dimensiones del BIM. Tomado de Vera Domínguez, (2016)

BIM 3D
<ul style="list-style-type: none">• Permiten a diseñadores y constructores trabajar de forma conjunta para identificar y resolver problemas con la ayuda del modelo antes de identificarlos en obra. Erradica las detecciones tardías de conflictos, las cuales causan retrasos y una toma de decisiones acelerada para llegar cuanto antes a una solución.
BIM 4D
<ul style="list-style-type: none">• Agrega al modelo la dimensión del tiempo. Es decir, se puede asignar a cada elemento una secuencia de construcción lo cual nos permite controlar la dinámica del proyecto y realizar simulaciones de las diferentes fases de construcción, diseñar el plan de ejecución y anticiparnos a posibles dificultades. Aumenta notablemente la productividad y facilita el cumplimiento de plazos previstos.
BIM 5D
<ul style="list-style-type: none">• Abarca el control de costes y la estimación de gastos de un proyecto. De esta forma tendremos más control sobre la información financiera del proyecto, mejoraremos consiguientemente su rentabilidad y facilitaremos el cumplimiento de presupuestos
BIM 6D
<ul style="list-style-type: none">• También nombrada Green BIM, está relacionada con la sostenibilidad del edificio. Esta dimensión nos brinda la oportunidad de conocer cómo será el comportamiento del proyecto antes de que se tomen decisiones importantes y mucho antes de que comience la construcción teniendo en cuenta su situación, orientación, conductividad térmica, entre otros aspectos.
BIM 7D
<ul style="list-style-type: none">• Nombrado como Facility management, es la dimensión empleada para las operaciones de mantenimiento de las instalaciones durante la vida útil de los edificios ya que consiste en un modelo as-built de los mismos. Permite conocer el estado de las instalaciones, dotar de especificaciones para su mantenimiento, de manuales de uso, fechas de garantía.

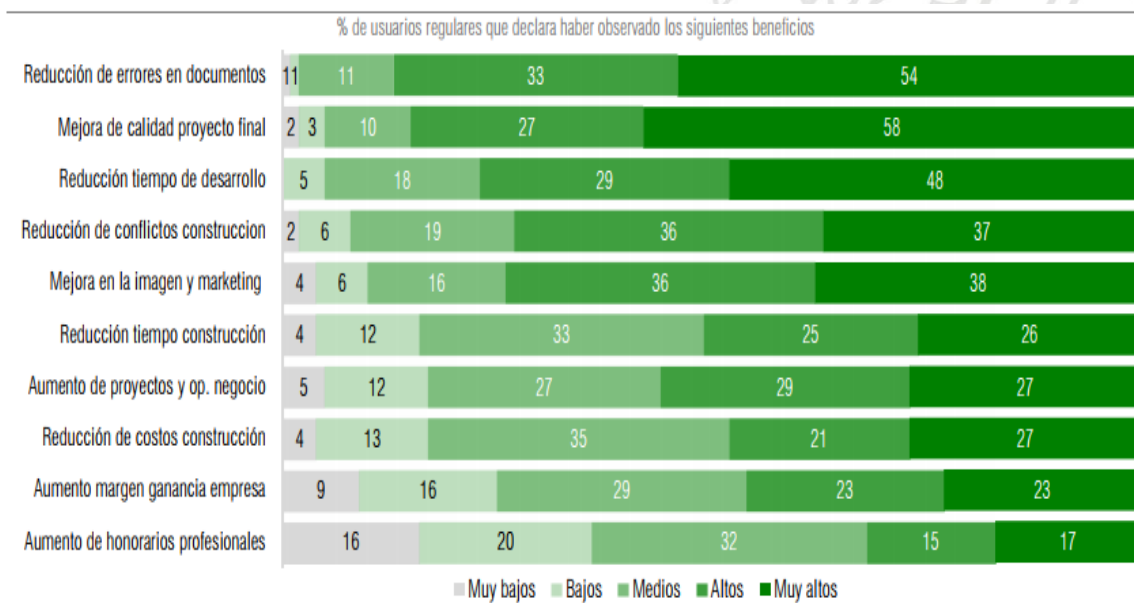
BIM es una metodología que lleva existiendo más una década, pero, aunque no abarque toda la industria se han visto resultados favorables. Botero et al., (2015) presentan un gráfico sobre los beneficios de la implementación BIM en la industria.

Figura 3.2. Beneficios de la implementación BIM. Tomado de Botero et al., (2015)



(Loyola Vergara, 2016) en base a unas encuestas categoriza los beneficios de la implementación de la metodología BIM en Chile.

Figura 3.3. Beneficios de la implementación BIM. Tomado de Loyola Vergara, (2016)



(CEN European Committee for Standardization, 2019) habla de los beneficios de la metodología BIM en su norma de estandarización CEN/TC 442 BIM los cuales se traducen a continuación.

- Armonizar un enfoque estratégico común a nivel europeo para la introducción de BIM en un sector de la construcción altamente fragmentado, al tiempo que incluye activamente a las pequeñas y medianas empresas.
- Permite la adopción generalizada y segura de procesos digitalizados en proyectos de construcción convencionales con una fuerza laboral calificada equipada con las competencias digitales y la capacidad para operar en toda la cadena de valor y en proyectos de diferente tamaño, complejidad y tipo.

- Ayuda y facilita la adaptación a un entorno construido sostenible, uno que respalde los desafíos del cambio climático y la necesidad de una economía circular al mejorar la eficiencia de los recursos de los productos y materiales de construcción.
- Mayor productividad del sector, entregando más instalaciones por el mismo o menor gasto.
- Mejorar la calidad de salida de los activos públicos y mejorar la relación calidad-precio de la inversión del sector público y la prestación de servicios en funcionamiento.
- Mejoras de soporte en trabajo en equipo y colaboración; conduciendo a una más fuerte y digital.

3. Metodología

3.1. Revisión bibliográfica

Se realiza una revisión de artículos científicos referentes a “Building Information Modelling” (BIM) enfocada en los siguientes temas:

- Barreras en la implementación
- Universidades
- Resultados de aplicación
- BIM en Colombia

Para ello se utilizará la base de datos SCOPUS. Se analizarán los artículos publicados en la última década con la ecuación de búsqueda

TITLE-ABS-KEY(bim OR "Building Information Modelling") AND TITLE-ABS-KEY(education OR curriculum OR institution OR teaching OR pedagogy OR students) AND TITLE-ABS-KEY(engineering OR construction) (Zhang et al., 2020)

3.2. Análisis de los datos

A partir de la información recolectada se realiza un resumen donde se definen los parámetros a tener en cuenta para una adecuada implementación de competencias BIM dentro de los planes de estudios de Ingeniería Civil. Estos parámetros son:

- Barreras en la implementación
- Reestructuración de planes de estudios
- ¿Cómo lo implementan las universidades en el Mundo?

3.3. Redacción de Guía de implementación de proyectos piloto con metodología BIM en etapa de planeación y diseño.

Teniendo en cuenta la sonda de Autodesk para planes de implementación, el plan desarrollado en la empresa durante la práctica académica del autor y los conocimientos obtenidos durante la revisión bibliográfica, se desarrolla una guía para el desarrollo de proyectos piloto BIM.

3.3.1. Diagnóstico empresarial

- Este punto comienza por definir el flujo de trabajo actual que emplea la empresa al iniciar un proyecto de edificación, el cual, servirá como base para definir uno nuevo que incluya las herramientas y conocimientos BIM.
- Se hace un inventario de los recursos informáticos que posee la compañía y un análisis de como intervienen cada uno en el flujo de trabajo actual.
- Se hace un análisis del recurso humano disponible en la compañía, haciendo énfasis en su rol en el flujo de trabajo y en su nivel de formación y capacitación.
- Se hace un listado de las herramientas BIM disponible en el mercado, haciendo énfasis en requisitos de sistema y costo de licencias para utilizarlos.

3.3.2. Organización y evaluación del diagnóstico

Se dictan las pautas para organizar y clasificar la información obtenida en el diagnóstico.

3.3.3. Elaboración de flujo de trabajo optimizado

De acuerdo con la información recolectada se dictan los softwares a utilizar, las guías de uso y se definen los equipos de trabajo y la jerarquía dentro de ellos. Generando así un flujo de trabajo completamente BIM.

3.3.4. Estándares de calidad

Se dictan las pautas para que la empresa pueda llevar un análisis de cumplimiento a cabalidad de los objetivos de la implementación BIM.

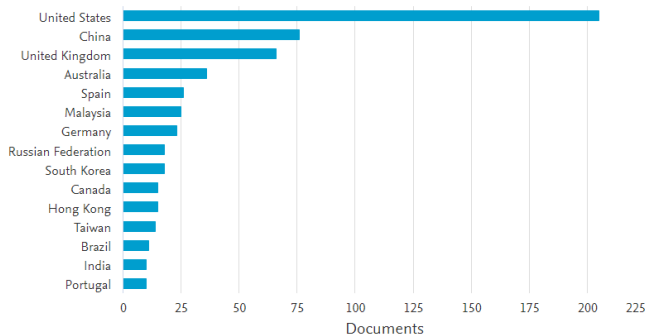
4. RESULTADOS

4.1. ANALISIS DE BASES DE DATOS

Se encontraron un total de 653 artículos. En la Figura 5.1, se puede observar como cada año se incrementan el número de artículos publicados sobre la implementación de la metodología BIM dentro de las carreras de ingeniería. Esto demuestra que la tendencia global es aceptar las competencias BIM como necesarios dentro de la formación de profesionales en ingeniería y construcción.

Fig. 5.2 Publicaciones por país. Fuente SCOPUS

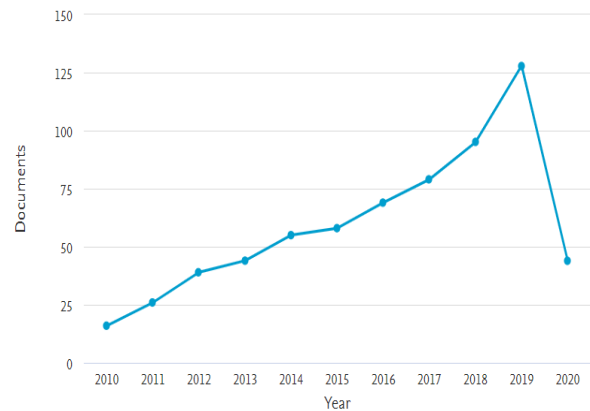
Documents by country or territory
Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



En la figura 5.3 se observan las publicaciones para países latinoamericanos, lidera Brasil con 11 publicaciones, sigue Perú con 5 y al final Colombia y Argentina con 1.

Fig. 5.1 Publicaciones por año. Fuente SCOPUS

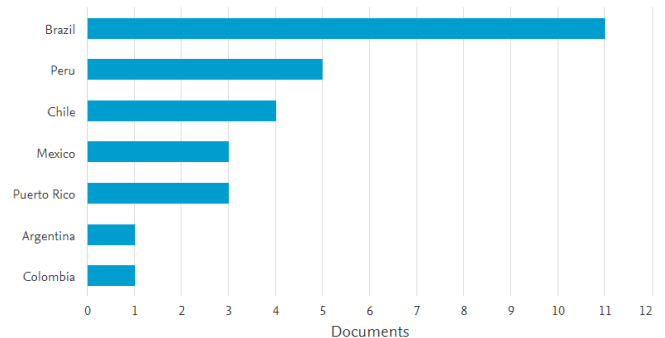
Documents by year



En la Figura 5.2 se observa que el país que lidera en el tema es Estados Unidos con más de 200 publicaciones seguidos por China con 76 publicaciones y Reino Unido con 66 publicaciones

Fig. 5.3. Publicaciones países latinoamericanos. Fuente SCOPUS

Documents by country or territory
Compare the document counts for up to 15 countries/territories.



4.2. BARRERAS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM

4.2.1. EN LA ACADEMIA

En la tabla 5.1 se resumen las barreras que encontraron los autores de los artículos revisados.

Tabla 5.1. Barreras pen la Academia. Fuente propia.

Articulo	País	Dificultades implementación BIM en la academia
(Novakova et al., 2018)	Republica Checa	Pocos profesionales capacitados en Metodología BIM dentro de las universidades
		Pocos estudiantes en las escuelas técnicas de ciencia e ingeniería
(Belayutham et al., 2018)	Malasia	Resistencia a los cambios en las estructuras curriculares
		Espacio insuficiente en currículos para nuevas materias
		Mucha demora en la estructuración de nuevo eje curricular
		Problemas legales
		Estándares de acreditación y requerimientos profesionales
		Resistencia a la adquisición de softwares
		Poco material escrito de carácter académico sobre metodología BIM
(Hatem et al., 2018)	Iraq	Débiles esfuerzos del gobierno para la implementación de BIM
		Escasez de expertos en el campo de BIM
		Débil conocimiento de los beneficios de BIM en la industria
		La fuerte resistencia al cambio, especialmente de los ingenieros de edad avanzada apegados a un software que les es familiar
(Babatunde, 2019)	Nigeria	Falta de infraestructura IT o pobre conectividad a internet
		BIM requiere de muchos recursos
		Falta de dirección del gobierno
		Costo de entrenamiento de los profesores es alto
		La necesidad de actualizar diariamente el software
(Abbas et al., 2016)	Pakistan	Pocos profesionales capacitados en Metodología BIM dentro de las universidades
		Desacuerdos sobre el concepto de BIM
		Falta de manuales BIM o material de entrenamiento

4.2.2. EN LA INDUSTRIA

Han sido muchos los autores los que se han preocupado por analizar las dificultades que se han presentado al momento de adoptar la metodología BIM y sus tecnologías en el mundo. Hatem et al., (2018) en el apéndice 2 de su trabajo, resumen los mayores problemas para la implementación de BIM en la industria encontrados por autores de todo el mundo a través de análisis estadísticos. En la tabla 5.2 se presenta un fragmento del resumen.

Tabla 5.2 Barreras en la Industria. Tomado de Hatem et al., (2018).

Artículo	País	Dificultades implementación BIM en la Industria
H. D. Baba (2010)	Malasia	Dificultades en el aprendizaje del software
		Falta de respaldo legal de las autoridades
		Falta de habilidades y competencias BIM de los operadores de los softwares
		Costo del software
K. Newton and N. Chileshe (2011)	Australia	Pocos conocimientos BIM
		Costo en educación y entrenamiento
		Costo inicial de hardware y softwares
		Cambio en la forma en como firman los negocios
		Dificultades en encontrar personal calificado
R. Lahdou and D. Zetterman (2011)	Suecia	Opiniones personales sobre el BIM
		Fuerte resistencia al cambio
		Falta de profesionales competentes
M. Abubakar, Y.M. Ibrahim, D. Kado, and K. Bala (2014)	Nigeria	Resistencia al cambio (social)
		Necesidad de contratos BIM
		Costos de entrenamiento
S. M. Ahmed, H. H. Emam, and P. Farrell (2014)	Qatar	Escasez de expertos en el campo de BIM
		Necesidad de contratos BIM
		Fuerte resistencia al cambio
		Poca competencia en BIM
R. Stanley, and D. Thurnell (2015)	Nueva Zelanda	Problemas relacionados con la interoperabilidad de los softwares
		Costos de iniciales de implementación muy altos
		Insuficientes estándares BIM
V. Kushwaha (2016)	India	Poca competencia en BIM
		Costo del software
		Los propietarios de las obras piden BIM solo en algunas etapas del proyecto
N. N. O. Armah (2015)	Ghana	Poco conocimiento en BIM
		Problemas relacionados con la interoperabilidad de los softwares
		Costos iniciales de implementación muy altos
		Derechos de propiedad de los modelos
I. Nechaeva (2016)	Rusia	Pocos cuadros calificados de entrenamiento
		Fuerte resistencia al cambio
		Necesidad de contratos BIM

4.3. UNIVERSIDADES

(Xu et al., 2018) Desarrollan la estructura que se debe tener en cuenta para el desarrollo de planes de estudio de las carreras afines a la industria AEC. En su revisión bibliográfica enuncian algunas universidades en el mundo que para la fecha ya estaban introduciendo la metodología BIM en las aulas de clases. Estas universidades y los comentarios se resumen en la tabla 5.3.

Tabla 5.3. Universidades con educación BIM. Fuente propia.

Universidad	País	Comentario
Universidad del Estado de Arizona	Estados Unidos	Enseñan a través de proyectos asesorados directamente con profesionales activos de la industria de la construcción.
Escuela de Ingeniería de la Universidad de Texas	Estados Unidos	2 cursos desde 2004. Le enseñan modelado en Revit, Sketch up, Google Earth, Naviswork, CivilCAD 3d
Universidad de Pensilvania	Estados Unidos	Proyectos colaborativos interdisciplinarios

(Yi & Yun, 2018) Presentan un listado con las universidades con educación BIM hasta la época alrededor del mundo presentada en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 Universidades BIM en el mundo. Tomado de (Yi & Yun, 2018).

Nation	Education	Institution
Australia	11 institutions have shown the greatest uptake of BIM in their undergraduate curricula. Construction Management programs appear to be showing the fastest creation/uptake of BIM education courses. Many technical colleges are providing courses where BIM is incorporated into the syllabus.	Australian Institute of Architects Australasian Procurement and Construction Council Australian Construction Industry Forum Australasian BIM Advisory Board
Canada	buildingSMARTCanada (bSC) and Canada BIM Council(CanBIM) are jointly moving ahead with the implementation of the Canadian BIM Education Strategy.	BuildingSMARTCanada (bSC) Canada BIM Council (CanBIM) Institute for BIM in Canada (IBC)
Finland	Universities and polytechnics provide BIM education. Large companies such as Skanska and Senaatti arrange focused in-house training as required. The Skanska use BIM for 100% of its own production.	National Common BIM (COBIM) buildingSMARTFinland
Singapore	There are 11 Institutes of Higher Learning (IHLs) providing a total of 33 full-time programmes and 20 part-time programmes with BIM curriculum. Third-party BIM software educational vendors were also crucial in training, especially for professionals.	Nanyang Technological University National University of Singapore Institutes of Higher Learning (IHLs) Building and Construction Authority Academy (BCAA)

4.4. CASOS DE ÉXITO

Yi & Yun, (2018), plantean los lineamientos para la implementación BIM en la Universidad Prince Sultan, ubicada en Arabia Saudita, en los planes de estudio de carreras afines de la Industria AEC. Plantean que la enseñanza de las competencias BIM debe tener presente.

1. Conocimiento teórico para entender lo que de verdad significa BIM en la industria AEC
2. Habilidades utilizando los softwares de modelado 3D
3. Cuantificación de cantidades y estimación de costos a partir de un modelo BIM
4. Desarrollo de simulaciones 4D y 5D para manejos de tiempo y costos
5. Detección de interferencias para la calidad de los modelos
6. Desarrollo de análisis energéticos en edificaciones

Xu et al., (2018) Desarrollan los principios sobre los que se deben edificar los currículos para la enseñanza de Gestión de proyectos de ingeniería utilizando herramientas de Simulación visual. El enfoque de estos planes de estudio se basa en la combinación de principios básicos y avanzados de gestión de proyectos con los conocimientos y herramientas de la tecnología computacional. Por lo tanto, los planes de estudio se dividen en 2 partes como se presenta en la Figura 5.1.

El lado izquierdo se refiere a los conceptos de gestión de proyectos, en los cuales, a partir de una simulación visual dinámica (véase Fig. 5.1) se entrena a los futuros profesionales en el control de costos y de programación de proyectos de ingeniería. El lado derecho se refiere al conjunto de habilidades tecnológicas necesarias para el uso de las herramientas BIM. En la figura 5.3 se ilustran las componentes de enseñanza del software.

Prieto-Muriel, (2017) Desarrolla del eje curricular para la implantación de la metodología BIM en las carreras de ingeniería. Define las competencias necesarias para un adecuado desarrollo de la metodología, los resultados de la información con un respectivo análisis estadístico, en la tabla 5.4 se muestra las diferencias entre los cursos antes y después de usar BIM.

Figura 5.1 Estructura plan de estudios de gestión de proyectos BIM con simulación visual. Tomado de Xu et al., (2018)

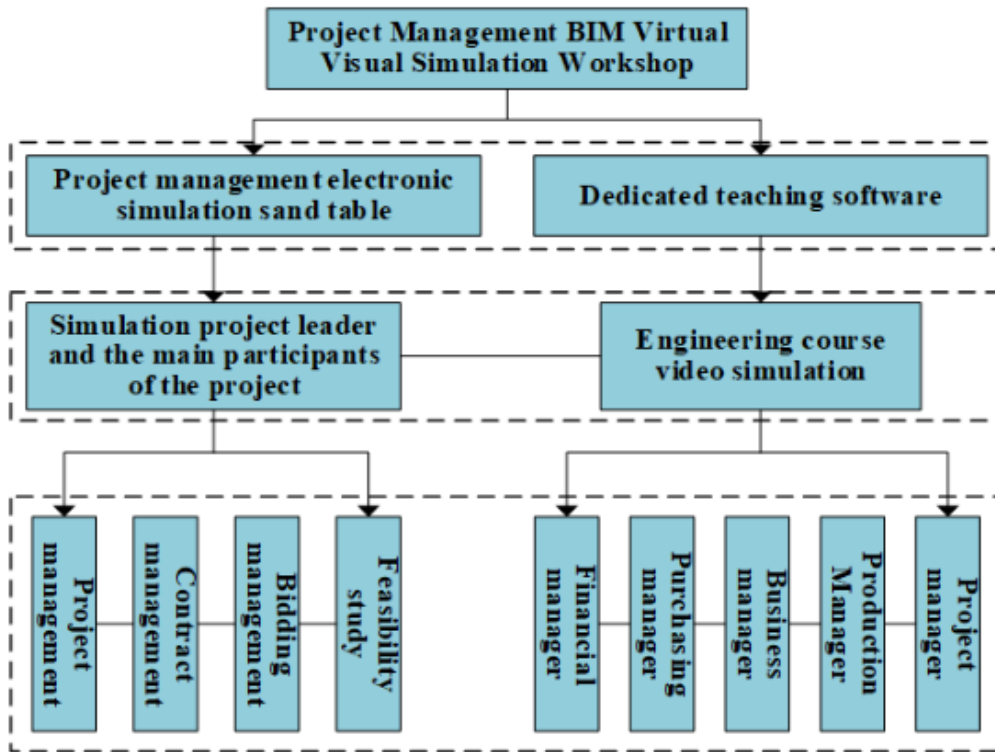


Figura 5.2. Gestión de un proyecto de ingeniería a partir de simulación dinámica. Tomado de Xu et al., (2018)

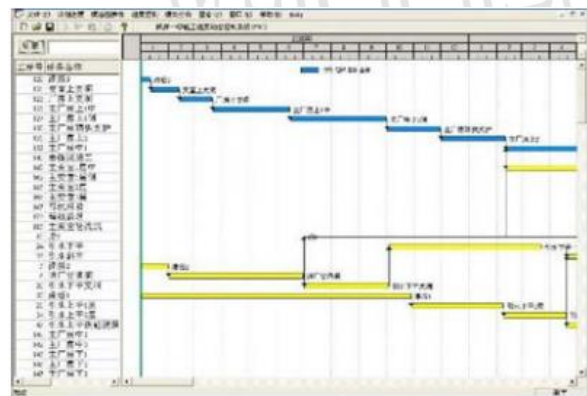


Figura 5.3. Componente de Software en plan de estudio. Tomado de Xu et al., (2018).



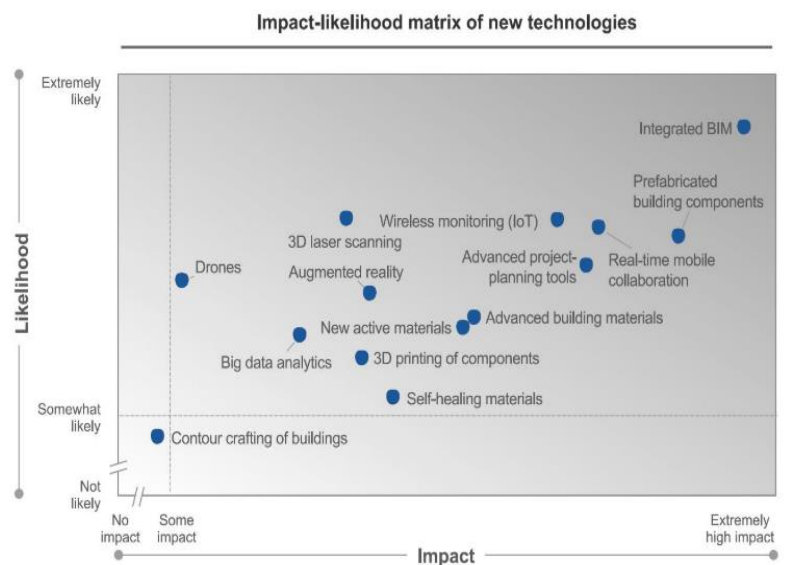
Figura 5.4. Gestión de un proyecto de ingeniería a partir de simulación dinámica. Tomado de Xu et al., (2018)

	ANTES DE USAR BIM	USANDO BIM
Asistencia a clase	Baja a moderada	Moderada a alta
Abandono de la asignatura	Porcentaje elevado	Pequeño tanto por ciento
Actitud en clase: Motivación, Implicación, participación	Pasiva, con poca interacción durante las clases	Mayor interés y actitud positiva en el proceso de aprendizaje.
Comprensión de conceptos técnicos	Se lleva a cabo con gran esfuerzo de abstracción	Facilitada por la visualización que ofrece la tecnología BIM
Nivel de desarrollo de los proyectos	Pocos son los que alcanzan el nivel mínimo exigido	Aunque necesitan mejorar, el porcentaje de proyectos con nivel adecuado ha aumentado
Calidad de la documentación	Errores no detectados, con incongruencias en la documentación presentada	Se ha producido gran disminución en los errores plasmados en los planos
Competencias	Adquisición moderada	Logro de competencias

4.5. Estandarización internacional BIM

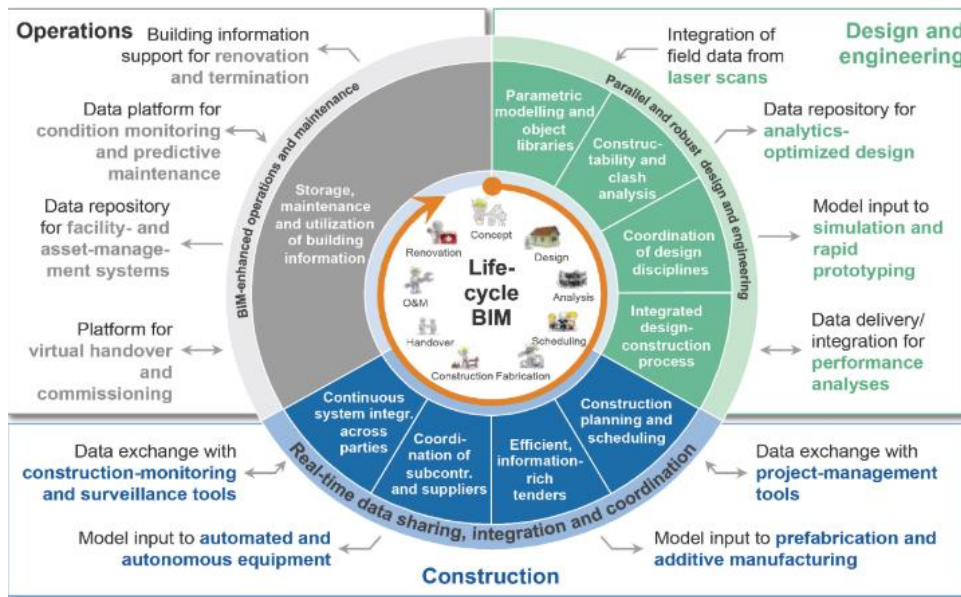
Poljanšek, (2017) realiza un reporte para la Comisión Europea de Ciencia, respecto a los que se ha avanzado en materia de estandarización del BIM. Afirma que la digitalización es el centro de del desarrollo del BIM y presenta en la figura 5.5 los posibles impactos futuros al implementarlo vs la probabilidad de ocurrencia.

Figura 5.5. Impactos tecnológicos y probabilidades. Tomado de Poljanšek, (2017)



En la figura 5.6 explica cómo funciona la metodología BIM dentro de proceso de la ingeniería y la construcción.

Figura 5.6. Aplicaciones BIM dentro del ciclo de vida de un proyecto de edificación. Tomado de Poljanšek, (2017)



En la figura 5.7 presenta el estándar para medir los niveles de madurez de la implementación BIM en 4 niveles. En Colombia actualmente, podemos encontrar en general un nivel 0 de implementación, con excepción de algunas compañías que se encuentran en este momento explorando el nivel 1.

Figura 5.6. Niveles de madurez BIM. Tomado de Poljanšek, (2017)

	Level 0	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4	
Content	Pencil and ink lines and text	Digital lines, text, blocks and symbols in 2D	Simple 3D objects	3D building objects with unspecified information	3D building objects with requirements to objects, properties and ID	Manufacturer's 3D objects & properties for operation / FM
Digitalization	Drawings on transparent paper on a drawing table Paper copies	Drawings made with 2D CAD in a computer Paper copies	Drawings made with 3D CAD/BIM Paper prints	Data hosted in the Common Data Environment (CDE)	Drawings / views from BIM streamed to mobile devices. Limited paper use	Open BIM with all operational information and history streamed to mobile
Interoperability	Drawing on plastic film copy of other disciplines drawings	Work on 2D DWG or DXF background from other disciplines	Work on 3D DWG background from other disciplines	File based sharing of open BIM (IFC), aggregated models	Serverbased sharing of open BIM (IFC), continuous validation of model.	Serverbased communication & issue handling, all issues related to objects in BIM
Collaboration	Coordination in design meetings and onsite meetings	Systematic interdisciplinary controls with digital workflows	3D visualization, visual controls in modeling tools	Systematic model coordination, clash detection, quantity take off	Interface handling in BIM. Advanced simulations. Integrated Project Delivery (IPD)	Model carry all information for construction and operation. Model driven production and assembly

Enterprise BIM →

Figura 5.5. Estándares BIM internacionales publicados. Tomado de Poljanšek, (2017)

Reference	Date	Title
EN ISO 12006-3:2016	2016-10-19	Building construction - Organization of information about construction works - Part 3: Framework for object-oriented information (ISO 12006-3:2007)
EN ISO 19650-2:2018	2018-12-19	Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 2: Delivery phase of the assets (ISO 19650-2:2018)
EN ISO 16739:2016	2016-10-19	Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries (ISO 16739:2013)
EN ISO 29481-1:2017	2017-10-11	Building information models - Information delivery manual - Part 1: Methodology and format (ISO 29481-1:2016)
EN ISO 16757-2:2019	2019-05-29	Data structures for electronic product catalogues for building services - Part 2: Geometry (ISO 16757-2:2016)
EN ISO 29481-2:2016	2016-10-19	Building information models - Information delivery manual - Part 2: Interaction framework (ISO 29481-2:2012)
EN ISO 16757-1:2019	2019-05-29	Data structures for electronic product catalogues for building services - Part 1: Concepts, architecture and model (ISO 16757-1:2015)
EN ISO 19650-1:2018	2018-12-19	Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) - Information management using building information modelling - Part 1: Concepts and principles (ISO 19650-1:2018)

CEN European Committee for Standardization, (2019) presenta en el apéndice B un listado de los estándares internacionales publicados hasta la fecha los cuales se presentan en la tabla 5.5

4.6. BIM en Colombia

La poca información respecto BIM en Colombia indica que la metodología se encuentra aún en una etapa divulgación científica. No se cuentan con cursos que brinden las competencias necesarias para su utilización. Las empresas aún son reacias para implementar BIM debido a su alto costo inicial. Pero se han notado los esfuerzos.

Cerón & Liévano Ramos,(2017) Elaboraron el plan completo de implementación de la metodología BIM en proyectos en las empresas donde laboraban, concluye que una adecuada implementación reduce los costos de diseño y construcción, así como los tiempos de entrega y la calidad de la información.

En 2016 fue creada ASOBIM (Asociación Colombiana de BIM) una fundación sin ánimo de lucro cuyo objetivo consiste en la promoción y la integración de todos los procesos de la industria de la construcción (edificios, activos, redes e infraestructuras) durante todo su ciclo de vida (diseño, construcción, explotación, mantenimiento, demolición) a través de la gestión, el uso y el intercambio coordinado de toda la información asociada a dichos procesos. Lo que pretenden mejorar la eficiencia, productividad y calidad de los productos del sector del diseño y la construcción. Y permitir la difusión de los conocimientos en el uso de la tecnología digital en los procesos incorporados al implementar un sistema BIM. (ASOBIM, 2016)

Cuando se realiza una búsqueda sobre educación BIM en Colombia solo encontramos diplomados o educación continua, dirigida a profesionales. En la tabla 5.5 se ponen algunos de los encontrados.

Figura 5.5. Algunos cursos BIM en Colombia. Fuente propia

Univeridad	Ciudad	Educación
Universidad de Cataluña	Bogota	Diplomado: BIM con revit para arquitectura, ingeniería y afines. 13 semanas. Online. Programa Revit® + Navisworks e INSIGHT 360 + Módulo Twinmotion
Universidad Piloto de Colombia	Bogota	Diplomado: BIM para el desarrollo de proyectos de edificación infraestructuras civiles para optimización de recursos y materiales. Presencial, 120 horas
Universidad Pontifica Bolivarina	Medellín	Diplomado: Metodología BIM: innovación y construcción sostenible. 123 horas
Universidad Pontifica Javeriana	Bogota	Diplomado: Building Information Modelling. 60 horas presencial

4.7. Guía para el diseño de proyectos piloto con implementación de la metodología BIM un proyecto de edificación.

Esta guía fue diseñada a partir de las labores del autor en la práctica académica y del conocimiento obtenido durante la revisión bibliográfica. Actualmente la empresa sigue trabajando en la elaboración del plan para la prueba piloto que abarque desde la planeación hasta la construcción. Este es un fragmento de lo que ha sido la colaboración del autor en este proyecto futurista.

4.7.1. Descripción del proyecto

En este paso, se debe recolectar la información más general del proyecto, el nombre, ubicación, uso una vez construido, topografía si es necesaria y los requerimientos del propietario.

4.7.2. Equipo central de colaboradores

En este paso, se debe elegir los profesionales necesarios para la realización del proyecto. Se propone un equipo mínimamente conformado por:

- 1 delineante de arquitectura
- 1 ingeniero con experiencia en diseño de estructuras de hormigón armado o estructuras metálicas.
- 1 ingeniero con experiencia en caracterización de suelos, diseño de fundaciones y estructuras de contención.
- 1 ingeniero con experiencia en diseño de redes hidrosanitarias.

- 1 ingeniero con experiencia en diseño de redes eléctricas.
- 1 ingeniero con experiencia en diseño de redes de gases.
- 1 coordinador de modelado con conocimientos sistemas de interoperabilidad entre softwares de diseño ingenieril y softwares de modelado.
- 3 auxiliares de ingeniería para el apoyo en la documentación y modelado, serán capacitados en el uso de los softwares de diseño y la interoperabilidad con software de modelado.

4.7.3. Objetivos generales y particulares del proyecto

En este paso se definen los objetivos que particulares y generales del uso de la implementación BIM.

Estos deben ir orientados a la utilización del modelado para lograr un diseño realista, seguro, funcional, sostenible y económico.

4.7.4. Flujo de trabajo de diseño

4.7.4.1. Bosquejo arquitectónico inicial.

Se presenta archivo .DWG con las plantas arquitectónicas diseñadas en base a los lineamientos de curaduría, topografía y los deseos del cliente.

Involucrados: Propietario, Arquitecto.

4.7.4.2. Modelo 3D Base

Modelo 3D realizado en base al bosquejo arquitectónico inicial.

Contiene:

- Niveles y ejes estructurales
- Pilares estructurales
- Muros cerramiento o exteriores
- Muros interiores
- Suelos y vacíos
- Escaleras
- Vigas aéreas
- Nervios de borde en vacíos
- Tabla de cantidades de muros para análisis de carga muerta
- Archivo de exportación para software estructural

Involucrados: Arquitecto, Modelador, Auxiliar.

4.7.4.3. Ingeniería de detalle

4.7.4.3.1. Diseño estructural

Diseño estructural realizado en base a normas de diseño.

Contiene:

- Análisis estructural (análisis estático y dinámico usando Software de análisis estructural)
- Diseño de elementos (Diseño de ETABS y comparación requerimientos normativos de forma manual)
- Diseño de fundaciones
- Verificaciones finales
- Diseño de elementos no estructurales
- Redacción de memorias de cálculo.
- Archivo de exportación para software de modelado 3D

Involucrados: Ingeniero estructural y auxiliar de ingeniería.

4.7.4.3.2. Diseño Geotécnico

Diseño geotécnico basado en el análisis estructural del literal 3.1, estudios de suelos, normas de diseño y teorías de la mecánica de suelos.

Contiene:

- Análisis de carga
- Análisis de propiedades del suelo
- Cálculo de la capacidad portante
- Dimensionamiento de la cimentación
- Cálculo de asentamientos
- Redacción de recomendaciones geotécnicas

Involucrados: Ingeniero geotécnico y auxiliar de ingeniería.

4.7.4.3.3. Diseño de redes

Se realiza por medio de contratistas los cuales realizarán el diseño de redes hidrosanitarias, eléctricas y de gases. Los contratistas se deben comprometer a entregar la información de manera oportuna necesario para el modelado 3D y estar en disposición para resolver dudas en aras de no entorpecer el desarrollo del proyecto.

Involucrados: Ingeniero eléctrico, hidrosanitario y de gases, modelador.

4.7.4.4. Documentación

4.7.4.4.1. Modelo Arquitectónico

Elaboración del modelo arquitectónico 3D final acorde a los lineamientos del archivo final de exportación mencionado en el numeral 3.

Contiene:

- Modelado arquitectónico sobre estructura final exportada
- Plantas arquitectónicas
- Alzados y cortes
- Cuadro de áreas
- Notas de curaduría y detalles
- Organización de planos e impresión

Involucrados: Arquitecto, Auxiliar de ingeniería, modelador.

4.7.4.4.2. Modelo Estructural

Elaboración del modelo estructural 3D

Contiene:

- Modelado de las fundaciones
- Modelado refuerzo de la estructura
- Detalles estructurales.
- Organización de planos e impresión.

Involucrados: Ingeniero estructural, Ingeniero geotécnico, auxiliares, modelador.

4.7.4.4.3. Diseño de Redes

Se realiza el modelo 3D y planos de acuerdo a los modelos de los literales 4.1 y 4.2 y a la información suministrada por los contratistas mencionados en el literal 3.3.

Involucrados: Ingeniero eléctrico, hidrosanitario y de gases, modelador.

4.7.5. Modelos planificados

Se gestionarán los diferentes modelos que serán creados para la realización del proyecto. Se proponen los siguientes modelos.

4.7.5.1. Modelo de coordinación:

Contiene los componentes arquitectónicos, estructurales y de MEP (redes) del proyecto. Realizado en Autodesk Revit. Solo tiene acceso y permiso para editar el Coordinador de modelado.

4.7.5.2. Modelo de ingeniería civil

Contiene los componentes estructurales tales como plantas, cimentaciones, despieces con información de traslapes y cortes de barras para estructuras de hormigón, despieces de perfiles y conexiones en estructuras metálicas. Realizado en Autodesk Revit a partir de archivo .EXR generado desde ETABS. Solo tiene acceso y permiso para editar el auxiliar de ingeniería asignado a la estructura y el coordinador de modelado.

4.7.5.3. Modelo arquitectónico

Contiene los componentes arquitectónicos y los requerimientos urbanísticos y de viviendas exigidas por las curadurías. Realizado en Autodesk Revit. Solo tiene acceso y permiso para editar el Coordinador de modelado y el auxiliar asignado a la arquitectura.

4.7.5.4. Modelo MEP (Redes)

Contiene los componentes de las redes eléctricas, hidrosanitarias, y de gases. Realizado en Autodesk Revit. Solo tiene acceso y permiso para editar el Coordinador de modelado y el auxiliar asignado a las redes.

4.7.6. Revisiones finales

Se somete el proyecto a las siguientes revisiones

1. Verificación de interferencias entre las diferentes componentes del diseño a través de herramientas BIM como NavisWork. De existir se realizarán reuniones entre el equipo de colaboradores principal y realizar los cambios pertinentes.
2. Aprobación final del cliente.
3. Revisión de la documentación por parte de las entidades locales (curadurías).

5. Discusión y Conclusiones

El crecimiento que ha experimentado la cantidad de material científico en el tema "Implementación BIM en la Academia" (Fig. 5.1) permite pensar que las universidades de todo el mundo ya se están planteando a resolver los retos que trae la revolución 4.0 dentro de la industria de construcción, redundando esfuerzo incluir las competencias BIM en los planes de estudio. El mayor país en número de publicaciones es Estados Unidos, seguido por China y Reino Unido (Fig 5.2). En contraste han sido pocos los estudios implementados en Latinoamérica (Fig. 5.3) puede ser debido a que la implementación de metodología BIM está en una etapa de divulgación, solo existen unas pocas empresas pioneras y por tanto la academia no se ha interesado por capacitar a los futuros ingenieros dejando la ingeniería civil colombiana en una abismal desventaja frente al resto del mundo.

Se puede evidenciar que los principales problemas para la implementación del BIM dentro de la academia obedecen a la falta de personal calificado en y al alto costo tecnológico inicial debido al alto precio de las licencias del software. La resistencia al cambio de los encargados de formular y gestionar los planes de estudio de las escuelas de ingeniería es otra de las barreras en común cuando se empieza a introducir BIM dentro de las universidades. De BIM 3D y 4D se habla desde hace más de una década, pero en lugares como en la Universidad de Antioquia, en carreras de ingeniería Civil, solo se presenta una breve introducción al AutoCAD (BIM 2D) aunque se debe resaltar el trabajo que han iniciado con los softwares GIS pero esto aún nos posiciona a años luz de las demandas actuales de la industria. Otra componente importante del BIM es el trabajo colaborativo, pero los cursos de diseño de la U de A aún se apegan a un modelo de enseñanza en cual el diseño es un proceso aislado e independiente y en ocasiones fuera de contexto, con la obligación de la realización de innecesarios e interminables cálculos que pueden ser fácilmente reducidos por conocimientos básicos en sistemas de análisis de datos o software de diseño.

Los autores revisados concuerdan en que el plan de estudios de carreras afines a la industria AEC, debe contener un fuerte entrenamiento teórico respecto al concepto de BIM y todo lo que involucra, además de un fuerte entrenamiento en el manejo de softwares de cálculo y modelado. Una vez alcanzadas estas competencias es necesario aplicarlos de manera práctica y realista, aquí es donde proponen la realización de proyectos interdisciplinarios, en el cual no solo están involucrados ingenieros civiles, sino además ingenieros sanitarios, eléctricos, ambientales, arquitectos, mecánicos y todos aquellos que intervienen para el diseño. En cuanto a la administración de proyectos de ingeniería, proponen simulaciones 4D para realizar la gestión

de la obra en la cual un equipo interdisciplinario de estudiantes tendrá a cargo la construcción de un proyecto en una simulación virtual, aplicación muy similar a los simuladores de vuelo de las aeronáuticas. Los conocimientos necesarios para el ejercicio de la ingeniería dependen mucho del “criterio del ingeniero” el cual solo se toma a partir de la experiencia. La realidad virtual y la capacidad computacional nos permite crear entornos virtuales con un nivel de detalle impensable hace 20 años. Es momento que los estudiantes empiecen a aprender a partir de proyectos reales recreados virtualmente, donde deban asumir los retos (naturales, económicos y sociales) que se encuentran en la práctica profesional y que son los que al final terminan formando el criterio. Imaginen un curso de construcción de vías que se enfoque en la gestión de la obra, en el cual los estudiantes se deban enfrentar a la construcción de un tramo de la autopista Medellín - Bogotá, realizando una simulación día a día del progreso de la construcción, ahora imaginen que dentro de la simulación se introduce un derrumbe que tapona y destruya la vía, o se introduce un paro camionero que retrase la entrega de materiales, los estudiantes deberían enfrentarse al reto, analizar las causas y el impacto en la programación y llevar seguimiento de las soluciones.

La aplicación de la guía para implementación BIM en la etapa de diseño dentro de la empresa donde el autor realizó su práctica académica, ha demostrado que el uso de las herramientas tecnológicas y la aplicación de un trabajo colaborativo (donde la arquitectura, estructura, redes hacen parte del mismo equipo interno, y en donde cada uno es consciente de que su diseño está restringido a los requerimientos de los otros estamentos) ha hecho que un proyecto de edificación, que por el proceso tradicional demoraba de 2 meses, ahora se realice de 20 a 15 días. Se concluye que conforme avancemos hacia el futuro y el BIM se generalice, la industria va exigir del profesional, que sean capaces de realizar estas reformas organizacionales (BIM no es solo implementar un Software, es cambiar todo un modelo organizativo de la empresa) de manera eficiente.

6. Referencias Bibliográficas

- Abbas, A., Din, Z. U., & Farooqui, R. (2016). Integration of BIM in construction management education : an overview of Pakistani Engineering universities. *Procedia Engineering*, 145, 151–157. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.034>
- Babatunde, S. O. (2019). *Barriers to the incorporation of BIM into quantity surveying undergraduate curriculum in the Nigerian universities*. 17(3), 629–648. <https://doi.org/10.1108/JEDT-10-2018-0181>
- Belayutham, S., Zabidin, N. S., & Ibrahim, C. K. I. C. (2018). Dynamic representation of barriers for adopting building information modelling in Malaysian tertiary education. *Construction Economics and Building*, 18(4), 24–44. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v18i4.6228>
- Botero, L. F., Isaza Pulido, J. A., & Vasquez Hernandez, A. (2015). ESTADO DE LA PRÁCTICA DEL BIM - COLOMBIA 2015. In *SIBRAGEC ELAGEC*.
- CEN European Committee for Standardization. (2019). *Business Plan CEN/TC 442 BIM*. 1–19. https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:7:0:::FSP_ORG_ID:1991542&cs=16AAC0F2C377A541DCA571910561FC17F
- Cerón, I. A., & Liévano Ramos, D. A. (2017). Plan de implementación de metodología BIM en el ciclo de vida en un proyecto. *Universidad Católica de Colombia*, 551035, 61. <http://www.math.buffalo.edu/mad/Ancient-Africa/lebombo.html>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors* (1st ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Hatem, W. A., Abd, A. M., & Abbas, N. N. (2018). Barriers of adoption building information modeling (BIM) in construction projects of Iraq. *Engineering Journal*, 22(2), 59–81. <https://doi.org/10.4186/ej.2018.22.2.59>
- Loyola Vergara, M. (2016). *Encuesta Nacional BIM 2016: Informe de Resultados*. June, 1–13. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14590.79687>
- Novakova, V., Ahmed, S., & Vitasek, S. (2018). Problems of technical education and lack of students at czech technical universities. *Engineering for Rural Development*, 17, 635–639. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N295>
- Poljanšek, M. (2017). Building Information Modelling (BIM) standardization. *JRC Technical Reports, January 2018*, 1–18. <https://doi.org/10.2760/36471>
- Prieto-Muriel, A. P. (2017). *Implantación de la Tecnología BIM en la asignatura Proyectos de los Grados de la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Extremadura*. *Competencias Genéricas*. 383.
- Vera Domínguez, S. (2016). *Modelo BIM como base de datos para el ejercicio del Facilities Management*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/88160>
- Vidal, S. (2015). *Aplicación de la técnica de línea de avances y análisis de riesgos a un proyecto de edificación en el entorno BIM*. 134.
- Xu, J., Li, B. K., & Luo, S. M. (2018). Practice and exploration on teaching reform of engineering project management course in universities based on bim simulation technology. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(5), 1827–1835. <https://doi.org/10.29333/ejmste/85417>
- Yi, T., & Yun, S. (2018). BIM (Building Information Modeling) Education Program in KSA: A Case Study of BIM program at Prince Sultan University. *E3S Web of Conferences*, 65. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186504004>
- Zhang, X., Jin, R., & Yang, T. (2020). *Review of BIM Adoption in the Higher Education of AEC Disciplines*. July. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.2643-9115.0000018](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.2643-9115.0000018)