

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/317690114>

ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS BIM COMO ESTRATEGIA PARA MINIMIZAR RIESGOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA

Research · June 2017

DOI: 10.13140/RG.2.2.21330.96967

CITATIONS

0

READS

3,762

1 author:



Edgar Laguna

Università degli Studi della Basilicata

10 PUBLICATIONS 5 CITATIONS

SEE PROFILE

**ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS BIM COMO ESTRATEGIA PARA
MINIMIZAR RIESGOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA**

EDGAR MANUEL LAGUNA PARRA

BERNARDO MIGUEL TORRENTE ROMERO



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE POSTGRADO

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

CARTAGENA DE INDIAS

AGOSTO- 2015

**ANÁLISIS DE LAS HERRAMIENTAS BIM COMO ESTRATEGIA PARA
MINIMIZAR RIESGOS EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA**

Autores:

**EDGAR MANUEL LAGUNA PARRA
BERNARDO MIGUEL TORRENTE ROMERO**

**Monografía para optar al título de Especialista en Gerencia de Proyectos de
Construcción.**

Grupo de Investigación ESCOPANT

Línea de Investigación: Gerencia de Proyectos

Director:

Ing. RAFAEL MADRID



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE POSTGRADO

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

CARTAGENA DE INDIAS

AGOSTO-2015



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	6
ABSTRACT	7
1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE.....	9
1.1 NIVEL INTERNACIONAL.....	9
1.2 NIVEL NACIONAL.....	11
1.3 NIVEL LOCAL	13
2. RIESGOS EN LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN.....	14
2.1. RIESGO.	14
2.2. GESTIÓN DEL RIESGO	15
3. BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM).....	17
3.1 VENTAJAS DE BIM	18
3.2 LIMITACIONES DE BIM.	19
3.3. RIESGOS DE BIM.	20
4. ESTUDIOS DE CASO.....	21
4.1. ESTUDIO DE CASO 1: IMPLEMENTACIÓN DE BIM EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN PEORIA, ARIZONA.	21
4.2. ESTUDIO DE CASO 2: CONSTRUCCIÓN DE RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS EN LA UNIVERSIDAD DEL ESTADO DE FRAMINGHAM- ESTADOS UNIDOS.	24
4.3 ESTUDIO DE CASO 3: MODELADO BIM 3D Y 4D EDIFICIO UNIVERSIDAD DEL PACIFICO EN LIMA- PERÚ.	29
4.4 ESTUDIO DE CASO 4: EDIFICIO SIESA EN BOGOTÁ, COLOMBIA.	37
4.5. ESTUDIO DE CASO 5: PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO DE APARTAMENTOS EN MEDELLÍN.	39
5. ANÁLISIS CRÍTICO.....	42
6. CONCLUSIONES	46
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48



LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Metodología para identificación evaluación de riesgos	16
Ilustración 2. Planta de Tratamiento de Aguas en Peoria, Arizona	21
Ilustración 3. Modelado en 3D del proceso de instalación de tuberías y sistemas de membranas de la Planta de Tratamiento de Aguas en Peoria, Arizona.	23
Ilustración 4. Vista aérea Del modelado 3D del Proyecto de habitaciones de la Universidad.	25
Ilustración 5. Modelo de ductos del Proyecto en BIM.	26
Ilustración 6. Interferencia de ductos halladas en el modelo 3D de la edificación.	28
Ilustración 7. Fachada Edificio Universidad del Pacífico, Perú	29
Ilustración 8. Vista desde el interior del auditorio.....	29
Ilustración 9. Vista 3D de los cinco niveles del edificio.	30
Ilustración 10 Vista 3D del auditorio.	30
Ilustración 11. Esquema de detección y solución de interferencias e incompatibilidades usando modelos BIM.	31
Ilustración 12. Para la simulación BIM-4D, se requiere la programación de obra y el modelo 3D.	31
Ilustración 13. Sectorización en planta del vaciado de sótanos del proyecto	32
Ilustración 14. Tareas de la programación de obra modificada. Cada una de éstas corresponde a procesos constructivos y están asociados a objetos 3D del modelo BIM.	33
Ilustración 15. Simulación BIM-4D del proceso constructivo de la estructura del proyecto.	34
Ilustración 16. Modelado Edificio SIESA.....	37
Ilustración 17. Modelación de estructura metálica del proyecto	38
Ilustración 18. Modelación Edificio en Revit.....	38
Ilustración 19. Modelo BIM de la Cimentación del proyecto.	41



LISTA DE GRÁFICOS.

Gráfico 1. Proceso para la gestión de riesgos.	14
Gráfico 2. Riesgos en proyectos de construcción.	15
Gráfico 3. Contras de la tecnología BIM.	19



RESUMEN

Como resultado del gran avance tecnológico que disfrutamos a la fecha, se ha hecho necesario que las diferentes ramas interdisciplinarias del conocimiento busquen la metodología como aplicar dichos avances a sus áreas afines.

Las herramientas para construcción de modelos paramétricos, del inglés Building Information Modelling (BIM), se han ido propagando en el sector de la construcción a nivel mundial. Como plus a sus muchos beneficios, se presenta como una buena metodología para la gestión de riesgos en los proyectos de construcción.

En Colombia aun es limitada la implementación de estas herramientas para la gestión de riesgos en los proyectos de construcción, pero cada vez aumenta el número de empresas del sector que se interesan en innovar sus metodologías buscando minimizar los riesgos y maximizar las utilidades.

El objetivo de este documento es mostrar los beneficios que obtienen los proyectos durante todo su ciclo de vida cuando son controlados con las herramientas BIM desde su etapa de planeación, y principalmente presentar las herramientas BIM como una opción para la gestión de riesgos en proyectos de construcción. Como base para esta investigación se tomaron proyectos nacionales e internacionales en donde se utilizaron las herramientas BIM para su ejecución, logrando una considerable reducción en los efectos negativos causados por la materialización de riesgos.



ABSTRACT

As a result of the technologic advances nowadays, interdisciplinary collaborations are needed to develop methodologies to use such advances on their related areas. Building Information Modeling (BIM) has been extended on the construction business worldwide. In addition, BIM provides project managers with an efficient methodology to control risks in construction projects.

In Colombia the use of these tools are not well known in risk management of construction projects. However, the number of companies interested on BIMs increases gradually. They seek to apply techniques to minimize risks and maximize incomes.

The objective of this study is to present the potentially achievable benefits of construction projects during their lifetime when they follow the BIM guidelines since the planning phase. The conducted work highlights BIMs as a convenient alternative to manage risks in construction projects. This study analyzes the risk management strategy of national and international projects that used BIMs. Such projects accomplished important reduction of negative effects of risk materialization due to BIMs.



INTRODUCCIÓN

Los altos estándares de calidad requeridos por los clientes y la alta competitividad de las diversas empresas del sector de la construcción, han incentivado que estas den un paso adelante en innovación de metodologías para la planeación, ejecución y control de sus proyectos.

En este sentido, las herramientas de construcción de modelos paramétricos (BIM) han permitido a los profesionales y empresarios del sector de la construcción trascender de los diseños en dos dimensiones (2D), a los modelos paramétricos en tres y hasta cuatro dimensiones (3D y 4D), a través de diversos programas que permiten la interacción de todos los componentes de un proyecto en un mismo modelo, brindando la posibilidad de eliminar interferencias, realizar modificaciones desde cualquier parte del mundo.

Contrario al gran impacto que están generando las BIM a nivel mundial, en Colombia aun es limitada su aplicación en proyectos de construcción, y la enseñanza y aprendizaje del manejo de estas herramientas no es común. Contrario a lo realizado por gobiernos de los países europeos, el gobierno colombiano no ha brindado los incentivos necesarios para que las compañías constructoras y las instituciones de educación superior implementen programas de aprendizaje de tecnologías BIM.

La línea de investigación de esta investigación es la Gerencia de Proyectos, apoyada en el grupo de investigación ESCONPAT, perteneciente a la Universidad de Cartagena y está enfocada en el programa tecnología para la Gerencia, lo cual permitirá realizar nuevos aportes al área y ser una base investigativa para estudios más profundos posteriores a este.



1. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

1.1 NIVEL INTERNACIONAL

A nivel internacional, se han analizado los beneficios que ha tenido la tecnología BIM en los proyectos de construcción, prueba de ello son las múltiples publicaciones que hay respecto al tema y su aporte como herramienta para mitigar riesgos, a continuación se presentan algunos casos puntuales de publicaciones en revistas investigativas a nivel global:

- ***El impacto de BIM en la gestión de riesgos como un argumento para la implementación en una empresa de construcción:*** En esta publicación se examinó el impacto de implementar Building Information Modeling (BIM) en el mercado de la construcción. Durante la investigación se observó que cuando las compañías de construcción no hacen uso de esta tecnología, a menudo se conlleva a superar todos los obstáculos encontrados durante el camino. Se destaca que uno de los más importantes beneficios de BIM es el impacto en la gestión de riesgos. El objetivo de este trabajo fue investigar la importancia de la gestión de riesgos y su relación con Building Information Modeling como argumento para la implementación de la misma en una empresa de construcción, lo cual llevó a concluir que el análisis de riesgos y sus conexiones mediante el uso de BIM, permite crear argumentos que sustentan a esta tecnología como una gran herramienta a la hora de mitigar riesgos en la construcción (Tomek & Matejka, The Impact Of BIM on risk management as an argument for its implementation in a construction company, 2014).

De acuerdo a las conclusiones de la investigación anterior, se puede destacar además la competitividad que desarrollaría una empresa que integre el sistema BIM en su fase de planeación de proyectos, específicamente en la gestión de riesgos, frente a una compañía que no la use, evidenciado en tomas de decisiones antes de la ejecución y coordinando una buena fase constructiva de la misma, lo cual para el caso de empresas de construcción colombianas sería de gran utilidad, teniendo en cuenta la complejidad



de los nuevos proyectos de construcción (Garcia Reyes, Echeverry Campos, & Mesa Hernandez, 2013).

- ***La evaluación de riesgos utilizando el Algoritmo de Recocido Simulado (SA) y Building Information Modeling (BIM):*** En esta publicación se partió basado en la incertidumbre que se genera a la hora de construir túneles enfocados a las condiciones del terreno, a menudo causando sobrecostos y retrasos en el programa. Para mitigar estos riesgos, los directores del proyecto deben predecir variando las condiciones del terreno con base en la información relativa a las condiciones del terreno adquirido antes de la construcción (es decir, investigaciones, estudios de perforación y geofísicos). Posteriormente, se debe evaluar los costos de excavación y duración de su proyecto en base a las condiciones del terreno previstas, sin embargo, este es un reto porque en la práctica actual, carecen de un método para incorporar los pasos necesarios en su proceso de evaluación, de una forma estructurada. Para superar esta limitación, se desarrolló una metodología para predecir varios conjuntos de condiciones del terreno utilizando la metodología de recocido simulado (SA), que consiste en un método geo-estadístico, cuyo objetivo general es encontrar una buena aproximación al valor óptimo de una función en un espacio de búsqueda grande (Robustec Anton, 2006), luego se evalúan los costos de excavación y la duración del programa de construcción de túneles a través de Building Information Modeling (BIM). Para la integración de Recocido Simulado y BIM, se modeló el terreno en el software 3D para aceptar varios conjuntos de las condiciones del mismo. Para validar la eficacia de dicha metodología, se puso a prueba el desarrollo de un proyecto de un túnel en Corea y sobre la base de la aplicación, se destaca que la metodología implantada permite evaluar formalmente los riesgos en los costos de excavación y la duración de la construcción del túnel con la información completa acerca de las condiciones del terreno adquirido antes de la construcción (Dong-Woo , Jum In, Sunduck, & Wonho , 2015).

Partiendo del estudio anterior, y teniendo en cuenta el relieve montañoso que se tiene en Colombia, la necesidad de la construcción de vías y los proyectos relacionados con



túneles, la aplicabilidad de la tecnología BIM permitiría un gran avance en la gestión de riesgos relacionados con la excavaciones en túneles, matizando una gran relevancia en la etapa de planeación del proyecto, dada las grandes incertidumbres que se manejan en este tipo de proyectos (Dong-Woo , Jum In, Sunduck, & Wonho , 2015).

- ***Prácticas y Eficacia de BIM en proyectos de Construcción en China:*** Este artículo fue basado en una investigación de 106 proyectos que implicaron el uso Building Information Modeling (BIM), donde se examinó las prácticas actuales del mismo en China, y evaluó cómo sus diversas prácticas alteran su eficacia. Los resultados revelaron que en la práctica actual se emplea principalmente BIM como una herramienta de visualización, y la forma en que se implementa se asocia significativamente con las características del proyecto. El uso de BIM en la mayoría de los proyectos estudiados se ve que tiene resultados positivos, con los beneficios de mejora en eficacia de las tareas, es decir está más encaminado a ser un beneficio más sustancial que eficiente. Los resultados también demuestran que las características del proyecto influyen significativamente en el éxito del uso de dicha tecnología. Por otro lado, se comprobó que las prácticas de BIM actuales implican problemas tecnológicos y organizativos, pero permite conocer como éste podría ser mejor explotado dentro de la industria de la construcción (Dongping, y otros, 2015).

1.2 NIVEL NACIONAL

- ***Aplicación del Modelo Integrado de Desarrollo (BIM) en el Diseño de Proyectos para Oficina Abierta:*** Esta publicación considera los aspectos que posee la industria mobiliaria de Colombia y su constante competencia con multinacionales donde los procesos de especificación y diseño de proyectos son altamente automatizados. Las empresas nacionales del mueble, PYMES en su mayoría, deben implementar sistemas eficientes para el diseño y venta de proyectos de oficina abierta, reemplazando los métodos manuales tradicionales, sin perder el enfoque sobre el



mercado nacional. Las técnicas de Modelo Integrado de Desarrollo (BIM) se han usado para combinar la información geométrica (dimensiones y ubicación) suministrada en un diseño CAD convencional, con la información de costos, la de planeación y la de construcción en proyectos arquitectónicos. La disminución de costes en los sistemas CAD, han permitido que esta metodología de diseño se haya expandido a otras ramas de la construcción e ingeniería. Por lo anterior, en el artículo relacionado se hace una descripción del método BIM y cómo fue implementado en un software (OffiCAD) que acoplado con un sistema CAD comercial, que permite el diseño asistido de proyectos de oficina abierta. OffiCAD integra la información geométrica de diseño realizada en el sistema CAD, con información en base de datos de producto para cotización, visualización de acabados y producción; además de sistemas inteligentes de referenciación, corrección y verificación de errores de diseño (Tristancho , Contreras Bravo, & Vargas Tamayo, 2011).

- ***Realidad virtual en el sector de la construcción:*** Describe los procedimientos y desarrollos realizados para la implementación de ambientes virtuales inmersos basados en modelos paramétricos BIM en proyectos de ingeniería, en un espacio propicio para proyectar e interactuar con imágenes virtuales estereoscópicas y su aplicación para el sector de la construcción en Colombia. En él se presentan los conceptos relevantes requeridos para la apropiación de la tecnología, algunos casos de aplicación en el ámbito internacional, la definición de las características del sistema implementado por la alianza estratégica EAFIT – CIDICO (Medellín, Antioquia) con el objeto de brindarle al sector una herramienta que facilite la toma de decisiones en las etapas de diseño, planeación, ejecución y, en general, en el ciclo de vida de los proyectos de construcción, aplicando metodologías que permitan realizar trabajo colaborativo entre especialidades minimizando los posibles conflictos gracias a la mejora de la visualización de los proyectos, incrementando así la competitividad del sector. (Villegas, 2012).



1.3 NIVEL LOCAL

- ***Impacto de las Tecnologías BIM en la Construcción:*** Este documento tuvo por objeto determinar el impacto generado por la aplicación de las tecnologías BIM en proyectos de construcción, analizando estudios realizados sobre el tema a nivel internacional y experiencias de organizaciones que han utilizado este tipo de herramientas tecnológicas con el fin de demostrar la viabilidad de su implementación en las empresas del sector constructivo en Colombia. Así mismo se dan a conocer antecedentes destacados a nivel mundial y nacional en cuanto a la aplicación de las tecnologías BIM y los resultados obtenidos. También se exponen las debilidades y carencias de información que se tienen en cuanto al tema en el sector de la construcción en Colombia y en la formación académica de las universidades, con el fin de resaltar la importancia y relevancia respecto a esta temática que, debido al constante avance tecnológico es optada como una herramienta primordial en los proyectos de construcción.

En este trabajo se analizaron seis proyectos en donde se implementaron software con tecnología BIM obteniendo resultados tales como mejoras en los diseños, costos, control y calidad en la construcción y mantenimiento de las edificaciones.

Su principal conclusión fue que la buena implementación y utilización de tecnologías BIM impactaría positivamente en los proyectos de construcción que se desarrollen en Colombia resultando en mejor comunicación, tanto de información como de interacción de las personas que conforman el equipo de trabajo; los proyectos no se van a limitar a un sinnúmero de planos con muchas versiones y modificaciones, sino en una base de datos con objetos que contiene información completa de cada uno de ellos; se ahorra tiempo y dinero por causa de re-trabajos, que normalmente se originan por incongruencias en los diseños de las diferentes áreas constructivas, gracias a la detección de interferencias que proporciona el sistema BIM. El éxito de esto depende en gran medida de la comprensión de los modelos que se producen por cada miembro del grupo de trabajo (Amaya & Rhenals, 2014).



2. RIESGOS EN LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

2.1. RIESGO.

El riesgo tiene múltiples formas de materializarse en las diferentes etapas de un proyecto. Se puede definir riesgo como la probabilidad de que ocurra un evento o situación que afecte los objetivos del proyecto, positiva o negativamente (Wang, Dulaimi, & Aguria , 2004).

En algunas ocasiones, los riesgos representan oportunidades positivas para el proyecto, pero el hecho de que estos usualmente generen afectaciones negativas ha incitado a los profesionales a solo considerar el lado negativo de los mismos (Baloi & Price, 2003).

A día de hoy, la gestión de riesgos es parte integral de los proyectos de construcción, en donde una de las actividades más difíciles es la determinación de los riesgos a los que se expone el proyecto, para luego priorizarlos y mitigar su probabilidad de ocurrencia (Anderson, 2009). La gestión de riesgos es el proceso de identificar, evaluar y aplicar métodos para reducir la probabilidad de materialización de estos hasta un límite aceptable (Tohidi, 2011).

En el **gráfico 1**, se puede observar el proceso general utilizado a nivel internacional para la gestión de riesgos en proyectos de construcción.

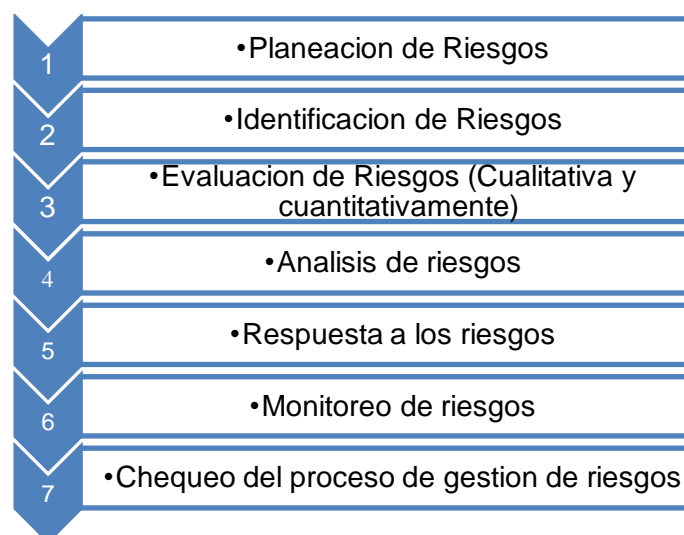


Gráfico 1. Proceso para la gestión de riesgos.
Fuente: (Baloi & Price, 2003)



Los proyectos se pueden dividir en cuatro (4) etapas, y para cada una de estas se pueden materializar diferentes riesgos (algunos repetibles en diferentes etapas). En el gráfico 2; Error! No se encuentra el origen de la referencia. se puede observar a grandes rasgos las etapas de un proyecto y los principales riesgos que en ellas se pueden materializar.

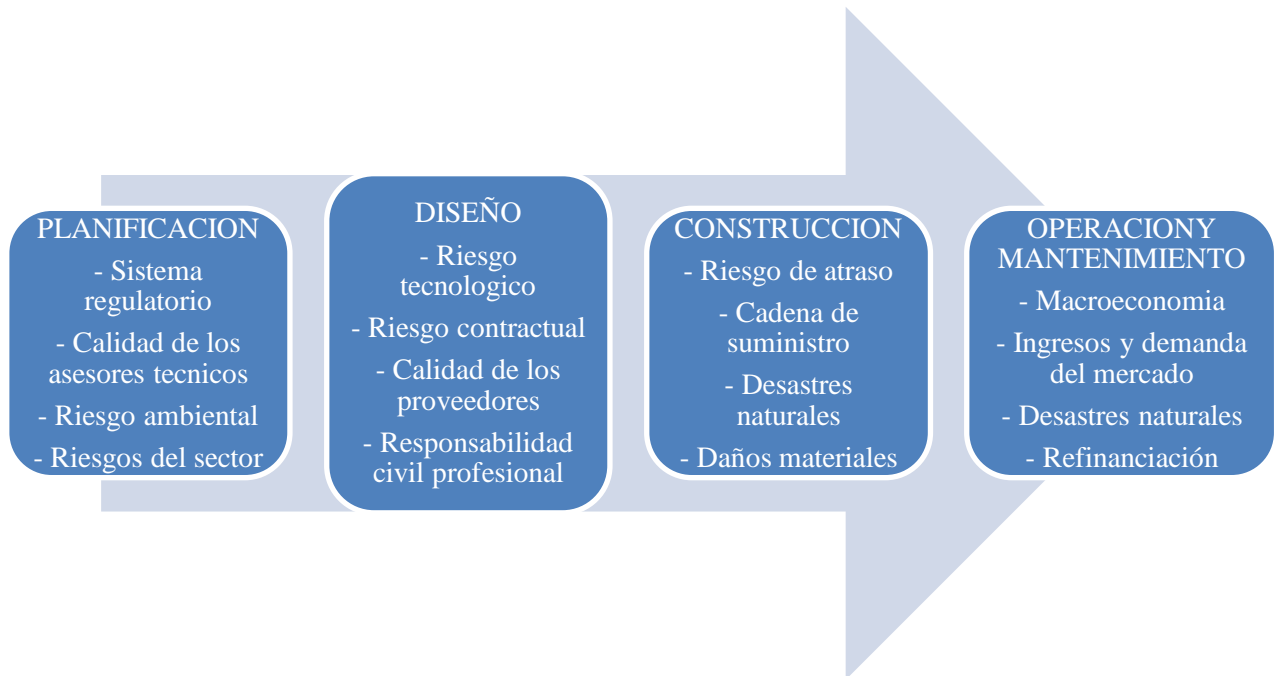


Gráfico 2. Riesgos en proyectos de construcción.

Fuente: (Anderson, 2009).

2.2. GESTIÓN DEL RIESGO

Cada etapa del ciclo de vida de un proyecto está sujeto a riesgos que deben ser tratados adecuadamente para mantener el control y así alcanzar los objetivos del mismo en condiciones óptimas. La gestión de riesgos son un conjunto de actividades dirigidas a analizar, identificar, evaluar, tratar y monitorear los riesgos.

Es posible que se observe el riesgo en dos dimensiones cuantitativas. La primera dimensión es probabilística, relacionándola así con la probabilidad de que ocurra un evento. La segunda



dimensión serían las consecuencias, enfocándose en la severidad con la que impacta la materialización del riesgo en caso de que se materialice. La combinación de estas dos variables resulta en la definición del nivel de riesgos. La matriz de riesgos representa los niveles de todos los riesgos identificados en un diagrama, en donde las dos variables descritas son los ejes de la misma. En el **Ilustración 1** se representan las relaciones básicas de riesgo.

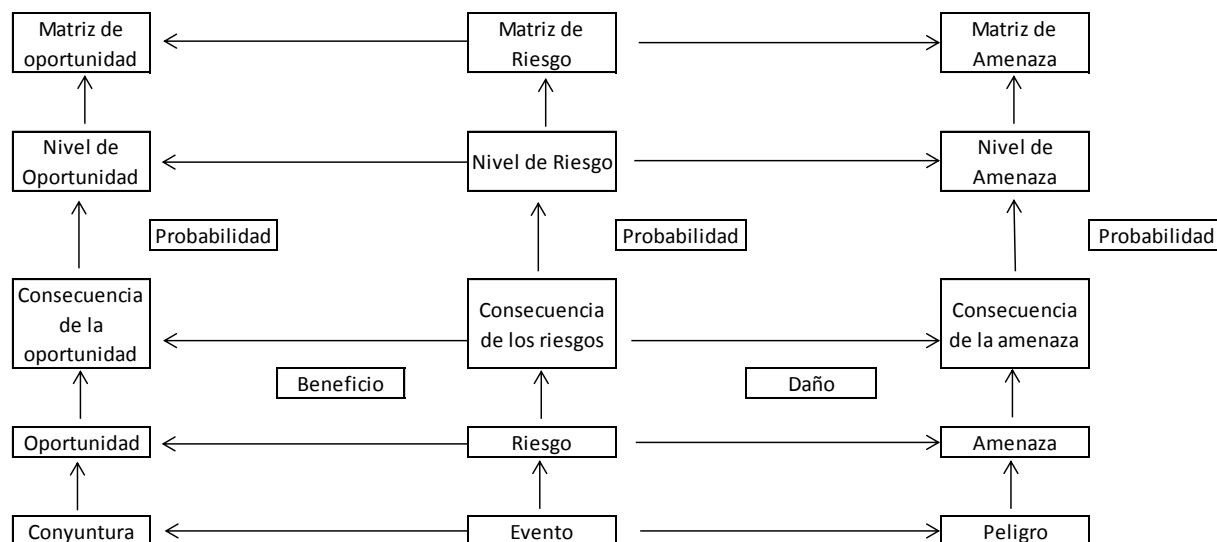


Ilustración 1. Metodología para identificación evaluación de riesgos

Fuente. (Tomek & Matêjka, 2014).



3. BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)

Las herramientas de Construcción de Modelos Informáticos BIM (Building Information Modelling), son un moderno proceso de gestión de la construcción, que permite a los usuarios crear objetos basados en parámetros multidimensionales como herramienta para la gestión de proyectos durante su ciclo de vida. Para esto, son necesarias algunas metodologías y equipos; dentro de este último se encuentra el software (la más importante de todas), maquinaria pesada, máquinas de fabricación, computadoras, tabletas, herramientas de geodesia y visualización y GPS, entre otras. Las metodologías por el contrario representan mayor complejidad al momento de agruparlas o definir las, es decir, son las que definen como se relacionaran las herramientas, la forma como van a interactuar, de modo que puedan ser usadas por los gestores y que a su vez estos puedan interactuar con otras personas. La metodología define el proceso de implementación de las BIM en la compañía (Race, 2012).

En algunas partes del mundo, BIM se ha convertido en herramientas comunes, principalmente por el grado de estandarización de los procesos y el apoyo de los gobiernos, como es el caso de países como Estados Unidos, Singapur y Finlandia. En el caso del Reino Unido, existe un gran apoyo del gobierno apuntando a usar cierto nivel de BIM en todos los proyectos para 2016. Por otro lado, hay otros países del sur y este europeo que están iniciando sus pasos en Building Information Modeling, incentivado principalmente por las propagandas de nuevas tecnologías de las grandes compañías de la industria de la construcción, algunas ya iniciando la implementación de las mismas y otras que lo tienen incluido en sus objetivos a largo plazo. Para las compañías jóvenes, se ha facilitado enfocar su interés en BIM debido a su flexibilidad y entusiasmo. Otro papel importante lo está jugando el gobierno, propiciando un ambiente adecuado para la implementación de BIM, enfocado en la estandarización de los sistemas y la contratación pública (Tomek & Matêjka, 2014).

Las BIM pueden ser usadas durante todo el ciclo de vida de un proyecto; desde la etapa de planeación, diseño, fase de construcción y fase de operación, finalizando con la demolición o renovación, siempre buscando los mejores beneficios para el proyecto (Tomek & Matêjka, 2014).



3.1 VENTAJAS DE BIM

El uso completo de BIM, trae consigo muchos beneficios, los cuales permiten a la industria de la construcción ser más efectiva y sobre todo, más eficiente. Algunos de los beneficios más importantes se destacan a continuación (Fernandez Vidal, 2015):

- Permite que todas las partes implicadas en el proceso entiendan con claridad el diseño conceptual mediante la visualización de lo que realmente se construirá.
- Tiene aplicabilidad como una herramienta de Marketing.
- Permite realizar diseños alternativos e integrar diferentes soluciones constructivas.
- Es una herramienta ideal para la coordinación de los diferentes participantes en el proceso de diseño y ayuda a prevenir conflictos entre ellos.
- Habilidad para identificar colisiones antes de su detección en obra.
- Facilita la reducción del número de errores y correcciones a realizar en la obra, y por tanto reduce el número de trabajos de rectificación y remedio.
- Permite una programación visual, de forma que es muy fácil comprender las dependencias que unas tareas tienen sobre otras.

La mayor parte de las tareas citadas ya se realizaban con anterioridad al uso de BIM, sin embargo, el valor agregado que posee esta herramienta es la facilidad y la rapidez con que estas funciones pueden ser demostradas y aplicadas de forma virtual antes de que comiencen los trabajos. Por último, cabe resaltar que aunque BIM no es la respuesta a todos los problemas en un proyecto de construcción, esta herramienta facilita una toma de decisiones con plena consistencia, lo que tendrá que traer mejores resultados de negocio, mayor claridad, mejoras en la comunicación, menos riesgos y en definitiva, más eficiencia (Fernandez Vidal, 2015).



3.2 LIMITACIONES DE BIM.

La implementación de BIM genera una serie de cambios, los cuales rompen esquemas desde el mismo instante en que se desea implementar (Ver Gráfico 3), aquí se resaltan algunas de sus principales desventajas:

- Compartir información técnica en algunos casos se considera un riesgo para el que la suministra, actuación que debe ser superada si se desea implementar esta metodología. (Villegas, 2012).
- Invertir tiempo y dinero en gestión tecnológica (Coloma, 2008).
- Se debe aprender a diseñar manipulando objetos en vez de dibujarlos (Coloma, 2008).
- La sustitución de hardware obsoleto que podría servir para dibujar, pero no para trabajar con aplicaciones BIM (Coloma, 2008).
- Definición de más parámetros antes de dibujar y la dificultad de personalizar el estilo (crear su propia biblioteca) (Cámara, 2013).

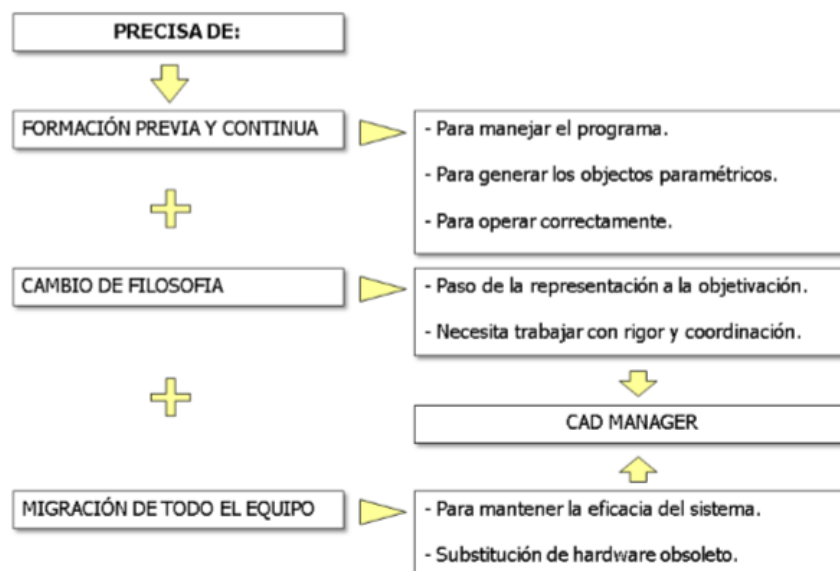


Gráfico 3. Contraste de la tecnología BIM
Fuente: (Coloma, 2008)



3.3. RIESGOS DE BIM.

Existen mayores amenazas cuando las tecnologías BIM están en proceso de implementación en una compañía constructora, al igual que sucede con cualquier innovación tecnológica que se realice. Cuando las tecnologías BIM están en uso, se generan grandes impactos en los niveles de riesgo, pero de igual forma emergen nuevas amenazas y oportunidades, tanto para un proyecto particular como para la compañía en general. Con la implementación de estas tecnologías en proyectos de construcción, se ha logrado reducir el riesgo financiero, los riesgos de retrasos en los proyectos por imprevistos y un notable decrecimiento de los errores y omisiones durante la planeación del proyecto.

En los estudios existentes de las tecnologías BIM, la gestión de riesgo esporádicamente es mencionada, ya que se maneja como una parte integrada del proceso de construcción. Sin embargo, la mayoría de publicaciones centran sus conclusiones en las facilidades que brinda la implementación de BIM en una compañía (Tomek & Matejka, The impact of BIM on risk management as an argument for its implementation in a construction company, 2014).



4. ESTUDIOS DE CASO

4.1. ESTUDIO DE CASO 1: IMPLEMENTACIÓN DE BIM EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN PEORIA, ARIZONA.



Ilustración 2. Planta de Tratamiento de Aguas en Peoria, Arizona

Fuente: (Autodesk, A clean Process - Butler Water Reclamation Facility, 2009).

Operativa desde 2008, esta planta regeneradora de agua de Peoria (Arizona), fue la obra pública más grande jamás construida en la historia de esa ciudad. La planta procesa 10 millones de galones de agua residual por día (Ver Ilustración 2).

El proyecto de esta planta de tratamiento de agua es un claro ejemplo de como las tecnologías BIM mejoran el proceso de construcción, planificación y coordinación de los proyectos, principalmente en los de larga durabilidad, apoyándose en una adecuada gestión del riesgo. Antes de construir el proyecto, la empresa Sundt Construction Inc, encargada de los diseños, utilizó las herramientas de modelación de AutoDesk para buscar mejoras definitivas al proyecto; esto les permitió entender las características del proyecto desde el desarrollo de los diseños del mismo. Durante la etapa de construcción, los modelos ayudaron a su equipo de trabajo entregar el proyecto de acuerdo con los tiempos y presupuesto planteados



inicialmente a la ciudad de Peoria (Autodesk, A clean Process - Butler Water Reclamation Facility, 2009).

El Problema de Peoria:

El crecimiento acelerado de la ciudad en las últimas décadas, aumentó la demanda de servicios públicos. Durante muchos años, Peoria dependió de las plantas de tratamiento de aguas residuales de las comunidades vecinas; con el crecimiento, la ciudad estaba interesada en tener mayor control sobre su máspreciado recurso, el agua.

Por tales motivos, la ciudad evaluó las opciones que tenía y decidió construir una planta moderna para tratamiento de aguas residuales que le permitiera también transformar dichas aguas para reutilizarlas para riego o recarga de las aguas subterráneas.

La ciudad eligió contratar a la compañía Sundt Construction Inc. y un Gerente de Riesgo en proyectos para completar el modelo del inmenso proyecto que se iba a ejecutar. Con dicho modelo, la compañía integro todos los desafíos del proyecto, contemplando también una adecuada gestión de los riesgos inherentes a ellos.

Según explica el gerente de riesgos del proyecto, la complejidad del proyecto y el objetivo de cumplir con el costo y tiempo del mismo, fue posible con la implementación de las tecnologías BIM desde la planificación hasta la coordinación de la ejecución durante el proceso de construcción (Autodesk, A clean Process - Butler Water Reclamation Facility, 2009).

La Solución:

Cuando el diseño del proyecto se encontraba con un 50% de avance, la compañía encargada del mismo comenzó a plantear soluciones con modelos 3D basados en los datos 2D de los diseños iniciales (Ver Ilustración 3). Sundt Construction Inc. usó Architecture Software y Revit Structure Software para integrar los diseños arquitectónicos con los estructurales. Para identificar las interferencias y coordinar el proceso de construcción, la compañía utilizó el Autodesk Navisworks Software.



La implementación de estas herramientas, impidió que durante la ejecución se encontraran interferencias entre las múltiples líneas de tubería y los elementos estructurales, ya que proveían el panorama y ayudas necesarias para que el equipo de trabajo lograra identificarlas y corregirlas a tiempo, mejorando la eficiencia del proceso de construcción.

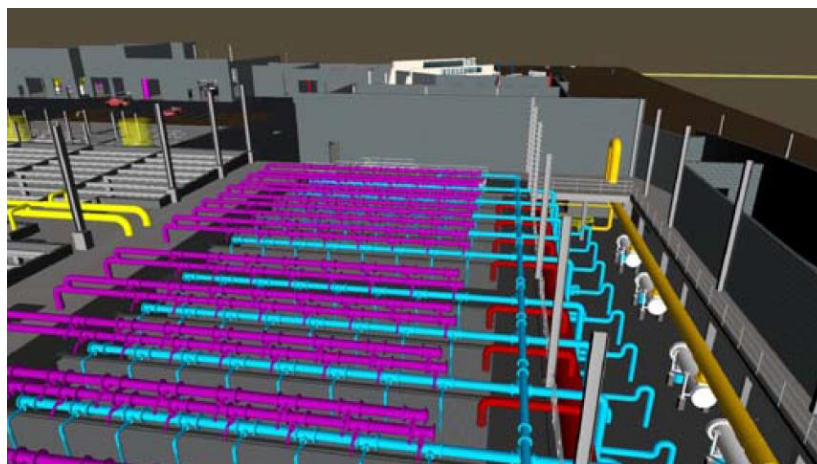


Ilustración 3. Modelado en 3D del proceso de instalación de tuberías y sistemas de membranas de la Planta de Tratamiento de Aguas en Peoria, Arizona.

Fuente: (Autodesk, A clean Process - Butler Water Reclamation Facility, 2009).

El resultado final fue una disminución en el 84% de la información necesaria y seis mil (6.000) horas menos de reproceso, todo esto comparado con un proyecto de igual magnitud utilizando los métodos y herramientas tradicionales, representado en un ahorro de medio millón de dólares, que de no ser por las herramientas BIM, hubiesen gastado en modificación del proyecto durante su ejecución (Autodesk, A clean Process - Butler Water Reclamation Facility, 2009).



4.2. ESTUDIO DE CASO 2: CONSTRUCCIÓN DE RESIDENCIAS UNIVERSITARIAS EN LA UNIVERSIDAD DEL ESTADO DE FRAMINGHAM- ESTADOS UNIDOS.

La Universidad del Estado de Framingham (Framingham) ofrece programas de pregrado y postgrado en un campus tradicional de Nueva Inglaterra a sólo 20 millas fuera de Boston, Massachusetts. Para acomodar el aumento de estudiantes universitarios, la Universidad de Framingham decidió construir North Hall, una nueva edificación de 125.000 pies cuadrados de área con 410 habitaciones. La universidad tenía tres objetivos fundamentales para la ejecución del proyecto: construcción a tiempo, permanecer dentro del presupuesto, y reducir al mínimo la interrupción de las actividades del campus durante la construcción (Autodesk, Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time, 2013).

Para ello, la Universidad de Framingham contrató a Consigli Construction Co., Inc. para ejecutar el proyecto utilizando un "gerente de construcción en riesgo". La firma se basó en Autodesk Building Information Modeling (BIM) soluciones, incluyendo Autodesk Revit Architecture y Autodesk Navisworks Administrar software, para ayudarles a cumplir los objetivos de la universidad. Consigli también utilizó las soluciones de Autodesk BIM 360 de campo para tomar las ventajas de BIM en el campo (Autodesk, Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time, 2013).

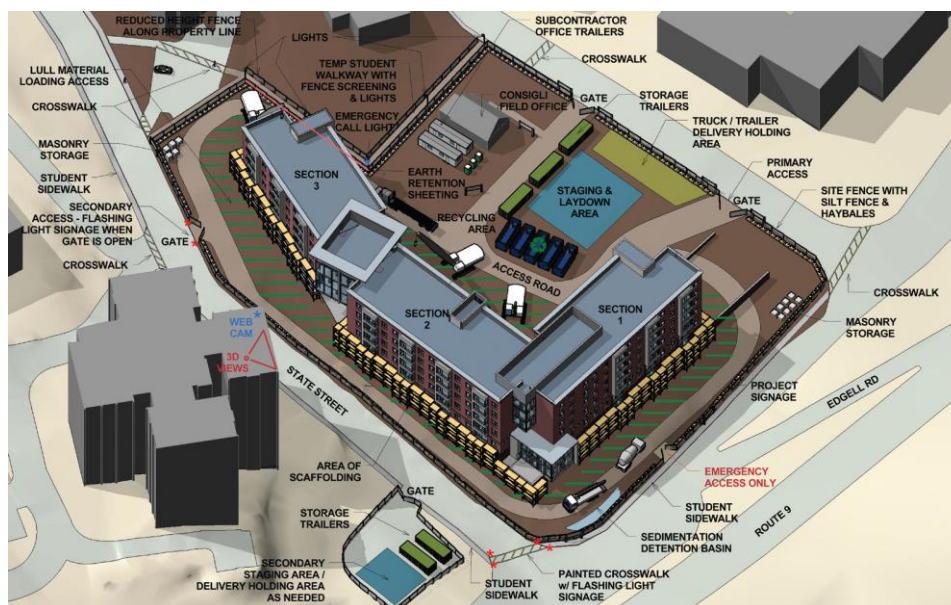


Ilustración 4. Vista aérea Del modelado 3D del Proyecto de habitaciones de la Universidad.

Fuente: (Autodesk, Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time, 2013)

El Reto:

La firma necesitaría para realizar un seguimiento de forma proactiva cómo el diseño impacta el presupuesto, y ayudar al equipo de diseño tomar decisiones sobre materiales afecten coste o introducir preocupaciones de constructibilidad. Dados el nivel de complejidad del proyecto y el tiempo para ejecutarlo (Autodesk, Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time, 2013).

Adicionalmente, el Salón Norte (Edificio del proyecto), está convenientemente ubicado cerca de las instalaciones existentes en el campus de Framingham (Ver Ilustración 4). Aunque su ubicación será un activo a lo largo de la vida del edificio, el sitio presenta desafíos de construcción. Consigli tenía que asegurarse de que el proceso de construcción no sería un inconveniente para los estudiantes, profesores, o los residentes cercanos (Autodesk, Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time, 2013).



La Solución:

Consigli se unió al proyecto en las últimas etapas del proceso de diseño. El equipo comenzó analizando la construcción de modelos desarrollados en el software Autodesk Revit Architecture por los arquitectos del proyecto, Pfeufer / Richardson Architects PC. Mediante el análisis de los modelos (Ver Ilustración 5), Consigli fue capaz de entender las técnicas de construcción necesarios para desarrollar el proyecto. Buscaron oportunidades para reducir costos y racionalizar el proceso de construcción y sin alteraciones significativas en el diseño. Originalmente concebido como un bloque convencional y la estructura de tabla, Consigli vio la oportunidad de reducir los costos mediante la modificación del diseño ligeramente (Autodesk, Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time, 2013).

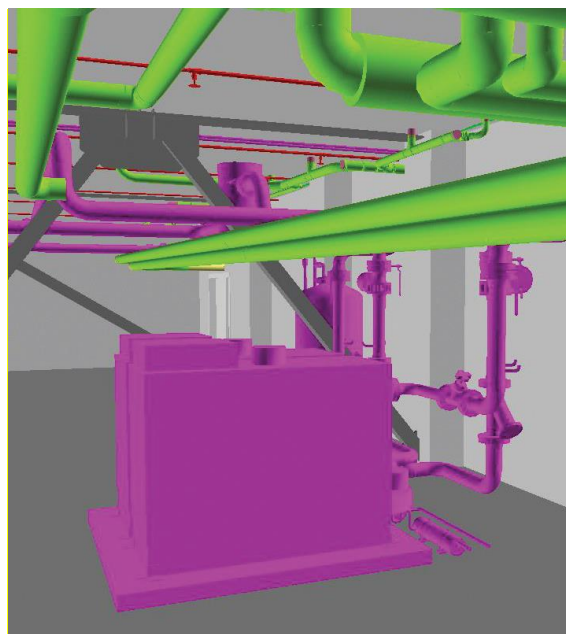


Ilustración 5. Modelo de ductos del Proyecto en BIM.

Fuente: (Autodesk, Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time, 2013)

La firma creó un modelo de toda la obra de construcción en Autodesk Revit Architecture, incluyendo todo, desde las áreas de almacenamiento de material, de andamios y las vías. Al



compartir el modelo con los revisores de la universidad y personas que viven en una zona residencial cerca del sitio, Consigli fue capaz de tranquilizar a todos los interesados que el proceso de construcción no sería excesivamente gravoso. Se sincronizó la programación de la construcción en Navisworks con el software Primavera. El resultado: una programación 4D que unía actividades para el modelo del proyecto (Autodesk, Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time, 2013).

Reducción De Interferencias:

Para ayudar a coordinar el proyecto, Consigli volvió de nuevo a Autodesk Navisworks Manage software. La firma requirió sus subcontratistas utilizar procesos basados en modelos para gestionar sus tareas de construcción. Esto permitió a la empresa a utilizar BIM para ayudar a coordinar las interferencias de construcción y dirección antes de que comenzara la construcción (Autodesk, Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time, 2013).

El diseño de North Hall ayudó a que el proceso de detección de conflictos más eficiente. En lugar de hacer frente a los choques para todo el edificio a la vez, la firma coordinado dos plantas a la vez. Después de la agregación de los modelos de piso proporcionados por los subcontratistas dentro Navisworks Manage, Consigli corrió herramientas de detección de choque dentro del software. El equipo identificó unas 100 interferencias en las dos primeras plantas (Ver ejemplo en Ilustración 6). Trabajando en colaboración con los subcontratistas, el arquitecto y los ingenieros de proyectos, que abordan cada choque y se aplican las correcciones a otros pisos, en su caso (Autodesk, Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time, 2013).

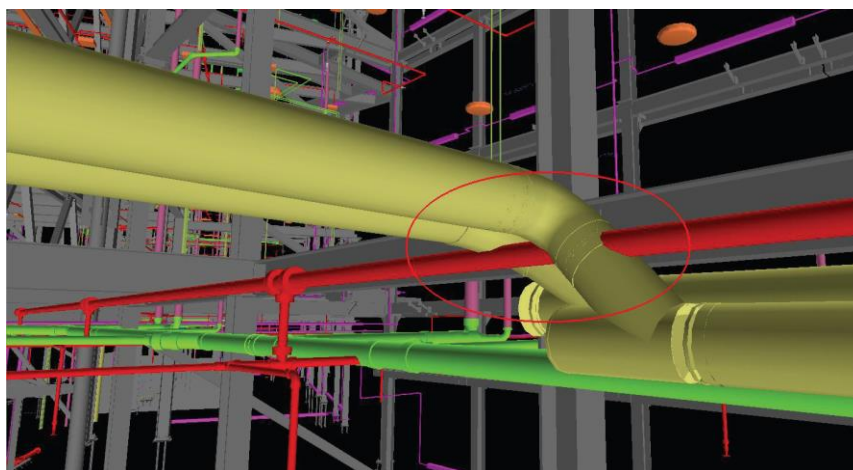


Ilustración 6. Interferencia de ductos halladas en el modelo 3D de la edificación.

Fuente: (Autodesk, Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time, 2013)

El Resultado:

Consigli completó el proyecto North Hall y entregó el edificio a la universidad, antes de la apertura del semestre de 2011. Hoy en día, los estudiantes están disfrutando de su nueva residencia en Framingham donde los Procesos BIM contribuyeron en un inmenso valor, permitiendo completar el proyecto a tiempo y un 50% ciento por debajo del presupuesto destinado por la Universidad. BIM permitió la prevención de los retrasos y problemas de costos antes de la ejecución de la obra.



4.3 ESTUDIO DE CASO 3: MODELADO BIM 3D Y 4D EDIFICIO UNIVERSIDAD DEL PACIFICO EN LIMA- PERÚ.



Ilustración 7. Fachada Edificio Universidad del Pacífico, Perú

Fuente: (Alcántara Rojas, 2013)

Para la construcción del proyecto Universidad del Pacífico se elaboró el modelo BIM-3D de la edificación. El desarrollo de los modelos de arquitectura y estructuras, permitió compatibilizar el diseño del proyecto, detectando observaciones que fueron resueltas por medio de Solicitudes de Información (SI) y reuniones de coordinación con los proyectistas. La Ilustración 8 muestra los detalles del auditorio del edificio educativo modelados en BIM (Alcantara Rojas, 2010).

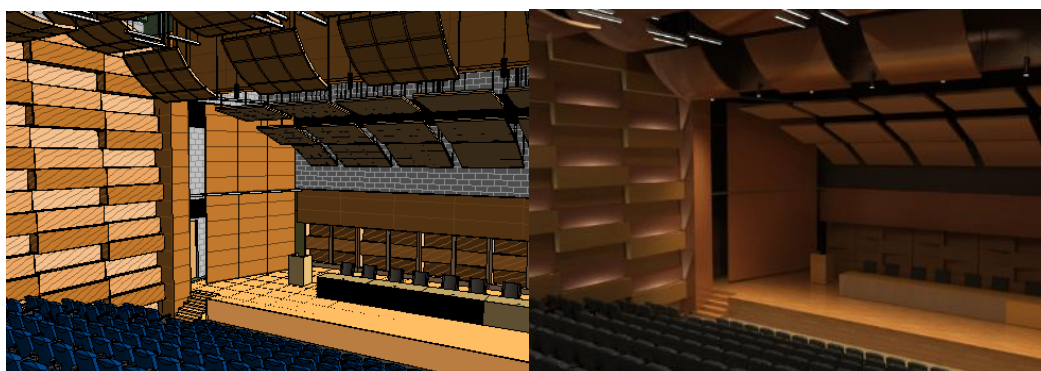


Ilustración 8. Vista desde el interior del auditorio.

Fuente: (Alcántara Rojas, 2013)



De otro lado, por iniciativa de la Gerencia del Proyecto, se subcontrató el modelado en BIM de las instalaciones (Ver Ilustraciones 9 y 10), modelándose en total cuatro especialidades, siendo: (1) Agua Contra Incendio, (2) Instalaciones Sanitarias, (3) Instalaciones Eléctricas, (4) e Instalaciones de Ventilación, Calefacción y Extracción de Aire. El modelado en BIM de estas instalaciones permitió, por su lado, compatibilizar el diseño del proyecto mediante un reporte adicional observaciones que fueron derivadas a los proyectistas y resueltas con anticipación (Alcantara Rojas, 2010).



Ilustración 9. Vista 3D de los cinco niveles del edificio.

Fuente: (Alcantara Rojas, 2010)

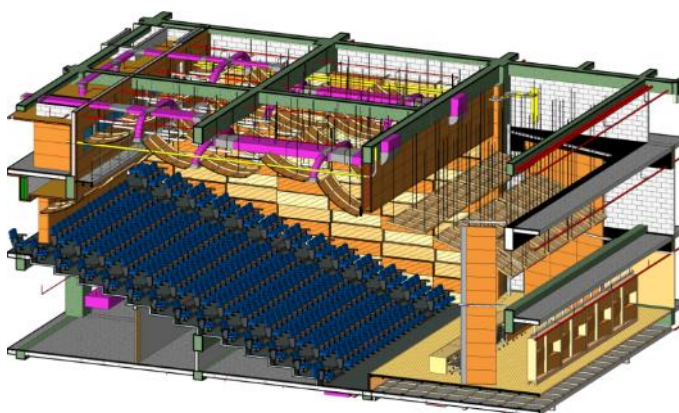


Ilustración 10 Vista 3D del auditorio.

Fuente: (Alcantara Rojas, 2010)

Cada una de las fases del modelado en BIM requirió de una revisión analítica del diseño del proyecto con el fin de identificar incompatibilidades y errores de coordinación interdisciplinaria entre los planos, con ello se generaron fichas de observaciones que debieron



ser reportados a los proyectistas involucrados. Al final de este proceso de revisión e identificación de interferencias, se tuvo que realimentar y actualizar la información de los modelos BIM afectados a fin de levantar los conflictos y generar un *feedback* tal y como lo muestra la Ilustración 11 (Alcantara Rojas, 2010).

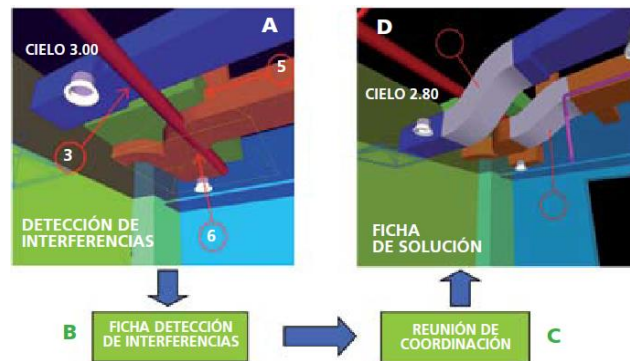


Ilustración 11. Esquema de detección y solución de interferencias e incompatibilidades usando modelos BIM.

Fuente: (Alcantara Rojas, 2010)

Modelado 4D:

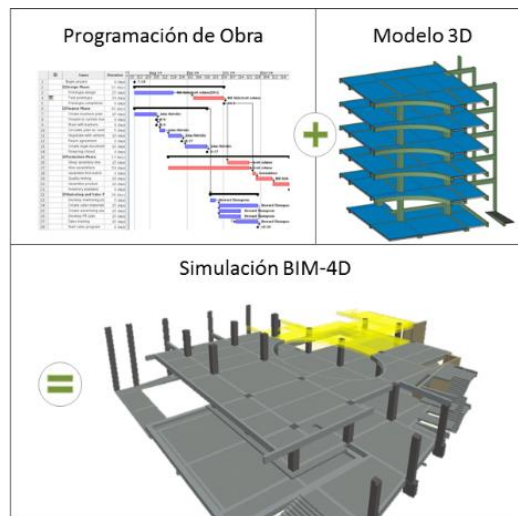


Ilustración 12. Para la simulación BIM-4D, se requiere la programación de obra y el modelo 3D.

Fuente: (Alcantara Rojas, 2010)



Basados en el planeamiento del proyecto, la construcción de la estructura de la edificación contempla la sectorización en planta dividida en cinco áreas (Ver ilustración 13), cada área fue vaciada en un día, por lo tanto cada piso se construía en una semana teniendo como buffer el sexto día. Este proceso de producción en tren, permitió tener un uso y distribución óptima de los recursos y una mayor eficiencia en los procesos (Alcantara Rojas, 2010).

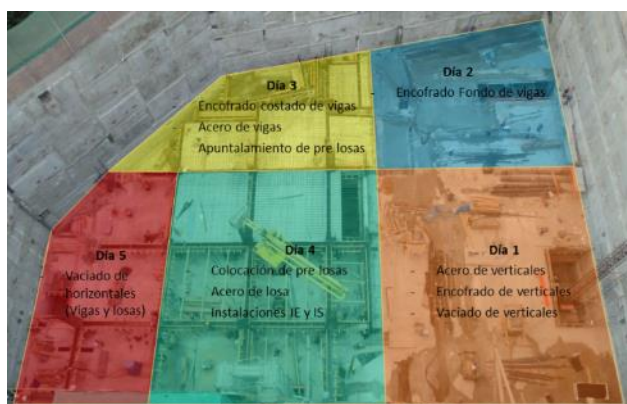


Ilustración 13. Sectorización en planta del vaciado de sótanos del proyecto

Fuente: (Alcantara Rojas, 2010)

Con esta información, se elaboró la programación de obra modificada (Ver Ilustración 14), en la que cada una de las filas de la programación está asociada a un cierto proceso, y por ende, están vinculados a los objetos 3D que le corresponden. Por ejemplo, la tarea VP1S1 concierne al proceso de vaciado de todas las vigas del primer sector del primer piso. Asimismo, la tarea CP1S4, concierne al proceso de vaciado de todas las columnas del cuarto sector del primer piso. Se aprecia también que cada una de las tareas de la programación de obra modificada han sido codificadas de tal forma que, a primera vista, nos de la información de qué proceso será ejecutado, además de dónde y cuándo. Aunque la codificación de las tareas puede variar dependiendo del proceso a ejecutarse, en el caso de la simulación 4D de la estructura de concreto armado se codificó en base a la sintaxis mostrada en la siguiente figura (Alcantara Rojas, 2010).

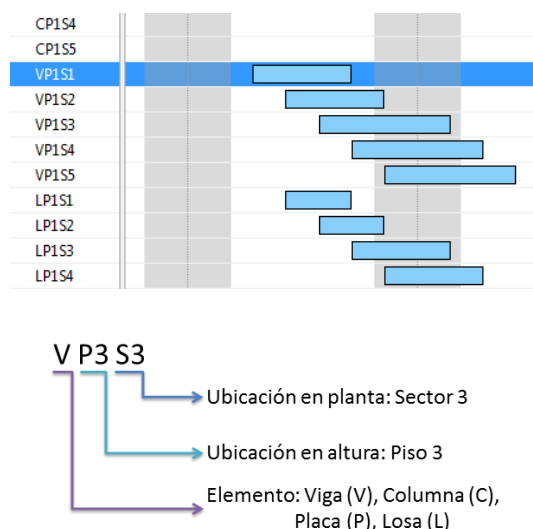


Ilustración 14. Tareas de la programación de obra modificada. Cada una de éstas corresponde a procesos constructivos y están asociados a objetos 3D del modelo BIM.

Fuente: (Alcantara Rojas, 2010)

La duración de cada proceso se muestra en la barra de tiempo del Diagrama de Gantt mostrado en la Ilustración 14. En el caso de la simulación del proceso constructivo de la estructura de concreto armado, la duración de cada una de las tareas incluyen los tiempos tecnológicos de los siguientes subprocesos: el encofrado, colocación de acero, y termina en el día del vaciado, sin tomar en cuenta el desencofrado. Estos subprocesos, para efectos de visualización, son diferenciados por los colores de los objetos y transparencia de los mismos, es decir, la transparencia en los objetos 3D de la simulación indica que la tarea está en pleno proceso (Alcantara Rojas, 2010).

En la Ilustración 15, se tiene un fotograma que corresponde a la simulación de este proceso constructivo, en la que se aprecian los procesos que serían ejecutados el día *17 de mayo de 2011*. Según se observa en esta imagen, se da a entender que para ese día, las columnas del sector 1 y 2 del segundo piso ya han sido vaciadas, mientras que en el sector 1 del mismo nivel se están encofrando los fondos de vigas y a su vez, en el quinto sector del primer piso,



se están vaciando los elementos horizontales conformado por vigas y losas (Alcantara Rojas, 2010).

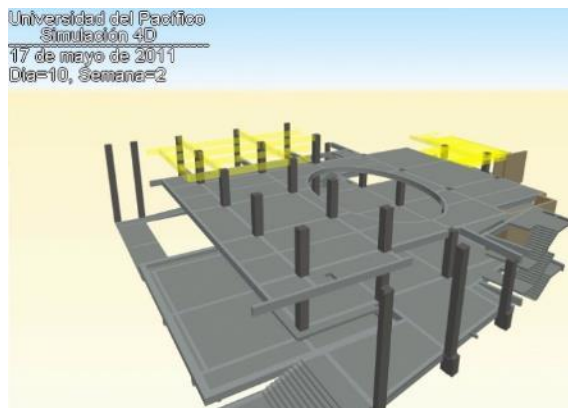


Ilustración 15. Simulación BIM-4D del proceso constructivo de la estructura del proyecto.

Fuente: (Alcantara Rojas, 2010)

Resultados:

- Permitió compatibilizar el diseño del proyecto, detectando observaciones que fueron resueltas por medio de Solicitudes de Información (SI) y reuniones de coordinación con los proyectistas
- El modelado en BIM de estas instalaciones permitió, por su lado, compatibilizar el diseño del proyecto mediante un reporte adicional observaciones que fueron derivadas a los proyectistas y resueltas con anticipación.
- La inclusión del tiempo en el modelo, permitió tener un uso y distribución óptima de los recursos y una mayor eficiencia en los procesos.
- Se concluyó que El modelado en 3D debe ser entendido propiamente como una pre-construcción virtual, en la que a medida que se va modelando se van identificando y resolviendo los problemas de interferencias e incompatibilidades en los planos del diseño del proyecto, antes de que estos se presenten en campo.

BIM En Colombia:

Los primeros intentos por implementar metodologías BIM en Colombia han sido escasos, unos con más éxito que otros debido a la falta de conocimiento y al prolongado tiempo que



toma en la industria de la construcción lograr cambios radicales en sus procesos por el alto riesgo que se asume. En Colombia las herramientas BIM han sido empleadas en mayor grado para ejecución de trabajo arquitectónico en lo concerniente a la realización de renders y visualizaciones 3D (Mojica arboleda & Valencia Rivera, 2012).

Existen casos de experiencias de implementación de BIM en Colombia que han tenido buenos resultados en edificaciones residenciales e institucionales. Se han modelado edificios de vivienda como el proyecto Arvore en Medellín consistente en la construcción de dos edificios aporticados de 15 pisos y 3 sótanos terminados a mediados del año 2012. También se han modelado edificios industriales como la planta de productos Higiénicos de la Empresa Familia S.A. en Cajicá cuya construcción estaba en fase final para abril del mismo año. Dentro de los edificios institucionales se implementó BIM en la clínica Comfenalco que terminó su construcción en el año 2011, de estructura aporticada consta de un edificio de clínica y otro de consultorios (Mojica arboleda & Valencia Rivera, 2012).

En cuanto a cantidades de obra los resultados han sido muy positivos. Las cantidades obtenidas a partir de modelos presentan variaciones cercanas al 1% (en la mayoría de casos son menores a este valor) en relación con las cantidades manuales. En casos que se requiere obtener cantidades de figuras con geometrías complejas, herramientas como Revit les han permitido obtener cantidades más certeras que las obtenidas manualmente por aproximaciones: en uno de sus proyectos de vivienda de interés social la cimentación del edificio tenía una forma trapezoidal. Las cantidades manuales arrojaron una cantidad de concreto requerida mayor en un 13% a las que arrojó el modelo en Revit, esto obviamente repercute en costos más elevados dentro de la proyección del presupuesto para dicho elemento estructural (Mojica arboleda & Valencia Rivera, 2012).

Cabe anotar que aunque los procesos BIM aún no se han consolidado en el país y las pocas empresas que los utilizan los tienen en etapas de prueba (etapas piloto) han aparecido recientemente en el mercado empresas de consultoría. En Internet se encuentra fácilmente la empresa BIM House que opera en Bogotá y Proinpa, una empresa de Bucaramanga que ofrece servicios de optimización de tiempos de obra y manejo de materiales mediante un proceso que denominan Control Dinámico en Procesos de Construcción (CDPC), este



sistema reúne conceptos de Lean Construction (una de la bases fundamentales para la conceptualización de BIM en los años 80) y la Administración Eficiente de Proyectos (Modelo PMI) que implica la generación de un modelo BIM 4D que centralice la información (Mojica arboleda & Valencia Rivera, 2012).



4.4 ESTUDIO DE CASO 4: EDIFICIO SIESA EN BOGOTÁ, COLOMBIA.

Este proyecto es una edificación de 6 pisos de oficinas ubicado en la ciudad de Bogotá, sobre un lote de 957 m², con un área total construida de 4768 m² (Ver Ilustración 16).



Ilustración 16. Modelado Edificio SIESA

Fuente: (Mojica & Valencia, 2012)

El proyecto desarrollado entre el año 2011 y 2012 fue uno de los proyectos pioneros en Colombia que apostó por la implementación de las tecnologías BIM para su desarrollo. La metodología utilizada para ello es posible resumirla en 3 pasos: Análisis de la información suministrada, modelación paramétrica de las diferentes partes de la edificación y simulación del proceso constructivo en el tiempo (Mojica & Valencia, 2012).

El Reto del Edificio Siesa:

La modelación de las diferentes partes del proyecto es un proceso de vital importancia en el que se deben establecer las características principales, restricciones y propiedades globales del modelo.

Para la fecha de ejecución del proyecto en cuestión, los pocos casos de implementación de las herramientas BIM en Colombia fue una desventaja por la carencia de experiencias locales con este proceso; sin embargo, esta desventaja terminó por convertirse en uno de los principales retos del proyecto, al ser pionero en la industria colombiana con la implementación de tecnologías BIM para un proyecto de construcción (Mojica & Valencia, 2012).

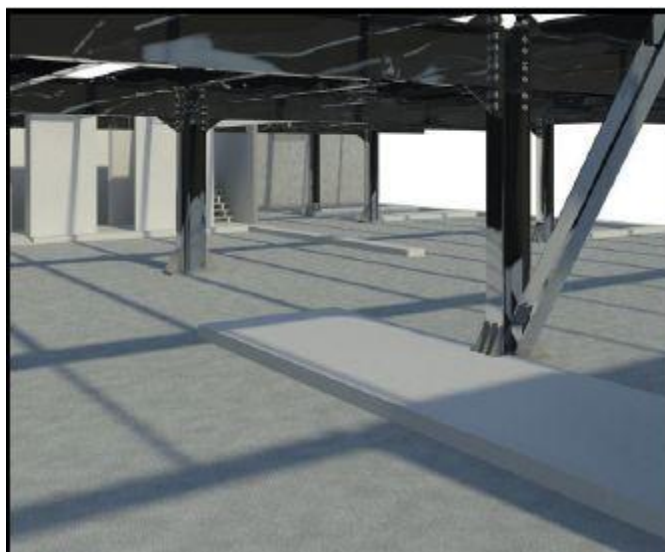


Ilustración 17. Modelación de estructura metálica del proyecto

Fuente: (Mojica & Valencia, 2012)

Para la simulación del proceso constructivo en el tiempo, se realizó la integración del modelo de Revit Structure con la programación de obra suministrada por el departamento de planeación del proyecto; para esto fue necesaria la implementación del software AutoDesk Navisworks Manage, uniendo cada elemento paramétrico del modelo con actividades en la línea de tiempo de la programación (Ver Ilustraciones 17 y 18).



Ilustración 18. Modelación Edificio en Revit

Fuente: (Mojica & Valencia, 2012)



Resultados Obtenidos

Como resultado final del modelo, se obtuvieron 9487 elementos paramétricos entre la cimentación, estructura, muros interiores y Fachada. Todos estos elementos fueron obtenidos con base al software AutoDesk Revit Structure y AutoDesk Revit Architecture.

Durante el proceso de modelación se encontraron diferentes errores en los planos estructurales y arquitectónicos, aumentando el grado de dificultad, generando reprocesos al planteamiento del modelo. Con la modelación del proyecto se evitó que los reprocesos se presentaran durante la construcción, evitando sobrecostos y mayor duración del proyecto.

Con la integración del modelo de Revit y la programación de obra, utilizando el Navisworks de AutoDesk, se logró plantear una metodología para controlar los cronogramas de obra.

Si el modelado del proyecto se fuese realizado desde la etapa de diseños, fuese sido posible evitar hasta 15 errores que llegaron a la documentación final del proyecto y generaron retrasos en el mismo, generando la necesidad de modelarlo para evitar retrasos mayores en la entrega final.

4.5. ESTUDIO DE CASO 5: PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIO DE APARTAMENTOS EN MEDELLÍN.

El objeto de este trabajo fue establecer propuestas de mejoramiento al proceso de planeación de tiempos y costos en la etapa de cimentación de un edificio, a partir de la integración de herramientas como simulación de eventos discretos, programación con líneas de balance y metodologías Building Information Modeling - BIM. A partir de mediciones en campo se levantó información para la elaboración de un modelo de simulación de eventos discretos que imitara el proceso constructivo real. Se propusieron y modelaron alternativas de mejora, a partir de los principios de la filosofía Lean Construction y la programación de líneas de balance encontrando reducciones en tiempo y costo. También se realizó la animación virtual



de las alternativas a partir de metodologías BIM (Gómez Cabrera, Quintana Pulido , & Ávila Díaz , 2015).

Metodología:

El estudio de caso contempla la construcción de un edificio de 9 pisos y 1 sótano, con área total construida de 11,400 m². Del sótano al 5° piso estará conformado estructuralmente por un sistema aporticado en concreto reforzado a la vista. Del 6° al 9° piso el edificio estaría conformado por una estructura metálica aporticada con placas de entrepiso en lámina colaborante. Las columnas del proyecto se cimentarán por medio de caissons excavados manualmente por el sistema de anillos empotrados. Los modelos de simulación de eventos discretos fueron elaborados en el software *Arena*, los datos de entrada para generarlos fueron los flujos de trabajo de cada proceso, las duraciones de las actividades y los recursos empleados para su ejecución; los flujos fueron definidos mediante el análisis de los diseños, visitas de obra y con el apoyo de imágenes digitales (Ver Ilustración 19) (Gómez Cabrera, Quintana Pulido , & Ávila Díaz , 2015).

Desarrollo y resultados:

Después de verificar y validar el modelo de simulación de eventos discretos, se procedió a plantear alternativas de mejoramiento de acuerdo con lo observado en campo y de acuerdo con la filosofía Lean Construction; se plantearon doce alternativas, en ellas, se buscó hacer un balance de cuadrillas, sin afectar la duración del proyecto y aumentar la productividad reduciendo los tiempos de ciclo, mediante la implementación de maquinaria y equipos (Gómez Cabrera, Quintana Pulido , & Ávila Díaz , 2015).

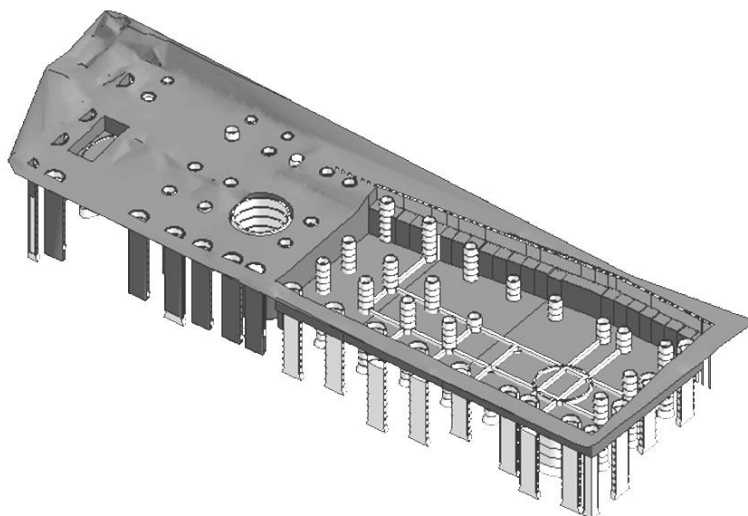


Ilustración 19. Modelo BIM de la Cimentación del proyecto.

Fuente: (Gómez Cabrera, Quintana Pulido , & Ávila Díaz , 2015)

Las alternativas de mejora propuestas en el proyecto permitieron reducciones de tiempo y costo. Aunque en algunas la reducción del costo no fue significativa, la reducción de tiempo si puede representar grandes beneficios para el contratista como ahorros en carga prestacional y costos indirectos, para el dueño uso del bien de manera anticipada, y para los demás interesados del proyecto. La simulación en el tiempo permite visualizar gráficamente diferentes alternativas de planeación y ejecución de proyectos de construcción antes de que sean ejecutadas, con el fin de seleccionar la más viable técnica y económicamente (Gómez Cabrera, Quintana Pulido , & Ávila Díaz , 2015).

De acuerdo con los tiempos empleados en la construcción de los modelos de *Arena* y *Revit* en el proyecto, se encontró que una vez se adquiriera el conocimiento suficiente en el empleo de estos programas, su implementación en una empresa constructora no requerirá de una gran cantidad de recursos y si traerá beneficios en la planeación de proyectos (Gómez Cabrera, Quintana Pulido , & Ávila Díaz , 2015).



5. ANÁLISIS CRÍTICO

Las herramientas BIM fueron diseñadas para plantear modelaciones de proyectos durante todas sus etapas. Si bien es cierto que no existe un único software que logre la integración de todos los componentes del proyecto, se cuenta con varios que permiten su integración entre sí para analizar las diferentes etapas de estos.

Son varios los países a nivel mundial que han creado las condiciones para que las empresas constructoras implementen la utilización de las tecnologías BIM en el desarrollo de sus proyectos. Como resultado han logrado ejecutar proyectos exitosos en sentido general, motivando así a las medianas empresas a la implementación de estas metodologías.

Por el contrario, en Colombia son pocos los casos en los que se han implementado estas tecnologías, principalmente por la escasez de personal capacitado para el manejo de las mismas y la falta de información de casos exitosos en el sector.

La implementación de las herramientas BIM, contribuye a la correcta gestión del riesgo en proyectos de construcción, minimizando los costos por imprevistos, reprocesos y replanteos del proyecto. El simple hecho de eliminar las interferencias de los proyectos modelados, es una ganancia en tiempos de rediseño que finalmente se representa en disminución de costos para el proyecto. Estas herramientas permiten convertir desventajas en grandes beneficios.

Caso 1: Planta de Tratamiento de Aguas en Peoria.

La modelación del proyecto, permitió que se evitara de manera oportuna la materialización de interferencias entre las líneas de tubería y la estructura principal, ya que proveían el panorama adecuado en el momento oportuno. El resultado final de la implementación de las tecnologías BIM en este proyecto, se tradujo en un ahorro de medio millón de dólares que hubiese sido necesario para cubrir las más de 6.000 horas de trabajo en reprocesos que fuesen sido necesarias en caso de no haber utilizado las herramientas.

Desde el punto de vista de la Gerencia de proyectos, un resultado de optimización de tiempo y dinero representado en la disminución de horas anteriormente mencionada es muestra de



una gran gestión gerencial con ayuda de un software y un personal capacitado; el gerente de este proyecto fue capaz de interpretar la complejidad del proyecto, las limitaciones de los sistemas constructivos tradicionales y los riesgos que conllevaba la ejecución del mismo, es por ello que decidió hacer uso de una herramienta informática que acompañado de un personal experto en el área fuera capaz de modelar el proyecto en el tiempo e identificar todas las interferencias que se venían, además de tomar decisiones acertadas para realizar una gran optimización en el desarrollo del proyecto.

Para los nuevos proyectos en Colombia, cuando se tiene de experiencia los innumerables retrasos en obras y sobrecostos de los proyectos, BIM se convierte en un producto atractivo para el mercado de la construcción, por lo cual se ve proyectado un aumento considerable en la implantación de este tipo de tecnologías en los nuevos proyectos de construcción en el país.

Caso 2: Construcción de residencias universitarias en la Universidad del Estado de Framingham- Estados Unidos

La implementación de BIM para este proyecto fue desarrollada a razón del cronograma de entrega que debía cumplir la empresa constructora, bajo esta consigna, el buen uso de la herramienta BIM garantizaría prever riesgos e interferencias que tendría la obra antes de ejecutarse, así como la optimización de tiempos de ejecución de la obra. Tal fue el caso, que en las dos primeras plantas se encontraron más de 100 interferencias entre redes. Implícitamente el proyecto dejo entrever así como la mayoría de los proyectos de construcción donde se contratan los diseños de redes, arquitectónicos y estructurales con especialistas en cada área específica de manera independiente, que estos trabajan un mismo proyecto, pero que pocos tienen en cuenta lo que plantea el otro y donde debido al poco rigor en la revisión de planos antes de la ejecución, se conlleva a la materialización de riesgos en obras relacionados con interferencias y retrasos en la ejecución mientras se decide dar soluciones sobre la marcha.

Ante la situación planteada, BIM demuestra ser una herramienta de gran ayuda a la hora de poner en marcha el plan de gestión de riesgos del proyecto, principalmente en lo relacionado



con tiempo y presupuesto del mismo, previo a su ejecución. Es importante resaltar que esta herramienta tiene un alcance definido para riesgos internos de la obra y no es posible mitigar factores no controlables al proyecto.

Caso 3: Modelado BIM 3D y 4D Edificio Universidad del Pacífico en Lima- Perú.

Esta edificación con fines académicos ubicado en la capital Peruana, contó con un modelo BIM previo a su ejecución, esto en gran parte se debió a la complejidad de su diseño. Permitió prever incoherencias entre los diseños de las instalaciones, para ello, los involucrados se reunieron en comités y se concretaban soluciones entre los agentes involucrados. La disminución en los riesgos del proyecto se mitigó de manera temprana y oportuna, además de la interacción entre los involucrados. BIM demuestra una vez más ser un elemento capaz de ir enlazado con la gestión de riesgos. Sin embargo, es necesario recordar que para su implementación se debe contar con un personal capacitado en el área, la coordinación de los agentes involucrados en los diseños para que puedan trabajar en una misma plataforma y un conjunto de elementos tecnológicos de gran capacidad y alto precio para que este pueda cumplir con las expectativas de uso.

Caso 4: Edificio SIESA

En este proyecto la necesidad de implementar las herramientas BIM surge por los 40 días de retraso que se habían generado durante la etapa inicial de construcción. Los constructores se vieron en la necesidad de parametrizar el proyecto para minimizar futuras interferencias. A pesar de que con la modelación del mismo no se logró recuperar los tiempos perdidos inicialmente, si fue posible controlar las interferencias antes de su ejecución y evitar mayores pérdidas de tiempo. Además, con la integración del modelo del proyecto con la programación de obra, se permitió controlar la ejecución del mismo.

Si bien BIM es una herramienta que sirve para mitigar riesgos antes que inicie la construcción del proyecto, su implementación también se considera un riesgo; involucrar un cambio en el sistema tradicional de construcción, realizar una integración total de los diseños y generar cambios durante la marcha no garantiza éxito en el 100% de las veces. Para el caso en particular del proyecto SIESA, el Gerente del proyecto se jugó el proyecto en un proceso de



uso de BIM y para su fortuna, fue un éxito, sin embargo, cada vez que se considere un cambio de metodología de planeación de un proyecto, para hacer uso de una herramienta como es el caso de BIM, se debe conocer y evaluar todos los riesgos que podrían generar para los propósitos del proyecto.

Caso 5: Proyecto de construcción de Edificio de apartamentos en Medellín

En esta edificación se modeló en BIM solo la parte de cimentación del edificio, lo que deja en evidencia el poco uso de esta herramienta en Colombia, si bien existen empresas que proyectan edificios es 3D, su uso es netamente comercial, es la forma de vender el proyecto y no se saca provecho al 100% de lo que puede ser este software.

Para el caso de estudio en mención, donde se plantearon 12 alternativas de trabajo para la ejecución de la obra, se partió de una posible amenaza y se convirtió en oportunidad para replantear el proyecto, donde si bien no fue posible reducir considerablemente el tiempo de ejecución, si se hizo con el costo de la obra, es decir, si partimos de que un riesgo es la probabilidad de la ocurrencia de un evento no previsto, este si es identificado durante la etapa de planeación y con una buena gestión de riesgos, permite convertir el evento en una oportunidad beneficiosa para el proyecto y ajustarla a las condiciones deseadas.

En el caso, también se expone la idea que “una vez se adquiriera el conocimiento suficiente en el empleo de estos programas, su implementación en una empresa constructora no requerirá de una gran cantidad de recursos y si traerá beneficios en la planeación de proyectos”, lo que invita a una formación completa por parte de los profesionales del área y a su implementación en los nuevos proyectos que vienen, donde los retos son cada vez mayores y la probabilidad de materialización de riesgos es mayor debido a la complejidad de los proyectos.



6. CONCLUSIONES

- Implantar Building Information Modeling –BIM- dentro de la gestión de riesgos de los proyectos es posible y es una herramienta de gran ayuda, ya que permite la mitigación de riesgos causados por inconsistencias en los diseños de las instalaciones del proyecto, asimismo permite unificar a los mismos y modelar los procesos de construcción, previendo los riesgos que inminentemente se iban a materializar durante la fase de materialización del proyecto; dichos beneficios se ven reflejados en disminución de tiempo de trabajo, mayor control y eficacia de costos y calidad del producto final.
- La tecnología BIM en Colombia está dando sus primeros pasos, actualmente existen empresas constructoras que utilizan esta herramienta como producto de diferenciación a la hora de desarrollar sus proyectos, sin embargo, la utilidad de estos softwares se está limitando a ser una herramienta de ventas y marketing, por lo que aún queda mucho camino por desarrollar con estos softwares desde todo punto de vista.
- La experiencia de los estudios de casos presentados en el presente documento demuestran que sin importar la complejidad del proyecto de construcción, si BIM es usado de manera correcta, esta herramienta permite detectar interferencias y posibles riesgos que se pueden materializar durante la obra antes de iniciar su construcción; para el caso de un país como Colombia, donde los imprevistos y retrasos en las obras muchas veces son causados por problemas que pudieron ser detectados con anterioridad, este tipo de herramientas da soluciones que permiten mejorar la calidad de los proyectos de construcción y mayores controles en tiempo y presupuesto.
- Aunque BIM es una gran herramienta informática para la planeación de proyectos, es necesario que para su implementación se cuente con computadores de gran rendimiento, un personal capacitado en el uso del software y lo más importante, la unificación en los procesos de diseño de los especialistas de cada área.



- BIM puede convertirse en un riesgo cuando no se cuenta con personal capacitado para su uso, cuando no se integran todas las áreas del proyecto, y cuando no se tienen los equipos adecuados para su desarrollo, cabe anotar que implantar esta herramienta en un equipo informático representa un gran costo de dinero como de tiempo, además del costo de la realización del modelo.
- Desde el punto de vista académico, la llegada de tecnologías BIM ha incentivado proyectos de investigación en formas diversas que incluyen desde trabajos de grado hasta investigaciones independientes de grupos de investigación y semilleros, así como la muestra de resultados con estudios de casos por parte de los desarrolladores de dichos softwares. Pese a ello, se hace necesario que en Colombia las empresas pioneras en el uso de BIM aporten mayor cantidad de registros de sus proyectos desarrollados y aporten investigaciones en conjunto con universidades, que permitan compartir la versatilidad y uso de este tipo de tecnología con el fin de mejorar los proyectos de construcción en el país.



7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcantara Rojas, V. (2010). Modelando en BIM 3D y 4D para la construcción: Caso proyecto Universidad del Pacifico.
- Alcántara Rojas, V. (2013). Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM. Lima- Perú.
- Amaya, D. M., & Rhenals, L. (2014). Impacto De Las Tecnologías Bim En La Construcción. Cartagena.
- Anderson, S. (2009). Risk Identification and Assesment. PMI Virtual Library.
- Autodesk. (2009). A clean Process - Butler Water Reclamation Facility. Peoria, Arizona, Estados Unidos.
- Autodesk. (2013). Consigli Construction Co. uses Autodesk BIM Solutions to deliver a residences all on time.
- Baloi, P., & Price, A. (2003). Modelling global risk factors affecting construction cost performance. International Journal of Project Management, 261-269.
- Bautista Baquero, M. (2007). Gerencia de Proyectos de Construcccion Inmobiliaria: Fundamentos para la Gestion de la Calidad. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana.
- Cámara, C. (13 de 03 de 2013). INTRODUCCION AL BIM. BIM VS CAD: Comparativa de dos metodos de trabajo. Zaragoza, España: Universidad San Jorge.
- Coloma, E. (2008). INTRODUCCION A LA TECNOLOGIA BIM. Barcelona, España: Universidad piltecnica de Catalunya.
- Dongping, C., Guangbin, W., Heng, L., Skitmore, M., Huang, T., & Zang, W. (2015). Practices and effectiveness of building information modelling in construction projects in China. ELSEVIER, 113-132.
- Dong-Woo , R., Jum In, K., Sunduck, S., & Wonho , S. (2015). Evaluating risks using simulated annealing and Building Information Modeling. ELSEVIER, 305-350.
- Feng Chien, K., Chang Huang, S., & Han Wu, Z. (2014). Identifying and assessing critical risk factors for BIM projects. Elsevier.
- Fernandez Vidal, S. (2015). Aplicación de la técnica de línea de avances y gestión de riesgos a un proyecto de edificación en el entorno BIM. Universidad de la Coruña.



- Garcia Reyes, J., Echeverry Campos, D., & Mesa Hernandez, H. (2013). Gerencia de Proyectos: Aplicacion a Proyectos de Construccin de Edificaciones. Bogota: Uniandes.
- Gómez Cabrera, A., Quintana Pulido , N., & Ávila Díaz , N. (2015). Simulación de eventos discretos y líneas de balance, aplicadas al mejoramiento del proceso constructivo de la cimentación de un edificio. *Ingeniería y Ciencia*, 157-175.
- Kuo, F., Zong, H., & Shyh, C. (2014). IDENTIFYING AND ASSESSING CRITICAL RISK FACTORS FOR BIM PROJECTS: EMPIRICAL STUDY. Taiwan: ELSEVIER. journal homepage: www.elsevier.com/locate/autcon.
- Leonhard , B., & John F. , T. (1991). Journal of Construction Engineering and Management. TECHNICAL PAPERS, 645–658.
- Mojica arboleda, A., & Valencia Rivera, D. F. (2012). Implementación de las metodologías BIM como herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Mojica, A., & Valencia, D. (2012). Implementación de las Metodologías BIM como Herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá. Bogotá.
- Race, S. (2012). BIM Demystified. Londres: RIBA Publishing.
- Robustec Anton, F. (2006). Logística del Transporte. Barcelona: Universitat Politecnica de Catalunya.
- Tohidi, H. (2011). The Role of Risk Management in IT systems of organizations. *Procedia - Computer Science Journal*, 881-887.
- Tomek, A., & Matejka, p. (2014). The Impact Of BIM on risk management as an argument for its implementation in a construction company. ELSEVIER, 501-509.
- Tristancho , J., Contreras Bravo, L., & Vargas Tamayo, L. F. (2011). Aplicación del Modelo Integrado de Desarrollo (BIM) en el Diseño de Proyectos para oficina Abierta. En *Ingeniería*, 78-93.
- Villegas, A. (2012). REALIDAD VIRTUAL EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION. Medellin, Colombia: Universidad EAFIT.
- Wang, S., Dulaimi, M., & Aguria , Y. (2004). Risk management framework for construction projects in developing countries. *Construction Management and Economics*, 237-252.

