

**BUILDING INFORMATION MODELING  
(BIM)**

**NICOLAS D'AMATO GUTIERREZ**



**UNIVERSIDAD EAFIT  
INGENIERÍA CIVIL  
MEDELLÍN  
AÑO 2010**

**BUILDING INFORMATION MODELING  
(BIM)**

**NICOLAS D'AMATO GUTIERREZ**

**Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil**

**Luis Fernando Botero  
Arquitecto Constructor**



**UNIVERSIDAD EAFIT  
INGENIERÍA CIVIL  
MEDELLÍN  
AÑO 2010**

Nota de aceptación

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

---

Medellín, 30 de abril del 2010

# CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	9
1. PRELIMINARES .....	10
1.1 Planteamiento del problema .....	10
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	11
1.3 delimitación del proyecto.....	13
1.4 Objetivos del proyecto .....	14
1.4.1 Objetivo General.....	14
1.4.2 Objetivos Específicos.....	14
2. METODOLOGÍA DEL PROYECTO.....	15
3. ESTADO DEL ARTE.....	16
4. EJEMPLO EXPLORATORIO DEL SOFTWARE BIM .....	40
5. ESPECIFICACIONES Y DELIMITACIONES DEL SOFTWARE BIM.....	45
6. CONCLUSIONES .....	50
7. RECOMENDACIONES .....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	52

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Modelo tridimensional ejemplo exploratorio.....	43
Figura 2 Modelo tridimensional ejemplo exploratorio.....	43
Figura 3 Simulación Navisworks (construcción losa entrepiso) .....	44
Figura 4 Simulación Navisworks (muros nivel 2 y escalera).....	44

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Archivo digital ejercicio exploratorio .....	57
---	----

## RESUMEN

Los procesos de diseño y construcción tradicionales de la industria de la construcción que se han conservado inalterados durante años, han impedido vislumbrar los impactos positivos que se pueden dar al trabajar en conjunto con las tecnologías de información. El miedo al cambio hace que las empresas del sector denominen “normal” a la fragmentación del proceso constructivo, y presupuesten desde el inicio de la obra atrasos por incompatibilidades en los diseños causados principalmente por la falta de comunicación y coordinación entre los diferentes participantes del proyecto.

La implementación de tecnologías de información busca no solo ayudar como una herramienta a los diseños del proyecto, sino que también ofrece elementos para integrar a los participantes y contratistas del proyecto en un equipo de trabajo donde exista mayor interoperabilidad entre las áreas implicadas en el planteamiento, diseño y ejecución del proyecto, y se pueda disminuir de sobremanera la fragmentación que vuelve tan poco competitiva esta industria a nivel mundial.

En el presente trabajo de grado se realizó un estado del arte de la tecnología de información BIM con el fin de sintetizar las enormes cantidades de información disponibles y de posibilitar una mejor comprensión de este. Con la teoría y los manuales estudiados a profundidad de los software que componen esta tecnología, se procedió a desarrollar un ejercicio exploratorio confrontando los conocimientos adquiridos teóricos con la parte práctica, parte en donde se pudieron vislumbrar las ventajas y desventajas al implementar este software en la industria de la construcción de nuestro país. Finalmente se exponen los

requerimientos y limitaciones que trae consigo la aplicación de esta tecnología a los proyectos de construcción.

Palabras clave: Simulación en 4D, planeación de obra, programación de obra, Building Information Modeling (BIM), Fragmentación.

## INTRODUCCIÓN

La competitividad internacional ha suscitado un cambio en las raíces tradicionales y conservadoras de las industrias de construcción de nuestro país que conlleva a aumentar progresivamente la productividad y competitividad de las mismas. Cambio que será alcanzable en gran parte con la implementación de nuevas tecnologías que mejoren la eficiencia en los procesos técnicos y la administración de obra.

En base a esta necesidad se desarrolla el presente texto, que se dirige no solamente a los estudiantes sino a cualquier profesional que quiera implementar el software BIM con el fin de incrementar su competitividad y eficiencia en el mercado mundial.

El desarrollo del contenido se divide en tres partes en donde en cada una se le da solución a los objetivos específicos planteados inicialmente. En la primera parte se redacta un estado del arte de las tecnologías BIM a partir de bibliografía seleccionada, en donde cronológicamente se sintetizan los aportes de los diferentes autores para la concepción del mismo.

En una segunda parte se desarrolla un ejemplo exploratorio en el cual se aplica el software para la modelación y simulación de un proyecto de construcción de una edificación de dos pisos de uso residencial.

Finalmente, la tercera parte establece las especificaciones y delimitaciones que requiere el uso de este software en la industria de construcción colombiana en base a la experiencia aportada por el ejemplo exploratorio realizado en la parte anterior.

# 1. PRELIMINARES

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente vivimos en un mundo netamente capitalista y globalizado, en el que las empresas no están supeditadas a sus fronteras, y donde cada vez buscan tener más, sobrepasar límites, eliminar competidores, y en últimas, ser indispensables para una economía específica. Un mundo desigual, en el que la herramienta o arma más importante para competir en esta carrera de supervivencia es la información; Pero aunque la información es una ventaja competitiva, lo es más, si esta información se trabaja de manera conjunta, es decir, donde exista una interconexión, tal que, cualquier cambio en un proceso individual de un conjunto se refleje simultáneamente en los que éste afecte.

La industria de la construcción Colombiana se ha mantenido muy reacia a efectuar cambios en las etapas de diseño y construcción de los proyectos, llevándola a niveles de competencia inferiores en comparación con países desarrollados. No obstante, con los tratados económicos internacionales en pie, con intervención de multinacionales y empresas extranjeras compitiendo en el país, se han tratado de implementar técnicas que ayuden a un considerable incremento de los rendimientos y flujos de trabajo, tanto en la ejecución de obra como en los diseños, para nivelar los diferentes procesos y estándares locales a los niveles de competitividad mundial.

Como resultado a estas mejoras, entran a protagonizar en las etapas de diseño y construcción, los software, y para este caso en especial: “BIM” (Building Information Modeling), el cual es una interfaz que entrelaza las partes de planeación y costos con el diseño tridimensional del proyecto que además contiene información del mismo. Permitiendo que cualquier cambio en cualquiera de estos sea reflejado automáticamente en los demás, generando una ganancia

inmediata de tiempo, y además, posibilitando visualizar cual cambio puede ser el más favorable para las variables de tiempo y costo. Asimismo, se disminuye en gran manera el riesgo a cometer errores que puedan acarrear cambios de última hora.

Generalmente, los diseños de cualquier proyecto son los que más permutan y los que representan más dificultades. Es pues, la etapa en la que se confrontan los deseos del cliente con una realidad conceptualizada por parte del diseñador; Sin dejar a un lado que no solo existe un diseñador que realice la totalidad de los diseños. Se trata entonces de un conjunto de personas normalmente aisladas que presentan diseños en forma conjunta, y en esas interacciones e interconexiones de diseños es en donde surgen la mayoría de errores y demoras posibles que se puedan esperar. En base a esta necesidad, “BIM”, almacena e integra toda la información en una gigantesca base de datos, permitiendo visualizaciones de recorridos en el modelo tridimensional, igualmente, la toma secciones transversales, alzados, conjuntos de materiales, entre otros. Incrementando así, en grandes proporciones la comprensión del proyecto, y a su vez la comunicación entre los equipos involucrados en el mismo.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La gestión de proyectos tiene como objetivo terminar el trabajo requerido dentro de unos parámetros definidos tales como: alcance, tiempo y costo. El cumplimiento de estos parámetros es lo que determina el éxito, y es en últimas, lo que garantiza la satisfacción del cliente.

En la industria de la construcción, la mayoría de estos parámetros se incumplen. Existen varias causas que explican el porqué de estos incumplimientos, unas que atañen al contratista, como también otras que son ajenas a él. De las causas más comunes son los afanes del cliente por comenzar inmediatamente el proyecto sin

esperar que todos los diseños estén listos, lo que impide presupuestar un costo total y mucho menos realizar una programación de obra. Es pues, una situación en la que se desconocen las duraciones y costos de las actividades, por el riesgo de planear todo en la premura del día a día. Otra causa son las discrepancias en los diseños, al haber gran cantidad de planos realizados por diferentes ingenieros, diseñadores o subcontratistas, es muy probable que se presenten problemas de incompatibilidad, y más de que ocurra al no tener una visión integral del proyecto desde su comienzo. El problema más grave que se vive actualmente es que se descubran estos problemas cuando este se esté ejecutando la construcción del mismo, en donde es muy costoso retroceder o replantear.

Es por esto que se presenta como una oportunidad clave para las empresas, el tener unos instrumentos adecuados que guíen su rumbo, que brinden a sus dirigentes una visión integral del proyecto desde su diseño, en donde se pueda simular la construcción del mismo, de tal manera que se puedan prever los errores en los diseños, sin tener que incurrir en grandes pérdidas económicas y en planes de contingencia para poder controlar los presupuestos y plazos que se tenían pactados inicialmente. Además, proporciona una mejor comprensión del proyecto como tal y con esto, se podrán tomar decisiones más acertadas en cuanto a elección de alternativas tanto de diseños arquitectónicos, insumos y procesos constructivos a realizar en el proyecto.

Con la implementación de este tipo de base de datos, se dispondría en los proyectos un flujo constante de información digital de principio a fin; Además, ayudaría a estandarizar convenciones de diseño, que son tan diversas en un país como el nuestro, facilitando la comunicación entre arquitectos e ingenieros, mejorando el flujo de trabajo, aumentando la productividad, mejorando la calidad y evitando malentendidos o malinterpretaciones; Depurando así, ambigüedades que puedan existir por el uso de convenciones aleatorias.

### **1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO**

El presente estudio se enmarca dentro de la investigación de nuevos métodos para la gestión de la construcción, que busquen agilizar y perfeccionar métodos y procesos en el diseño de edificaciones, y a la vez reducir tanto los costos administrativos como las probabilidades a incurrir en errores.

Para esta investigación se tomara cierta información base a partir de las teorías planteadas por Charles M. Eastman, el primero en difundir el concepto de “modelo de información de edificación” en numerosos libros y artículos académicos; Y También de Jerry Laiserin quien fue el creador por consenso del software BIM; teorías que datan de alrededor de finales de los años 70`s. Sin embargo, sería muy trivial pensar que solo las teorías del inventor de esta herramienta computacional son las únicas veraces; Por esto se estudiaran diferentes teorías que las fundamenten, aporten o contrasten, con el fin de dismantelar los mitos o rumores que se tengan, afianzar las verdades, y así, crear un verdadero concepto acerca de lo que es esta nueva tecnología para nuestro sector.

A través del ejemplo exploratorio, se pretende explorar, valga la redundancia, los software de esta tecnología que atañan exclusivamente al campo de la ingeniería civil, ya que esta tecnología involucra a los diversos grupos interdisciplinarios que confluyen en el planteamiento, diseño y desarrollo de los proyecto de infraestructura. De modo que se genere una retroalimentación a partir de las conclusiones, recomendaciones y aportes personales en los procesos y funciones característicos de nuestra arcaica industria del sector de la construcción, y se puedan crear inquietudes que generen futuras implementaciones e investigaciones de esta novedosa tecnología.

## **1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

### **1.4.1 Objetivo General**

Realizar un estado del arte acerca del software BIM, y poner en práctica los conceptos adquiridos a manera de estudio exploratorio (modelación de una edificación), evaluando las ventajas que da la implementación de esta herramienta en un proyecto de construcción.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Realizar un estado del arte del “BIM”, en donde se muestre que estudios se han realizado, teorías y actualizaciones que haya tenido hasta el momento.
- Aplicar el software “BIM” para el diseño de una construcción de una edificación, evaluando ventajas y desventajas que la implementación de este pueda otorgar tanto en corto como en largo plazo.
- Determinar las especificaciones y delimitaciones que tiene el uso de este software en la etapa de diseño de un proyecto de construcción en Colombia.

## **2. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

De lo general a lo particular; de ésta manera se procedió a investigar la información, tratando de enmarcarla o referenciarla; De tal forma, se enfocó este estudio solamente en los avances e investigaciones que se habían realizado hasta el momento, y que de algún modo pudieran ser aplicables a nuestro país. Teniendo la información seleccionada y exhaustivamente leída, se procedió a analizarla extrayendo los conceptos e ideas principales, para comenzar a desarrollar el marco teórico de la investigación.

Con los conceptos y las técnicas claras para el desarrollo del ejercicio exploratorio, se desarrolló el modelo y la simulación de una edificación residencial de dos pisos, con la finalidad de aplicar lo investigado y de probar como era el funcionamiento y las ventajas que esta “nueva” tecnología podía proporcionar al tradicional sector de la construcción Colombiana.

### 3. ESTADO DEL ARTE

El diseño virtual y la construcción- VDC, por sus siglas en inglés “Virtual Design and Construction”- es el uso integrado de modelos de diferentes disciplinas del diseño y de la construcción para cumplir con los objetivos pactados inicialmente en los negocios. Estos modelos son lógicamente integrados para que todos los participantes del proyecto puedan acceder a la información, y proponer cambios en cualquiera de los objetos del modelo, los cuales se reflejan simultáneamente en todas las partes afectadas del modelo. El modelo es multi-disciplinario en el sentido de que involucra arquitectos, ingenieros, contratistas y clientes (dueños del proyecto).

El termino VDC fue introducido en 2001 como parte de la misión y métodos del Centro para Instalaciones Integradas de Ingeniería - CIFE por sus siglas en inglés Center for Integrated Facility Engineering de la Universidad de Standford, y se uso principalmente como método para investigaciones en aquella época.

Las características teóricas principales del VDC son

- Método de modelado que representa el producto, la organización, y los procesos.
- Modelo basado en métodos de análisis que predicen la programación del proyecto, costos, programaciones por riesgos, entre otros.
- Métodos de visualización, presentan vistas del producto, en formas que son más claras para los profesionales y los inversionistas.
- Impacto económico, en otras palabras, modelos cuantitativos para costos e inversiones de capital, considerando el proyecto como un todo, no como elementos individuales.

El modelado de información –BIM por sus siglas en inglés “Building Information Modeling”- se enfoca en los elementos constructivos del modelo VDC, aspecto útil pero limitante por los problemas administrativos que usualmente están dentro de las interacciones entre los procesos: construcción-organización<sup>1</sup>.

Los orígenes del BIM se remontan a finales de la década de los setentas, cuando Charles M. Eastman de la universidad Georgia Institute of Technology, utilizó el término Building Product Model (sinónimo de Building Information Model) en sus libros y artículos. No obstante, Eastman sólo se llevó una pequeña parte del reconocimiento al aparecer años después Jerry Laiserin, quien popularizó el acrónimo BIM como una representación digital del proceso de construcción para facilitar el intercambio y la interoperabilidad de la información.

En uno de sus artículos recientes publicado en el año 2008, Jerry Laiserin señala que ni el concepto ni la nomenclatura de BIM son nuevos. Los conceptos y metodologías que ahora se identifican como BIM, vienen desde hace 30 años aproximadamente, mientras la terminología de “Building Information Modeling” ha estado en circulación por lo menos desde hace 15 años<sup>2</sup>

Múltiples y variadas investigaciones y trabajos fueron conducidos a través de los años setentas y ochentas en Europa – especialmente en el Reino Unido – en paralelo con los tempranos esfuerzos para la comercialización de esta tecnología. Durante los ochentas este método era comunmente descrito en Estados Unidos como Building Products Models y en Europa - especialmente en Finlandia - como Product Information Models (en ambos acrónimos, la palabra producto era usada

---

<sup>1</sup> Kunz John , Fischer Martin, “Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions” CIFE, Stanford University, (Enero 2009) Paper #097

<sup>2</sup> Eastman Chuck, “BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors” (2008)

para diferenciar éste método de un modelo “proceso”). El siguiente paso lógico en esta evolución de la nomenclatura era que ambos se fusionaran como uno solo, para ser conocidos globalmente como “Building Information Modeling”.

Varios autores han aportado teorías, estudios y ensayos para la construcción de esta tecnología que hoy se conoce como BIM. Cronológicamente se expondrán algunos de los más reconocidos y distinguidos investigadores con el fin de contextualizar las ideas y teorías que dieron origen a éste software que desde entonces ha evolucionado en forma excepcional la industria de la construcción.

Una de las más renombradas investigaciones por autores de importantes artículos se remonta al año 1990. “The use of computer graphics as a scheduling tool”, escrito por Retik A, Warszawski A, Banai A<sup>3</sup>, describió las aplicaciones potenciales de los gráficos digitales a la programación de obra, en donde los datos de entrada consistían en representaciones geométricas del edificio que iba a ser construido junto con un cronograma de actividades de construcción de sus principales componentes, y los datos de salida, conocidos comúnmente como los resultados, eran los progresos reales de las actividades en ejecución, representaciones graficas de la programación, avances de construcción en cualquier fecha y las diferencias del rendimiento esperado contra el rendimiento real.

Tres años después de aquel artículo escrito en 1990 por Retik A y otros, I. Tommelein, P. Zouein<sup>4</sup> publicaron: “Interactive Dynamic Layout Planning”, en donde utilizaron el concepto de distribuciones dinámicas para desarrollar un software denominado MovePlan, cuya función principal, era localizar en función del tiempo las instalaciones provisionales requeridas para la ejecución de las

---

<sup>3</sup> Retik A, Warszawski A, Banai A, The use of computer graphics as a scheduling tool, Building and Environment, Volume 25, Issue 2, 1990. pp. 133-142

<sup>4</sup> Tommelein I, Zouein P, Interactive Dynamic Layout Planning, Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 119, No. 2, June 1993. pp. 266-287

actividades. En el software desarrollado, la programación de las actividades era complementada por los recursos requeridos de cada actividad, con el fin de tener estimadas las cantidades a disponer en obra, para poder vislumbrar las distribuciones de las instalaciones provisionales en el proyecto. Además de esto, el software proporcionaba una interfaz gráfica que permitía modelar las necesidades de espacio durante la programación del proyecto y permitía crear las distribuciones espaciales en obra para las diferentes etapas de construcción, hasta el punto en el que se podían ubicar los movimientos de los equipos y materiales. Conjuntamente, se describían también diferentes estrategias para la creación de distribuciones en obra.

Para 1996 las investigaciones del CIFE apuntaban a la utilidad de los modelos, ya que en ese entonces las características y el uso de las herramientas de software existentes eran desconocidas por gran parte de los usuarios. Como respuesta a esto McKinney K, Kim J, Fischer M, Howard C<sup>5</sup>, desarrollaron una herramienta CAD en 4 dimensiones -4D- que permitía a los diseñadores construir e interactuar fácilmente con el modelo, lo cual mejoraba la toma de decisión, facilitaba la creación de prototipos y la elaboración de propuestas para el análisis de alternativas en la etapa de prefactibilidad del proyecto, y se eliminaban los obstáculos que existían al transformar los dibujos bidimensionales a la realidad tridimensional, gracias a la implementación de modelos a escala y al alto nivel de detalle empleado en los dibujos.

Dentro de su artículo McKinney resaltaba constantemente la necesidad de crear una herramienta que permitiera a los ingenieros, arquitectos y contratistas, simular y visualizar las secuencias de construcción como parte de una experiencia interactiva. En ese sentido, el autor afirmaba que el modelo en 4D preveía las

---

<sup>5</sup> McKinney K, Kim J, Fischer M, Howard C. Interactive 4D-CAD. Proceedings of the Third Congress on Computing in Civil Engineering. Anaheim, CA: ASCE, 1996. pp. 383–389.

bases para el desarrollo de un lenguaje común entre todas las partes involucradas en los procesos de construcción, y proporcionaba una representación de la programación de obra. Las alternativas para la planeación de construcción y de diseño se podían evaluar de forma realista en el contexto de espacio y tiempo.

Posteriormente, en el año 1997 Adjei-Kumi T y Retik A<sup>6</sup>, reconocían que la falta de herramientas para la visualización de actividades de construcción presentaba problemas a los planificadores a la hora de considerar las futuras consecuencias de sus decisiones, ya que las graficas digitales para la planificación no llegaban más lejos que los niveles de componentes de un edificio. Aunque deseable, este enfoque no coincidía con los esfuerzos de los planificadores que tenían que trabajar a nivel de las actividades. Frente a este problema, los autores proponían un nuevo enfoque que consistía en desarrollar un marco de trabajo estratégico para la lograr obtener una visualización realista de las simulaciones de proyectos de construcción a nivel de actividades y a nivel de componentes. El enfoque propuesto, era basado en la utilización de la tecnología de realidad virtual para apoyar a los practicantes a planificar y visualizar sus planes en un sentido cercano a la realidad. Asimismo, se proponía en el artículo, el uso de una librería preparada con anterioridad de imágenes graficas en 3D de componentes de las edificaciones.

Un año más tarde volverían a aparecer los autores McKinney K, Fischer M<sup>7</sup>, ésta vez con un documento titulado: Generating, evaluating and visualizing construction schedules with CAD tools, en el cual presentaron un diagnóstico acerca de la integración de los software Autocad, Primavera, Jacobus Simulation y Walkthru para el desarrollo de una aplicación en 4D, en donde analizaron las deficiencias y

---

<sup>6</sup> Adjei-Kumi T, Retik A, A library-based 4D visualization of construction processes. Proceedings of the Information Visualization conference, 1997

<sup>7</sup> McKinney K, Fischer M, Generating, evaluating and visualizing construction schedules with CAD tools, Automation in Construction, Volume 7, Number 6, 1998. pp. 433-447

se resaltarían además las necesidades de apoyo de las herramientas CAD en las tareas de planificación de proyectos. Como valor agregado en su obra, describieron las herramientas que permitían mayor realismo en los procesos constructivos de los modelos 4D.

Los progresos paulatinos en la búsqueda de soluciones al problema de la interconexión de trabajos que se dieron desde la implementación de gráficos digitales, al CAD 4D, hasta proponer una visualización realista, evidenciaron otro problema recurrente: las fluctuaciones de los recursos. Para incluir la solución en este aspecto J. Son y M.J Skibniewski<sup>8</sup> en su artículo: Multiheuristic approach for resource leveling problem in construction engineering: hybrid approach, desarrollaron técnicas de nivelación de recursos con el objeto de minimizar las diferencias entre las necesidades de los recursos y el perfil de los recursos deseados. Sin embargo, el problema en la nivelación de los recursos, excepto por los pequeños problemas en la programación, no podía ser resuelto por métodos de optimización exactos, puesto que se trata de un problema aleatorio discreto. Así, los investigadores utilizaron enfoques heurísticos para obtener una solución aceptable, que no necesariamente pudiera ser la más óptima. El modelo heurístico desarrollado llamado optimizador local junto con simulaciones, conforma el modelo híbrido que solucionaba los problemas de nivelación de recursos. Los resultados computacionales indicaban que estos modelos heurísticos producían buenas soluciones razonables, y además, eran opciones viables para las redes de programaciones complejas.

---

<sup>8</sup> Son J, Skibniewski M.J, Multiheuristic approach for resource leveling problem in construction engineering: hybrid approach, Journal of construction engineering and management. Volume 125, Issue 1, 1999. pp. 23-31

En el año 2000, B. Koo y M. Fischer<sup>9</sup> en su tesis: “Feasibility study of 4D CAD in commercial construction”, resaltaron los beneficios y limitaciones del CAD en 4D mediante la elaboración de un estudio de viabilidad de herramientas para planificar los proyectos. Los beneficios se demostraron en un caso de estudio, adoptando el CAD en 4D para la modelación de un edificio de oficinas a partir de la vinculación de los componentes del modelo en 3D con una programación de diagramas de Gantt que empleaba el método de la ruta crítica- CPM, por sus siglas en ingles “Critical Path Method”-. Del mismo modo, se documentaron las dificultades procedimentales involucradas en la generación y análisis del modelo en 4D. Las deficiencias de los actuales modelos y herramientas en 4D eran establecidas también por los autores.

Por su parte Kamat VR, Martínez JC<sup>10</sup> en el año 2001, reconocieron los grandes beneficios de la simulación y visualización en los diseños de operaciones complejas de construcción, los cuales favorecían la toma de decisiones óptimas, en contraste con los métodos tradicionales que podrían resultar ineficaces y muchas veces inviables. Anotaron también que la visualización de las simulaciones podía ayudar significativamente a dar mayor credibilidad a los modelos de simulación, al proveer información valiosa sobre sutilezas que de uno u otro modo no podían ser cuantificables ni presentables. Asimismo, los autores propusieron una metodología, y la primera versión general de un sistema de visualización 3D. En ésta última eran independientes el software del CAD en 3D y el software de las simulaciones. Este sistema de visualización según su

---

<sup>9</sup> Koo B, Fischer M, Feasibility study of 4D CAD in commercial construction, CIFE Technical Report #118, 1998

<sup>10</sup> Kamat VR, Martínez JC, Visualizing simulated constructions operations in 3D, Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE 2001. pp. 329–37.

metodología permitiría visualizar las operaciones de construcción tanto cronológicamente como espacialmente.

En la misma época Fisher M y Claudio Mourgues publicaron un artículo titulado: “Investigaciones aplicadas a la industria de la construcción chilena”, en el que aludían a las investigaciones lideradas por el CIFE (Center Integrated Facility Engineering), las cuales vislumbraban los impactos que podían tener las tecnologías de información sobre una industria chilena artesanal en el sector de la construcción. Sin embargo, algunas empresas constructoras chilenas: Bechtel y Kvaener, empezaron a explotar estas potencialidades, dando un paso adelante hacia la industrialización<sup>11</sup>.

Gran parte de aquel documento se centró en el contenido de un seminario en el cual se abocaron principalmente tres temas: modelación 4D y simulación, modelación de procesos y organizacional y, e-bussiness y tecnologías corporativas.

La modelación en 4D y simulación, el tema más atinente de los tres temas del seminario desarrollado por el CIFE en septiembre del año 2001, definía formalmente el concepto de modelos en 4D como: un modelo tridimensional, cuyos elementos constituyentes están vinculados a una programación de construcción. De esta forma a medida que el programa avanzaba se podía visualizar virtualmente la construcción del proyecto, lo que permitía detectar con antelación las deficiencias en los programas constructivos. Además de mostrar cómo se integraban las actividades del programa con los componentes del modelo en 3D, los autores representaron las visualizaciones tridimensionales de las etapas constructivas del programa, con diferentes colores a medida que los

---

<sup>11</sup> Mourgues C, Fischer M, Investigaciones aplicadas a la industria de la construcción chilena, CIFE Technical Report #124, 2001

componentes del modelo CAD iban avanzando en la actividad o en la etapa de construcción.

Por último se resaltaban los beneficios del BIM, en aras de exhortar a los participantes a implementarlo y popularizarlo. Algunas de las ventajas que se expusieron fueron:

- Mejor comunicación entre dueño, diseñadores y constructor.
- Reconocimiento de programas de construcción incompletos, identificando componentes del proyecto que no tienen actividades correspondientes en el programa.
- Detección de problemas de secuencias constructivas.
- Anticipación de conflictos espacio-tiempo, mostrando componentes que son construidos en espacios de trabajo reducidos.
- Identificación de problemas de accesibilidad y congestión dentro de la obra.

El otro aspecto de interés tratado en el seminario trataba del área de visualización de información, en la cual CIFE desarrolló para ello un proyecto llamado “espacios de trabajo interactivo”, en donde se pretendía mejorar la calidad del tiempo que los equipos del proyecto utilizaban para tomar decisiones, mediante la disminución del tiempo utilizado en la información descriptiva, que no agregaba valor a los procesos de decisión. Para lograrlo, se exploraron usos de espacios de trabajo interactivos, en donde los equipos del proyecto pudieran interactuar visualmente con la información, dando origen a “Iroom” (sala interactiva), que consistía en una habitación con múltiples dispositivos que funcionaban en conjunto por una red, permitiendo una forma más eficiente de relacionarse con la información.

En 2002 V.R. Kamat, J.C. Martinez, publicaron un texto sobre visualización y operaciones simuladas señalando:

“...La visualización es un amplio término en el ámbito de la planeación de la construcción. El término ha sido utilizado en la literatura para referirse a cualquier tipo de series de fotogramas secuenciales digitales sin tener en cuenta su origen o su contenido. En efecto, numerosas actividades visualmente digitalizables, que pueden ser utilizadas directa o indirectamente para la planificación de la construcción pueden ser llamadas visualizaciones”<sup>12</sup>.

Así que visualizar las operaciones modeladas en tres dimensiones es posiblemente la mejor fórmula de comunicar la lógica, los trabajos internos o implícitos y permite establecer la credibilidad en los análisis, creando la oportunidad de convencer a todas las partes implicadas, que los modelos de hecho sí representan la realidad.

Un año después de publicar éste artículo, sus autores capitalizaron una tecnología computacional gráfica, basada en el concepto de escenas para diseñar e implementar un sistema de visualización general en 3D. El sistema fue llamado visualizador dinámico de la construcción y permitía visualizaciones realistas de operaciones constructivas modeladas, en donde los productos resultantes podían ser usados en conjunto con una amplia variedad de herramientas de simulación. De este modo, describían las arquitecturas de las escenografías y los marcos de actualización de los algoritmos utilizados en el diseño del sistema.

Aunque las ventajas de visualizar los modelos eran evidentes, también tenía desventajas. Una de ellas era la imposibilidad de planear la distribución de los

---

<sup>12</sup> Kamat V.R, Martinez J.C, Scene graph and frame update algorithms for smooth and scalable 3D visualization of simulated construction operations, Comput.-Aided Civil Infrastruct. Eng. 17 (4) , 2002. pp. 228–245.

espacios de trabajos requeridos por las actividades de construcción, por la gran cantidad y complejidad de las actividades que estaban involucradas en los proyectos de construcción, en donde los espacios no eran fijos a lo largo del proyecto sino que permutaban debido a la complejidad de ejecución de las actividades. Era entonces prácticamente imposible, esperar a que los administradores de proyectos especificaran manualmente la información espacio temporal para representar los lugares de trabajo.

Como solución a ésta desventaja B. Akinci, M. Fischer, J. Kunz<sup>13</sup> en el año 2002, plantean unos mecanismos que generaban automáticamente los espacios de trabajo en un proyecto en específico. Los espacios se generaban al estar relacionados con actividades de construcción, tenían atributos por lo que se sabía cuál era su volumen, desde cuándo y hasta cuándo existirían en el proyecto y dónde estarían ubicados. Ésta producción de espacios permitía simulaciones enriquecidas de CAD en 4D, análisis de conflictos espacio temporales, y la planificación de espacios proactivos ex ante de la construcción.

En el año siguiente el proyecto VIRCON (virtual construction) de la universidad de Teeside en Middlesbrough, Inglaterra, desarrollaría una base de datos integrada que actuaba como base de datos de recursos para la simulación y visualización de los procesos constructivos. N. Dawood, E. Sriprasert, Z. Mallasi, B. Hobbs<sup>14</sup> fueron los encargados del proyecto para diseñar e implementar la base de datos en la construcción de un hospital en el campus de la universidad, y describieron

---

<sup>13</sup> Akinci B, Fischer M, Kunz J, Automated generation of work spaces required by construction activities, Journal of construction engineering and management. Volume 128, Issue 4, 2002, pp. 306-315

<sup>14</sup> Dawood N, Sriprasert E, Mallasi Z, Hobbs B, Development of an integrated information resource base for 4D/VR construction processes simulation, Automation in Construction, Volume 12, Issue 2, 2003, pp. 123-131

los procedimientos que siguieron para desarrollar la base de datos integrada de recursos.

El objetivo principal del proyecto VIRCON era desarrollar herramientas que potenciaran la inteligencia en el proceso de planificación de la construcción. Este proyecto manejaba dos líneas sustanciales de desarrollo. La primera consistía en construir con base en trabajos de planificación en 4D en donde el proceso se visualizaba con la simulación del modelo 3D a través del tiempo, de acuerdo con la red de programación de ruta crítica (CPM); La segunda línea, trataba de construir en base a trabajos de configuraciones espaciales de productos construidos por la aplicación de los principios analíticos para utilizar el espacio en el sitio de obra durante la construcción, lo que habían llamado análisis del espacio crítico –CSA por sus siglas en inglés “ Critical Space Analisis”-.

La base de datos de la construcción del hospital en la universidad de Teeside, fue diseñada por Dawood usando una clasificación unificada “Uniclass” para la industria de la construcción siguiendo los estándares de trabajos internacionales establecidos por el informe técnico ISO 14177. Una de las ventajas de utilizar ésta clasificación era que además de proporcionar estándares para la estructuración de la información de edificaciones, proveía un medio para la integración del estructura desarticulada del producto - PBS por sus siglas en ingles “Product Breakdown Structure”- con la estructura desarticulada del trabajo –WBS por sus siglas en inglés “Work Breakdown Structure”-, aspecto importante para la entrega de un conceptualizado modelo en 4D. Las interfaces de bases de datos de MS Access, planos de Autocad y las programaciones de MS Project fueron desarrollados y aplicadas, conjuntamente con las normas británicas de convenciones de capas BS 1192-5. La base de datos fue cargada automáticamente con los datos detallados del producto directamente de los dibujos de 2D o 3D, programaciones de obra y los recursos del proyecto.

Más tarde, Staub-French, M. Fischer, J. Kunz, B. Paulson<sup>15</sup> en el año 2003, formalizaron la ontología (vocabulario en modelo computacional) para representar la lógica de los estimadores a la hora de relacionar las características de los modelos con actividades y con recursos asociados a la construcción.

Relacionar costos con productos es una función de los estimadores de costos, caracterizada por ser dispendiosa y propensa a errores. La lógica que estos usaban detrás de las series de asociaciones en un proyecto, no se podía conocer puesto que era propiedad intelectual de quien las realizaba. Además de asociar costos con productos, los estimadores tenían que entender cómo los diseños influían en los costos de construcción para determinar qué condiciones de diseño eran las más importantes. En otras palabras, cuáles eran las condiciones que incidían en un mayor porcentaje sobre los costos totales, cuándo eran importantes y cómo afectaban a los costos de construcción.

Las investigaciones previas a la construcción del modelo integrado, se centraban en las relaciones entre productos-actividades-recursos y costos, para conocer la forma como el diseño de la edificación influían en los recursos y productividad, pero no proporcionaban un vocabulario común ni una lógica de relación entre productos y costos, lo que conllevaba a la necesaria habilitación del proceso de estimación de costos.

Con el fin de representar la lógica utilizada por los planificadores, se utilizó un prototipo de software que ayudaba a los estimadores a representar sus conocimientos de manera formal, y también a generar y mantener la estimación de los costos de forma rápida y consistente para los modelos basados en las características.

---

<sup>15</sup> Staub-French M, Fischer J, Kunz B, Paulson, An ontology for relating features with activities to calculate costs, Journal of Computing in Civil Engineering, Vol. 17, No. 4, 2003, pp. 243-254

Simultáneamente, en el año 2003 D. Castro-Lacouture, M.J. Skibniewski,<sup>16</sup> aplicaron modelos e-work para la automatización de los sistemas de gestión de materiales de construcción. La investigación tenía como objetivo rediseñar los procesos manuales, tales como: cantidades de obra, licitaciones y revisiones de materiales, para efectuarlos con un enfoque colaborativo usando la tecnología e-commerce, debido a los numerosos conflictos que surgían entre los interesados en procesos de construcción.

Del mismo modo, las investigaciones en los modelos e-Work permitían un conjunto de aplicaciones en sistemas de gestión de insumos de construcción para facilitar intercambios de diseños e información del proyecto entre contratistas, diseñadores y proveedores. Los beneficios esperados incluían mejoras en las técnicas de resolución de conflictos, entregas más rápidas, y por consiguiente, menores tiempos de espera.

Aún así, con todas las mejoras que traía la automatización en la construcción, en muchos casos ésta se veía supeditada al nivel de componentes del proyecto. El mayor inconveniente que tenían las aplicaciones en 4D para la planeación en la construcción era la falta de características pragmáticas en la gestión del sitio tales como: análisis de recursos necesarios para actividades de construcción, generación de planos para instalaciones provisionales, cuantificación de materiales de construcción y la evaluación de costos en periodos determinados.

Fue así, hasta aquel mismo año, en que K.W. Chau, M. Anson, J.P. Zhang<sup>17</sup> dieron solución al problema anterior con la publicación de su artículo:

---

<sup>16</sup> D. Castro-Lacouture, M.J. Skibniewski, Applicability of e-Work models for the automation of construction materials management systems, Production Planning & Control, Volume 14, Issue 8, 2003 , pp. 789 - 797

<sup>17</sup> K.W. Chau, M. Anson, J.P. Zhang, Implementation of visualization as planning and scheduling tools in construction, Building and Environment, Volume 38, Issue 5, 2003, Pages 713-719

“Implementation of visualization as planning and scheduling tools in construction” con la implementación de un modelo de gestión en el sitio en 4D - 4DSMM por sus siglas en inglés “4D site management model”-, el cual proveía una capacidad de visualización 4D gráfica e incorporaba otros aspectos útiles en la administración de obra tales como: programación de obra con asignación de recursos, distribuciones instalaciones provisionales, usos de espacios de trabajo y presupuestos.

Se necesitaron alrededor de dos años para que los mismos autores publicaran “4d dynamic construction management & visualization soft 1. Development”, en donde reconocían que el constante aumento en la complejidad de los proyectos de construcción, demandaba una mayor ayuda de computadores para lograr una gestión y planeación efectiva. El documento hizo un delineamiento de la anterior implementación, y desarrolla el prototipo del 4DSMM, en aras de hacer frente a la necesidad de vincular los datos de programación a los gráficos tridimensionales del modelo, y proporcionar capacidad a los planeadores para ver simulaciones gráficas de los procesos constructivos en cualquier periodo de tiempo.<sup>18</sup>

A través de varios ensayos, este prototipo del modelo extendió la tecnología 4D a las áreas de: gestión de recursos, utilización de sitios en obra y planificación de construcción de edificaciones, y propicio el desarrollo de un nuevo sistema de plataforma (gráficos para la construcción y la utilización de los sitios –GCPSU por sus siglas en inglés “Graphics for Construction Planning Site Utilization”- para implementar al modelo 4DSMM. Las características del sistema de plataforma, incluyendo la integración de la gestión dinámica de recursos y el apoyo de toma de decisiones, se emplearon en el modelo (4DSMM) para facilitar y adaptar las prácticas de gestión en la construcción.

---

<sup>18</sup> K.W. Chau, M. Anson, J.P. Zhang, 4D dynamic construction management and visualization software: 1. Development , Automation in Construction 14 (2005) 512– 524

Dos años después del debate que sostuvo Jerry Laiserin en una conferencia sobre las grandes potenciales del BIM en el año 2003. A los autores del artículo: “Building Information Modeling: Two Years Later –Huge Potential, Some Success and Several Limitations” Ian Howell y Bob Batcheler<sup>19</sup>, les pareció de utilidad contrastar en su artículo los hallazgos en los proyectos piloto a nivel mundial que implementaron el software BIM contra las expectativas que se habían creado en dicha conferencia. Con el fin de proporcionar una base y unos parámetros, se evaluó el desempeño que había obtenido el software y se destacaron las experiencias buenas y malas que se habían tenido con la implementación del programa, de modo que también sirviera como retroalimentación para futuras implementaciones. Se mencionaron también los diferentes sistemas de BIM disponibles en el mercado, y se realizaron varias pruebas para saber si la implementación de este software realmente funcionaba en la práctica.

En el mismo año, los autores Ghang Lee, Rafael Sacks y Charles M. Eastman<sup>20</sup>, aseveraron que la mejor forma para comunicar el conocimiento y la experiencia en los modelos de edificaciones era a través del modelado paramétrico. Por medio de ecuaciones numéricas, expresiones declarativas y valores nominales, se podían asignar parámetros para definir las relaciones entre dos o más entidades geométricas.

El documento comenzaba describiendo brevemente las características del modelo paramétrico y discutía las limitaciones y dificultades del mismo, luego se introducía la notación y la descripción del método BOB (del inglés Building Object Behavior) ilustrado con ejemplos. Además, se exploraba también la medida en que

---

<sup>19</sup> H Howell, I. Batcheler, B. Building information modeling two years later-huge potential, some success and several limitations. The Laiserin Letter. 2005. Vol 22.

<sup>20</sup> Ghang Lee, Rafael Sacks y Charles M. Eastman, Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system, Automation in Construction, Volume 15, Issue 6, 2006, pp. 758-776

el diseño y el conocimiento ingenieril podían ser integrados para producir software de modelación de información en la construcción. El estudio se centraba en la descripción y notación del método del comportamiento de los objetos de la edificación, desarrollando un protocolo para el diseño, validación y distribución de las intenciones del diseñador de los objetos paramétricos.

Dentro del documento los autores expusieron brevemente la historia del modelado paramétrico,

“Los modelos paramétricos fueron inicialmente desarrollados como soluciones para el re uso de los existentes diseños o planos. La primera solución que se dio a conocer fue la de adicionar una dimensión explícita como un parámetro definido por el usuario ó como una limitante geométrica. Estas soluciones no fueron llamadas modelos paramétricos cuando fueron introducidos por primera vez sino más bien fueron llamados modelado manejado por dimensiones”.

Con la intención de exhortar a los investigadores a cambiar el enfoque predominante de resolver y optimizar las restricciones geométricas del modelado paramétrico, se resaltó el enfoque que propuso Sang K Park en su documento: “Knowledge capturing methodology in process planning”, que a diferencia de los demás investigadores procuró establecer y ampliar el conocimiento de dominio en forma de relaciones geométricas explícitas. El enfoque que Sang sugirió, proponía un método en el que se representaba un plan de procesos, usando un diagrama de transición de estados basado en una metodología de modelado de tres fases, las que consistían en: un modelo de objetos, un modelo funcional y un modelo dinámico. La finalidad de éste, era lograr la perfecta y eficaz ejecución de agujeros para el área de ingeniería mecánica.

En el año 2007, los software de simulación en 4D eran capaces de generar visualizaciones de los procesos constructivos a través de la duración total del proyecto, a partir de la existencia de un modelo en 3D relacionado con una programación de obra, por lo que ofrecían unos métodos de vinculación (entre objetos y actividades) manuales o semiautomáticos para proporcionar un nivel detallado en la visualización. Siguiendo este orden de ideas, la vinculación manual de los objetos con las actividades resultaba ser un proceso engorroso, hasta tal punto que no lo realizaban los programadores de obra, debido a la falta de aplicaciones para la integración del software de simulación, lo que generaba una degradación en la planeación en 4D y la llevaba a convertirse en un proceso no interactivo. Anudado a esto, los problemas que eran enfrentados durante la evaluación de una simulación en 4D, solo podían ser abordados después de que la programación había sido completada.

Aunque las ventajas del software eran reconocidas, los esfuerzos para crear las simulaciones en 4D eran demasiado altos en comparación con el único beneficio que éstas proporcionaban: visualización de secuencias constructivas. Razón por la cual Jan Tulke y Jochen Hanff <sup>21</sup> creían que era el mayor inconveniente para alcanzar la popularidad del software.

Con base en esto los autores propusieron en su documento un método para incrementar la eficiencia en la creación de simulaciones en 4D, y por ende, volver más llamativo el beneficio que estas ofrecían. Para mejorar significativamente en la creación de una simulación en 4D, los autores sugerían un nuevo enfoque que tomaba en cuenta las cantidades de obra dentro de la programación. Al estar los objetos de CAD en 3D ligados a las cantidades de obra, se generó un beneficio instantáneo, ya que al seleccionar los objetos se podía tener inmediatamente un

---

<sup>21</sup> Jan Tulke y Jochen Hanff, 4d construction sequence planning – new process and data model, Proceedings of CIB-W78 24th International Conference on Information Technology in Construction, Maribor, Slovenia, 2007, pp. 79-84

estimado de las cantidades que estaban asociadas a la construcción del mismo. Asimismo se generaron también beneficios en los procesos de simulación y planeación de recursos. Este enfoque de simulación en 4D fue probado en un nuevo centro de una corporación de comunicación de medios “suddeutscher Verlag” en Munich, Alemania.

Algunos planificadores de la construcción utilizan el método de la ruta crítica (CPM) para integrar un producto con un proceso. Lo que conllevaba a programaciones muy detalladas, las cuales eran muy difíciles de usarlas y actualizarlas, por lo que perdían su valor como instrumentos para planificar y controlar el flujo de trabajo. Por esto, R. Kenley <sup>22</sup> ilustró las dificultades del manejo de la información para una programación detallada de un edificio de 50 pisos, donde se manejaron alrededor de 25.000 actividades individuales.

En vista de que el método CPM (critical path method) en la programación de obra no suministraba suficiente información en lo que se refería al contexto espacial y a las complejidades del proyecto, y basados también en la necesidad de diseñar un proceso que asegurara un continuo flujo de recursos a través de los diferentes sitios de trabajo dentro del proyecto, los autores del artículo: “A method for planning of work-flow by combined use of location-based” publicado en el año 2007 Rogier Jongeling y Thomas Olofsson <sup>23</sup>, sugirieron que las programaciones basadas en locaciones proporcionarían una alternativa promisorio para las planeaciones basadas en actividades (CPM), en lo que respectaba a la planeación de los flujos de trabajo.

---

<sup>22</sup> R. Kenley, Project micromanagement: practical site planning and management of work flow, in: S. Bertelsen, C.T. Formoso (Eds.), IGLC- 12, 12th Conference of the International Group for Lean Construction, Helsingor, Denmark, 2004, pp. 194–205.

<sup>23</sup> R. Jongeling, T. Olofsson, A method for planning of work-flow by combined use of location-based, Automation in Construction 16, 2007, pp. 189–198

Uno de los principales acontecimientos que distinguió al año 2008 fue la celebración de los juegos olímpicos de verano. Beijing, ciudad anfitriona de estos juegos, tuvo que modificar gran parte de su infraestructura para albergar con altos estándares a las personas que observaron y participaron en este magnánimo evento. El estadio nacional obra emblemática de los juegos sirvió de lugar para las ceremonias de inauguración y finalización en donde se podrían acomodar alrededor de 91.000 espectadores.

Para conocer la gestión en éste proyecto de gran escala, los administradores requirieron no solamente las tecnologías innovadoras de construcción sino que también necesitaron de metodologías de gestión más eficientes. Por esto, Zhang Jianping<sup>24</sup>, y otros presentaron las aplicaciones de 4D GCPSU (graficas en 4D de construcción, programación de obras y utilización de sitio), un sistema de gestión en la construcción desarrollada por la Universidad Tsinghua con el SDEA, y un sistema de simulación de operaciones desarrollado por Hong Kong Polytechnic University, mientras que Las operaciones de simulación y optimización de la estructura de acero fueron proporcionadas en sitio por los ingenieros a manera de recomendaciones prácticas en la programación y en la distribución de lugares dentro de obra.

Las operaciones de simulación y de optimización de las instalaciones de la estructura de acero, proporcionaron a los ingenieros de obra recomendaciones valiosas y prácticas en la programación y distribución de obra. Anudado a esto, la programación optimizada, permitía la visualización en 4D del entorno del proyecto, en donde se podían descubrir conflictos espacio temporales a tiempo y asistir a los administradores de proyectos para reprogramar las actividades de construcción de acuerdo con la distribución de obra y la ubicación de los recursos.

---

<sup>24</sup> Zhang Jianping, Zhang Yang, Hu Zhenzhong, Lu Ming, Construction management utilizing 4D CAD, Volume 13, Number S1, 2008, pp. 241-247

Con el fin de aumentar la productividad en la industria de la construcción, las tecnologías emergentes se han venido introduciendo y aplicando en esta tradicional y reacia industria. Entre los materiales de construcción, el acero ha llamado la atención de los investigadores, ya que éste tiene la particularidad de acortar la duración de las construcciones tradicionales, por el hecho de no requerir largos tiempos de fraguado.

Tomando así, mayor protagonismo el papel de los administradores de obra, ya que era de vital importancia que estos pudieran estar seguros de que las piezas correctas se ensamblaran en los lugares y tiempos indicados. Hu Wenfa <sup>25</sup>, consideró esencial monitorear los elementos estructurales, por lo que integró la tecnología de identificación de radio frecuencia –RFID (Radio Frequency Identification)- y el CAD de 4D, en un sistema de gestión y control dinámico de la construcción para minimizar los problemas y riesgos en la gestión de procesos en trabajos estructurales en acero, y que al mismo tiempo redujera el tiempo de obtención de información, controlando de la misma manera la calidad de los materiales en obra.

Las ondas de radio utilizadas por la tecnología RFID, posibilitaron la sustitución de los códigos de barras debido a que estos últimos eran susceptibles al deterioro del tiempo, polvo y otros contaminantes que dificultan la obtención de la información.

Evocando las intenciones de Ian Howell y Bob Batcheler dos años atrás, Ning Gu, y otros<sup>26</sup>, volvían a resaltar en el año 2008 las brechas existentes y a desarrollar directrices o guías para lograr una mayor adopción del software BIM. Financiados por el Centro Australiano de Investigación Cooperativa para la Innovación de la Construcción, los autores elaboraron entrevistas a grupos de enfoque de la

---

<sup>25</sup> Hu Wenfa, Integration of Radio-Frequency Identification and 4D CAD in Construction Management, Volume 13, Number S1, 2008, pp. 151-157

<sup>26</sup> Ning Gu, Vishal Singh, Jerry Tsai, Claudelle Taylor, Kerry London y Ljiljana Brankovic, Industry perception of BIM adoption in design sector, 8th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, 2008

industria de la construcción, con la finalidad de generar una retroalimentación que pudiese cambiar prácticas de trabajo, el papel de la tecnología, la percepción del BIM y las expectativas que se tenían de la industria de la construcción.

Para el desarrollo del artículo, las entrevistas fueron grabadas y analizadas desde un enfoque abierto para identificar los temas principales, de los cuales se determinaron algunos claves, como las versiones de gestión, estructuración y organización de la información, intercambio de información, derechos de la información, etc. Aunque muchos de estos problemas fueron previstos anteriormente, las nuevas perspectivas que proporcionaron las entrevistas de los grupos de enfoque ayudaron a esclarecer las causas de las bajas tasas de aceptación del BIM de ese entonces.

Con la analogía entre el software de Microsoft, Excel y el software BIM comenzaba su artículo Christophe Cruz <sup>27</sup> de la Universidad de Bourgogne, en su reporte técnico titulado: “Building Information Modeling” del año 2008, señaló que tanto los sistemas BIM como las hojas de Excel permitían que los cambios que se hicieren en un proyecto o en una hoja de cálculos se pudiesen realizar sin tener que llevar a cabo engorrosas re coordinaciones ni chequeos. Al poder realizar cambios sin mayores esfuerzos, los diseñadores tenían a su disposición diferentes opciones para poder tomar decisiones en el proyecto, disminuyendo así, las probabilidades de cometer errores. En aquel reporte Cruz veía al software BIM como un facilitador de la interoperabilidad, integración y colaboración en la industria de la construcción.

En el reporte técnico de Cruz se exponían también múltiples definiciones del software BIM por autores como Lee (2006), el cual definió al BIM como un facilitador de la interoperabilidad, integración y colaboración en la industria de la

---

<sup>27</sup> Christophe Cruz, Building Information Modeling, Technical report Université de Bourgogne Laboratoire Le2i, 2008.

construcción. El termino BIM se utilizaba para señalar la nueva generación de tecnologías de información y diseños asistidos por computadora (CAD) para las edificaciones enfocadas principalmente al diseño y producción de planos. BIM es el proceso de generar, almacenar, administrar, intercambiar y distribuir información de la edificación en una manera reutilizable e interoperable. Un sistema BIM es una herramienta que permite a los usuarios integrar y reutilizar la información y el dominio de conocimiento a través del ciclo de vida del proyecto.

De acuerdo con Cruz (2008), El sistema del BIM es un sistema central que maneja varios tipos de información como planeación de recursos organizacionales, paquetes de análisis de recursos, reportes técnicos, reportes de reuniones, etc. No obstante, la principal característica del BIM es el modelado de un sistema en 3D con gestión, distribución e intercambio de la información durante el ciclo de vida del proyecto. Además de esto, el modelado paramétrico provee un poderoso mecanismo que puede automatizar la generación de la información de construcción. Sobre todo esos mecanismos en conjunto con el comportamiento de los objetos en construcción (BOB) y con los sistemas basados en objetos facilitan el mantenimiento y la validez de los diseños de construcción.

Partiendo de la concepción del BIM como un dominio expansivo del conocimiento entre la ingeniería, la arquitectura y la construcción, y de la necesidad de unir la parte académica con la industria de la construcción de aquel entonces, Bilal Succar<sup>28</sup> propuso definir y delimitar los alcances del software para permitir investigaciones sistemáticas en sus campos divergentes, creando así, un marco de trabajo que proporcionara ciertas bases o fundamentos a los inversionistas de la construcción, y por ende, lograba crear una comprensión integral del mismo. Dentro de su artículo propuso escenarios e identificó las partes conceptuales del marco de trabajo del software a través de modelos de conocimiento visuales y de

---

<sup>28</sup> Succar Bilal, Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders, *Automation in Construction* 18, 2009, pp. 357–375

una ontología especializada para representar el dominio de conocimientos, en donde se proporcionaban ejemplos de sus aplicaciones y se enumeraban algunos de sus resultados.

Según Succar, “un marco de trabajo es una estructura de información que representa una situación estereotipo, y ligados a éstos están los diferentes tipos de información”. Algunos de estos tipos de información hablaban sobre cómo se utiliza el marco de trabajo, otros vislumbraban acerca de lo que se podía esperar que pasaría en un futuro, y los últimos trataban sobre qué hacer si las expectativas que se tenían del software no eran confirmadas. A manera de conclusión el autor proponía pensar en un marco de trabajo como una red de nudos y relaciones.

Succar representó así mismo el marco de trabajo con un modelo triaxial de conocimiento, en donde los campos de actividades irían en el eje X, el delineamiento de las etapas de las actividades en el eje Y, y los lentes de profundidad y amplitud de investigación estarían en el eje Z.

#### **4. EJEMPLO EXPLORATORIO DEL SOFTWARE BIM**

El ejemplo exploratorio consistió en implementar la tecnología BIM a un proyecto sencillo, elemental, en el que se pudiera aprender a manejar las herramientas del software; En base a esto, se escogió una edificación de uso residencial de dos pisos de altura. Construcción que por sus características facilitaba los aprendizajes que se estaban adquiriendo de las herramientas y aplicaciones del BIM.

La simulación en 4D de la edificación requirió principalmente de la ejecución de dos actividades: la modelación geométrica en 3D del proyecto y la programación de obra. La primera actividad fue desarrollada con los software de diseño que provee Autodesk: Revit Architecture (diseños arquitectónicos) Revit Structural (diseños estructurales), Autodesk MEP (diseños eléctricos e hidrosanitarios)- por sus siglas en inglés “Mechanical Electrical and Plumbing” - no se utilizó en este ejemplo exploratorio debido a que requiere dominio en temas de redes y circuitos eléctricos, los cuales quedan por fuera de las competencias de un ingeniero civil. Cabe anotar que los diseños de cualquier proyecto de construcción son el resultado de esfuerzos de profesionales de diferentes áreas (arquitectos, ingenieros estructurales, ingenieros eléctricos e hidrosanitarios), por lo que no es posible que los realice en su totalidad sólo un ingeniero civil.

Para desarrollar la modelación de la parte arquitectónica se exportaron desde Autocad 2010 a Revit Architecture las plantas de los pisos 1 y 2 de la edificación, y a partir de estas se empezó a modelar la edificación en lo referente a los elementos no estructurales. Una vez lista esta parte, se agregaron los elementos estructurales tales como: zapatas, losas de entrepiso y columnas (para efectos de simulación no se tuvo en cuenta el acero pero si se tomo en cuenta en los tiempos

de programación), a partir de las familias de elementos estructurales disponibles en Revit.

Simultáneamente se trabajo con la programación de obra en Microsoft Project 2007, para que una vez terminado el modelo tridimensional de la edificación, se tuvieran determinados los tiempos que deberían tardar las actividades del proyecto y se pudieran asignar a las actividades para su posterior simulación en el software Navisworks.

En el programa Autodesk Navisworks, se fusionaron el modelo y la programación para generar la modelación en 4D del proyecto. La programación que se utilizo para simular el modelo fue creada y vinculada manualmente a los objetos del modelo tridimensional a través de la herramienta TimeLiner de este software, debido a que era más fácil de enlazar los objetos con las actividades en el mismo software, qué exportar la programación desde Microsoft Project y después vincularla con los objetos del modelo tridimensional.

La implementación de este software trajo ventajas tanto en el corto como en el largo plazo, tales como:

- Mejor comprensión del proyecto. La simulación muestra las secuencias de ejecución de las actividades, posibilitando visualizar el diseño en cualquier etapa del proceso constructivo.
- Al ser el modelo tridimensional de la edificación la fuente de todos los planos tanto en 2D como en 3D, los errores por inconsistencias son eliminados
- Se mejora la coordinación entre los diseñadores y contratistas y los errores son reducidos significativamente, lo que aumenta la velocidad de los procesos de construcción, reduce los costos y minimiza la probabilidad de disputas legales (Eastman et al. 2008).

- Facilidad al elegir alternativas de diseño. Cualquier cambio en el modelo del proyecto permite evaluar los costos que implicaría, por ende se tomarían decisiones más ceñidas al presupuesto inicial pactado con el cliente.
- Cuantificación de cantidades de obra. El software calcula de manera automática las cantidades de obra al realizar el proyecto, inclusive calcula movimientos de tierra. Herramienta útil para poder elegir opciones de diseños de acuerdo al presupuesto asignado del proyecto.
- Detección de interferencias entre los diseños del proyecto, lo que coordina todos los diseños y prevé errores que si se identifican tarde pueden llegar a causar retrasos y por ende sobrecostos en la obra.
- Integración de los participantes diseño. Transferencias de datos, en donde los cambios que haga cualquier participante se reflejen automáticamente en las demás partes que estos afecten.

Por otro lado el software presenta desventajas tales como:

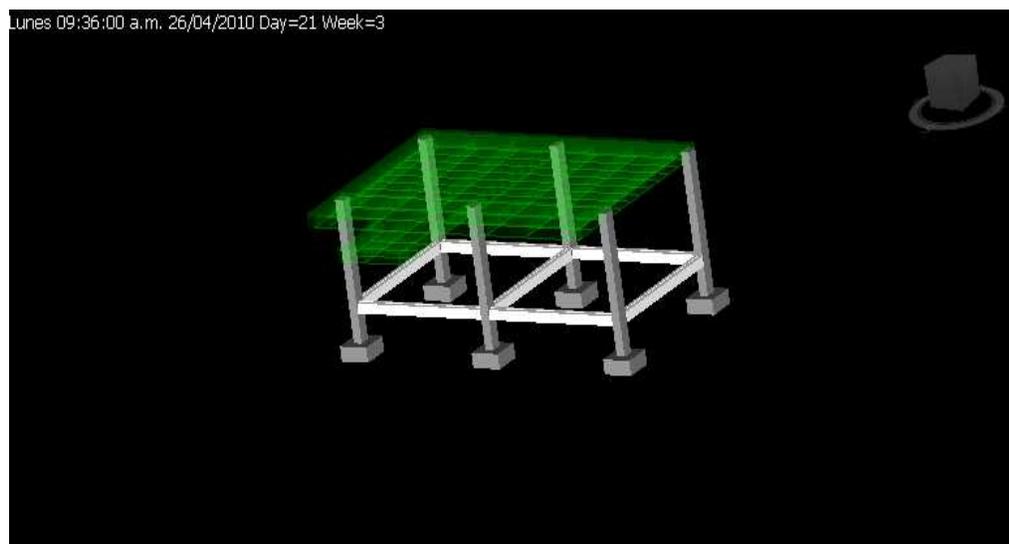
- La adopción por parte de todos los participantes del software BIM, en donde las industrias tienen sus preferencias por los software, y más en esta industria tan reacia en donde los avances tecnológicos son enajenados a otros sectores industriales.
- Las familias del software Revit vienen de acuerdo a estándares de Norteamérica por lo tanto existe la necesidad de crear las familias de elementos para trabajar de acuerdo a las normas técnicas y sismo resistentes Colombianas que referencien los materiales y tecnologías de construcción disponibles en el mercado Colombiano.
- Los altos costos, en software equipos y capacitaciones en un mercado en donde no se valora la innovación. Sino los precios bajos.



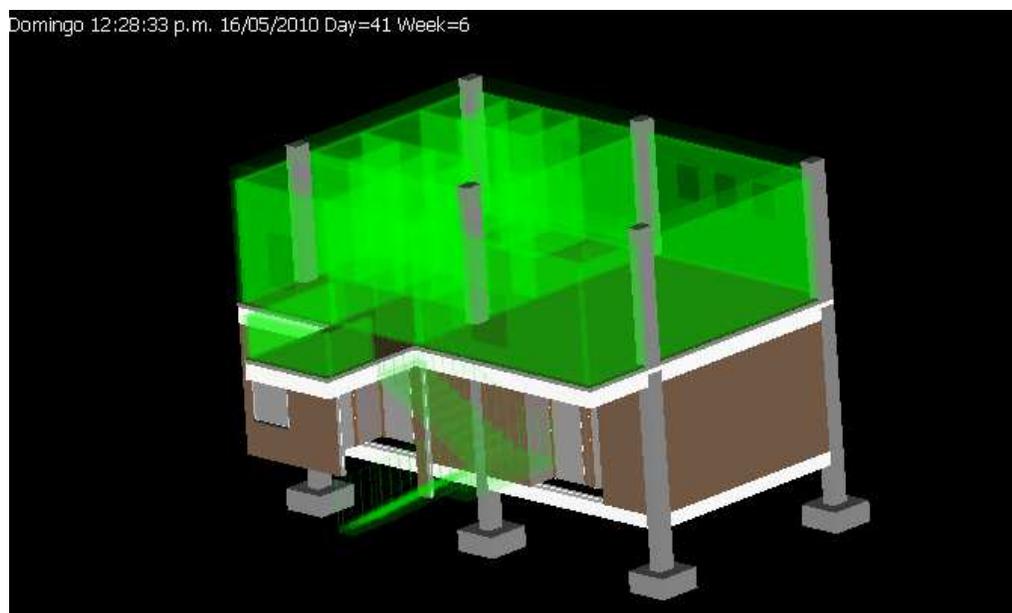
**Figura 1 Modelo tridimensional ejemplo exploratorio**



**Figura 2 Modelo tridimensional ejemplo exploratorio**



**Figura 3 Simulación Navisworks (construcción losa entepiso)**



**Figura 4 Simulación Navisworks (muros nivel 2 y escalera)**

Ver archivos digitales del desarrollo del ejemplo exploratorio en Anexo 1

## 5. ESPECIFICACIONES Y DELIMITACIONES DEL SOFTWARE BIM

Para implementar la tecnología BIM se requiere de la adquisición de cuatro programas de la familia Autodesk<sup>29</sup> los cuales son:

Autodesk Revit Architecture.

Autodesk Revit Structural.

Autodesk MEP.

Autodesk Navisworks.

Autodesk, fabricante del software recomienda unas especificaciones mínimas para poder ejecutar cada software en particular, pero para efectos prácticos se simplificaran todas estas en tres principales características que deberá tener una computadora para correr sin dificultades los anteriores programas.

- Procesador:

Sistemas operativos Windows 7 de 32-bit y Windows Vista de 32-bit SP2: requieren procesadores Intel Pentium 4 o AMD Athlon dual core, 3.0 GHz con tecnología SSE2 o equivalentes.

Sistema operativo Windows XP SP2: requiere un procesador Intel Pentium 4 o AMD Athlon dual core, 1.6 GHz con tecnología SSE2 o equivalentes.

- Memoria RAM: 3 GB

---

<sup>29</sup> Existen más familias que proveen este software, pero por la compatibilidad que se tiene con Autocad se recomienda esta familia en particular.

- Tarjeta de video: 256 MB
- Disco Duro: 3 GB de espacio libre en el disco.
- Pantalla: resolución 1280 x 1024 pixeles.

Por la familiaridad que se tenía con el software de Autodesk se desarrollo con los programas de esta familia el ejemplo exploratorio, pero existen otros software que se reconocen plenamente como BIM, tales como:

- Bentley Architecture.
- Graphisoft ArchiCAD.
- Nemetschek AllPlan.
- Teckla Structures.

Luego de tener las herramientas (software y equipo) se debe capacitar al personal que va a conformar los equipos de diseño del proyecto, y se debe tratar de que todos los integrantes trabajen con el mismo software para evitar la pérdida de información contenida en los objetos que componen al modelo, al transferir archivos de un equipo a otro.

La implementación del BIM requiere una serie de pasos a seguir para que esta sea exitosa. Para lograrla, Brad Hardin<sup>30</sup> propone 10 pasos:

---

<sup>30</sup> Hardin, B. BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows. Sybex, 2009

1. Identificar un administrador BIM. Al igual que hay un director de obra en un proyecto, debe haber un administrador, que administre y facilite todos los procesos necesarios para crear y dirigir el software BIM.
2. Desarrollar un presupuesto (tiempo y costo) para la implementación y uso del software BIM.
3. Desarrollar un plan de integración, el cual consiste en un plan de adquisición del software, programas de capacitaciones, un programa de actualización del hardware, y una explicación del porque se efectuó este cambio hacia esta nueva tecnología.
4. Empezar con pequeños grupos de trabajo, la idea de este paso es comenzar con un pequeño grupo que pueda a empezar a trabajar después de las capacitaciones, para evitar que estas se les olviden los conocimientos adquiridos.
5. Mantener al administrador entrenado, de forma que mantenga a la empresa al tanto de nuevas tecnologías métodos y recursos.
6. Apoyar al administrador creando un departamento, estructurado de tal modo que la carga promedio de trabajo pueda ser efectivamente distribuida entre el equipo.
7. Atenerse al plan para la implementar BIM pero permanecer flexible a las nuevas tecnologías y otros cambios que surjan.
8. Crear recursos como tutoriales y guías internas que ayuden a crear referencias y aprendizajes para los diversos departamentos de la empresa.
9. Analizar la implementación, es decir, encontrar como el BIM está mejorando o desmejorando los procesos de la empresa.
10. Seguimiento de las nuevas propuestas de software y de las tendencias de la industria.

Como lo señalan Ian Howell y Bob Batcheler<sup>31</sup>, algunas de las limitaciones que han sido descubiertas por los pioneros en la adopción de este software son:

- El tamaño y la complejidad de los archivos que el sistema BIM crea. Para proyectos complejos, en donde se dificulta la manejabilidad de la información de la base central de datos del BIM.
- La expectativa de que todos los participantes en los diseños de proyectos adopten un solo sistema BIM. Los equipos de proyectos, tienen sus aplicaciones de software preferidas para diseñar y lo más común es que varios equipos trabajan con diferentes software lo que hace difícil el intercambio de información entre ellos.
- Los usuarios al compartir vistas del modelo como archivos de dibujo, comparten los documentos pero no comparten la información que está contenida dentro de estos, es decir la información contenida en los objetos.

Por su parte Charles Eastman en su libro: “BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors” señala que existen riesgos asociados a cualquier cambio en procesos de trabajo, cambios que se asocian con barreras, las cuales dificultan implementar las aplicaciones BIM en los proyectos de construcción. Estas barreras se pueden agrupar en dos categorías:

1. Barreras de procesos:

- Especulaciones acerca de la de si el mercado está listo o no para asimilar el cambio a BIM.

---

<sup>31</sup> Howell, I. Batcheler, B. Building information modeling two years later-huge potential, some success and several limitations. The Laiserin Letter, 2005. Vol 22.

- Implementar BIM demanda altos costos de capacitaciones y altas curvas de aprendizaje.
- Todas las empresas deben estar a bordo de la tecnología BIM para que los esfuerzos por implementarla valgan la pena.
- Existen demasiadas barreras legales y son muy costosas para superarlas.

## 2. Barreras de tecnología

- Los estándares aun no son definidos o no son globalmente adoptados.
- La tecnología está lista para diseños de disciplinas individuales mas no para diseños integrados de varias disciplinas.

A manera de conclusión, las razones principales que dificultan la adopción del BIM en Colombia son:

- La naturaleza fragmentada de la industria de la construcción.
- Premura en los diseños.
- Altas inversiones iniciales.
- Incompatibilidad entre los software que proveen esta tecnología, dificultando la transferencia de la información inteligente atribuida a los objetos del proyecto entre los grupos interdisciplinarios.
- Arraigo a los procesos del sector de la construcción tradicionales.
- Poca popularidad del software entre las firmas constructoras.
- Miedo al cambio.
- Poca exigencia del sector por aprender nuevas tecnologías y métodos, por el hecho de que se valoran más en las licitaciones los precios bajos que la calidad de los proyectos.

## 6. CONCLUSIONES

- La tecnología BIM ofrece más ventajas que CAD, pero de todas estas, la más importante es la habilidad de compartir la información inteligente entre los grupos interdisciplinarios de la edificación a través de los diferentes modelos.
- El éxito de un proyecto es proporcional al grado de definición en el diseño del mismo, en donde no tenga problemas en cuanto a la incertidumbre de la etapa constructiva.
- Implementar la tecnología BIM en los proyectos de construcción va más allá de la adquisición de los programas que lo componen y de tener las herramientas adecuadas para ejecutarlo, requiere en sí, un cambio de mentalidad, en donde se cree una interconexión entre los grupos interdisciplinarios que participan en los diseños: Calculistas, arquitectos, eléctricos e hidrosanitarios, y se elimine la fragmentación que existe hoy en día para poder satisfacer con creces las expectativas del cliente y elaborar un producto de calidad.
- El papel que juega BIM en la creación y coordinación de los objetos como fuentes inteligentes (paramétricas) de información es sumamente importante para acabar la fragmentación que agobia al sector de la construcción, por lo que es fundamental que información que se transfiera entre los distintos equipos coexista con los diferentes modelos que componen al proyecto para que se logre siempre cumplir las metas pactadas en la concepción del proyecto con altos estándares.

## 7. RECOMENDACIONES

Reflexiones fruto del trabajo y sugerencias para posteriores proyectos.

Siendo la industria de la construcción el sector con más influencia en la economía de nuestro país principalmente por su aporte a la generación de empleo y por la gran cantidad de sectores que engloba, es desconcertante ver que no existen esfuerzos por parte de las empresas constructoras a la integración de los sectores que se involucran para la ejecución de proyectos.

Los altos grados de fragmentación que se presentan en los proyectos de construcción son mitigados con la implementación de esta tecnología, a partir de una base de datos en donde se integran los conocimientos aislados de los grupos interdisciplinarios y se crea de cierto modo coordinación y coherencia entre los modelos generados por los mismos.

En este trabajo de grado se indagó acerca del origen y la evolución de esta nueva tecnología, y además se exploraron las aplicaciones de ésta en un proyecto de construcción una edificación evaluando tanto los beneficios como las desventajas que esta podía implicar. Todo este trabajo se realizó con el fin de compartir experiencias personales que sean de utilidad para que cualquier profesional que quiera implementar BIM, tenga más argumentos para poder decidir si es factible realizar esta inversión.

Para trabajos futuros recomiendo trabajar con el software de Autodesk, debido a que es de un manejo muy intuitivo y presenta una excelente compatibilidad con AutoCAD, el cual es muy utilizado en nuestro país. También recomiendo trabajar paralelamente con otras disciplinas para así poder tener un modelo integral del proyecto, y que con éste se puedan emplear la totalidad de las herramientas de esta tecnología para lograr acabar con la fragmentación que existe en los diseños.

## BIBLIOGRAFÍA

- McKinney K, Kim J, Fischer M, Howard C. Interactive 4D-CAD. Proceedings of the Third Congress on Computing in Civil Engineering. Anaheim, CA: ASCE, 1996. pp. 383–389.
- McKinney K, Fischer M, Kunz J. Visualization of construction planning information. Proceedings of Intelligent User Interfaces 98. San Francisco, CA: ACM, 1998. pp. 135–138.
- Retik, A. Warszawski, A. Banai. The use of computer graphics as a scheduling tool. Build. Environ. 25 (2) (1990) 132–142.
- M. Williams. Graphical simulation for project planning: 4Dplanner, Proceedings of the Third Congress on Computing in Civil Engineering. ASCE, Anaheim, CA, 1996. pp. 404–409.
- E. Collier, M. Fischer. Visual-based scheduling: 4D modeling on the San Mateo county health center, Proceedings of the Third Congress on Computing in Civil Engineering, ASCE, Anaheim, CA, 1996. pp. 800–805.
- K. McKinney, J. Kim, M. Fischer, C. Howard. Interactive 4DCAD, Proceedings of the Third Congress in Computing in Civil Engineering, ASCE, Anaheim, CA, 1996, pp. 383–389.

- T. Adjei-Kumi, A. Retik. A library-based 4D visualization of construction processes, Proceedings of the Information Visualization Conference, IEEE, Piscataway, NJ, 1997, pp. 315–321.
- K. McKinney, M. Fischer. Generating, evaluating and visualizing construction schedules with CAD tools, Autom. Constr. 7 (6) (1998) 433–447.
- K.M. Liston, M. Fischer, J. Kunz. 4D annotator: a visual decision support tool for construction planners, in: Kelvin C.P. Wang (Ed.), Computing in Civil Engineering, Proceedings of International Computing Congress, Boston, October 18–21, ASCE, 1998, pp. 330– 341.
- S. Staub-French, M. Fischer, M. Spradlin. Into the fourth dimension, Civil Eng. 69 (5) (1999) 44–47.
- B. Koo, M. Fischer. Feasibility study of 4D CAD in commercial construction, J. Constr. Eng. Manag., ASCE 126 (4) (2000) 251–260.
- V.R. Kamat, J.C. Martinez. Visualizing simulated construction operations in 3D, J. Comput. Civ. Eng., ASCE 15 (4) (2001) 329–337.
- V.R. Kamat, J.C. Martinez. Scene graph and frame update algorithms for smooth and scalable 3D visualization of simulated construction operations. Comput.-Aided Civil Infrastruct. Eng. 17 (4) (2002) 228–245.
- K.W. Chau, M. Anson, J.P. Zhang. Implementation of visualization as planning and scheduling tool in construction, Build. Environ. 38 (5) (2003) 713– 719.

- N. Dawood, E. Sriprasert, Z. Mallasi, B. Hobbs. Development of an integrated information resource base for 4D/VR construction processes simulation. *Automation Construction*. 12 (2) (2003) 123–131.
- J. Son, M.J. Skibniewski. Multiheuristic approach for resource leveling problem in construction engineering: hybrid approach. *Journal Construction Engineering Management*, ASCE 125 (1) (1999) 23– 31.
- K.W. Chau, Y. Cao, M. Anson, J.P. Zhang. Application of data warehouse and decision support system in construction management. *Autom. Constr.* 12 (2) (2002) 213– 224.
- S. Staub-French, M. Fischer, J. Kunz, B. Paulson, An ontology for relating features with activities to calculate costs, *J. Comput. Civ. Eng.*, ASCE 17 (4) (2003) 243–254.
- D. Castro-Lacouture. M.J. Skibniewski, Applicability of e-Work models for the automation of construction materials management systems, *Prod. Plan. Control* 14 (8) (2003) 789– 797.
- I. Tommelein, P. Zouein. Interactive dynamic layout planning, *J. Constr. Eng. Manag.*, ASCE 119 (2) (1993) 226– 287.
- D. Riley, V. Sanvido. Space planning for mechanical, electrical, plumbing and fire protection trades in multi-story building construction, 5th Construction Congress ASCE, New York (1997) 102– 109.
- B. Akinci, M. Fischer, J. Kunz. Automated generation of work spaces required by construction activities, *J. Constr. Eng. Manag.*, ASCE 128 (4) (2002) 306– 315.

- K.W. Chau, M. Anson, D.D. De Saram. 4D dynamic construction management and visualization software. 2: site trial, Autom. Constr. (2004).
- Industry Alliance for Interoperability (IAI). Industry Foundation Classes 2.0, Specifications volumes 1–4, Washington, D.C., 1998.
- Mourgues, C. Fischer, M. Tecnologías de información: investigaciones aplicadas a la industria de la construcción, Stanford University. CIFE Technical report, 2001
- Chau, KW. Anson, M. Zhang, JP. Implementation of visualization as planning and scheduling tool in construction, Building and environment, volume 38, 2003. pp. 713-719
- Chau, KW. Anson, M. Zhang, JP. 4D dynamic construction management and visualization software: 1. Development. Automation in Construction. Vol 14, 2005. pp 512– 524
- Howell, I. Batcheler, B. Building information modeling two years later-huge potential, some success and several limitations. The Laiserin Letter. 2005. Vol 22.
- Lee, G. Sacks, R. Eastman, C.M. Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system. Automation in Construction. Vol 15, 2006. pp 758 – 776.
- Tulke, J. Hanff, J. 4D construction sequence planning-new process and data model. Proceedings of CIB-W78 24th International Conference on Information Technology in Construction, Maribor, Slovenia, 2007. pp 79-84.
- Jongeling, R. Olofsson, T. A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. Automation in Construction. Vol 16, 2007. pp 189-198.

- Zhang, J. Zhang, Y. Hu, Z. Lu, M. Construction Management Utilizing 4D CAD and Operations Simulation Methodologies. Tsinghua Science & Technology. Vol 13, 2008. pp 241-247.
- Yagi, J. Arai, E. Arai, T. Parts and packets unification radio frequency identification (RFID) application for construction. Automation in Construction. Vol 14, 2005. pp 477-490.
- Gu, N. Singh, V. Tsai, J. Taylor, C. London, K. Brankovic, L. Dawood, N. Ali, M. Shireen, P. Kassim, J. Industry perception of BIM adoption in design sector, 2008.
- Christophe, C. Le2i, L. Building Information Modeling, Technical Report, 2008.
- Succar, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction. Vol 18, 2009. pp 357-375.
- Eastman, C. Teicholz, P. Sacks, R. Liston, K. BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors, 2008.
- Kymmell, W. Building information modeling: planning and managing construction projects with 4D CAD and simulations, McGraw-Hill, 2008.
- Hardin, B. BIM and Construction Management: Proven Tools, Methods, and Workflows. Sybex, 2009

## **ANEXO 1. Archivo digital ejercicio exploratorio**