

Evaluación de alternativas de modelado y visualización para la construcción

Jorge Alonso Isaza Pulido

Arquitecto Especialista

Investigación realizada para obtener el título de
Máster en ingeniería con énfasis en gestión de la construcción

Profesor tutor, Luis Fernando Botero Botero

Universidad EAFIT

Escuela de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil

Grupo de Investigación en Gestión de la Construcción

Medellín

2015

Nota de aceptación:

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Medellín, _____ 2015

“ Es indigno de hombres excelentes desperdiciar las horas como esclavos en la labor de calcular, lo que sin riesgo podría relegarse a alguien más, si se utilizaran máquinas ”

Gottfried Leibniz (Alemania, 1646)

Resumen

Durante décadas las prácticas de CAD [*computer-aided design*: diseño asistido por computador] han estado presentes en los proyectos de AEC/FM [*architecture, engineering, construction and facilities management*: arquitectura, ingeniería, construcción y administración de inmuebles]; sin embargo, los últimos años las prácticas de BIM [*building information modeling*: modelado de información en construcción] están seduciendo a los profesionales en Colombia y en el mundo, por sus grandes ventajas, como la capacidad de procesar de manera integrada la información geométrica y no geométrica de los proyectos.

Para muchas empresas y profesionales colombianos el BIM es un nuevo *software* que permite la representación de modelos en tres dimensiones; sin embargo desconocen el alcance actual de esta nueva metodología para la gestión de proyectos de AEC/FM, que permite aprovechar el conocimiento y la experiencia de los profesionales que participan, mejorar la dirección y control de procesos tradicionalmente críticos, relacionados con la constructabilidad, el tiempo, los costos, la operación, la sostenibilidad, la seguridad, etc., y pensar en el mediano y largo plazo en el uso de tecnologías innovadoras, como la realidad virtual, la realidad aumentada, la identificación de objetos, el escaneo en 3D, la construcción automatizada, la fabricación asistida por computador, la impresión en 3D y los robots constructores.

Considerando lo anterior, Autodesk, Bentley Systems, Nemetschek Group, Trimble y otros destacados fabricantes de software ofrecen decenas de alternativas; sin embargo, la falta de investigación lleva a las empresas y profesionales de AEC/FM a dudar y a esperar en la implementación del BIM, por sus costos y especialmente porque desconocen las mejores alternativas de modelado y visualización para la construcción, que les permita pasar de las prácticas tradicionales a las prácticas del BIM de manera exitosa.

Al respecto, la presente investigación permite conocer el panorama completo del BIM, que incluye la descripción y el análisis de los múltiples modelos y conceptos, los aspectos técnicos, legales y comerciales de la tecnología informática, la opinión de los profesionales colombianos, la ejecución de ejercicios prácticos, las estrategias empresariales y los acuerdos comerciales de los fabricantes. Así, considerando lo anterior, se recomiendan las mejores alternativas de modelado y visualización para la construcción, que las empresas y profesionales colombianos de AEC/FM deben tener en cuenta si deciden su implementación.

Palabras-clave: BIM, AEC/FM, modelado, visualización, trabajo colaborativo, innovación en construcción, *software*, *buildingsmart*, interoperabilidad, encuesta, ejercicios prácticos.

Abstract

For decades the practice of CAD (computer-aided design) have been present in projects AEC/FM (architecture, engineering, construction and facilities management); however, in recent years the practice of BIM (building information modeling) are seducing the professionals in Colombia and the world, for their great advantages such as the ability to process in an integrated manner the geometric and non-geometric information of the projects.

For many companies and Colombian professionals BIM is a new software that allows the representation of three-dimensional models; however unaware of the actual scope of this new methodology for managing projects AEC/FM, that leverages the knowledge and experience of the professionals involved, improve the management and control of critical processes traditionally related to constructability, the time, costs, operation, sustainability, security, etc., and think in the medium and long term the use of innovative technologies such as virtual reality, augmented reality, identifying objects, 3D scanning , automated construction, computer-aided manufacturing, 3D printing and builders robots.

Considering the above, Autodesk, Bentley Systems, Nemetschek Group, Trimble and other leading software manufacturers offer dozens of alternatives; However, lack of research leads to businesses and professionals AEC/FM to doubt and wait in the implementation of BIM, for their costs and especially not knowing the best alternative modeling and visualization for construction, allowing them to move from traditional practices to BIM practices successfully.

In this regard, this research allows to know the full picture of BIM, including the description and analysis of multiple models and concepts, technical, legal and commercial aspects of computer technology, the opinion of Colombian professionals, executing practical exercises, business strategies and trade agreements from the manufacturers. Thus, considering the above, the best alternative modeling and visualization for the construction recommended that companies and Colombian professionals AEC/FM should consider if they decide their implementation.

Keywords: *BIM, AEC/FM, modeling, visualization, collaborative work, innovation in construction, software, buildingSMART, interoperability, survey, practical exercises.*

Lista de Contenido

	Pág.
Introducción	21
Planteamiento del Problema	27
Justificación	29
Objetivos	31
Generales.....	31
Específicos	31
1. Marco Conceptual.....	33
1. 1. Modelos de 3D.....	35
1. 2. Modelos de 4D.....	44
1. 3. Modelos de 5D.....	44
1. 4. Modelos de 6D.....	45
1. 5. Modelos de 7D.....	47
1. 6. Modelos de 8D.....	47
1. 7. Modelos Estructurales.....	49
1. 8. Modelos Acústicos.....	50
1. 9. Trabajo Colaborativo	51
1. 10. Tecnologías Informáticas.....	57
2. Estado del Arte.....	73
2. 1. BIM <i>Mánager</i>	73
2. 2. Realidad Virtual.....	74
2. 3. Realidad Aumentada.....	77

2. 4. Identificación de Objetos	79
2. 5. Escáner en 3D	81
2. 6. Construcción Automatizada.....	83
3. Evaluación de Alternativas	87
3. 1. Encuesta	87
3. 2. Ejercicios Prácticos	97
3. 3. Alternativas	103
3. 4. Selección de Alternativas.....	114
4. Conclusiones	127
5. Recomendaciones	131
Bibliografía	133
Anexo.....	147

Lista de Acrónimos

AEC/FM:	<i>architecture, engineering, construction and facilities management</i> : arquitectura, ingeniería, construcción y administración de inmuebles
AIA:	<i>american institute of architects</i> : instituto americano de arquitectos
ASCII:	<i>american standard code for information interchange</i> : código estándar estadounidense para el intercambio de información
ASM:	<i>autodesk shape manager</i>
BAM:	<i>building assembly modeling</i> : modelado de ensamble en construcción
BCF:	<i>BIM collaboration format</i> : formato de colaboración BIM
BDM:	<i>building design modeling</i> : modelado de diseño en construcción
BDS:	<i>building description system</i> : sistema de descripción en construcción
BEP:	<i>BIM execution plan</i> : plan de ejecución BIM
BIM:	<i>building information modeling</i> : modelado de información en construcción
BIMXP:	<i>BIM execution plan</i> : plan de ejecución BIM
BLM:	<i>building lifecycle management</i> : gestión del ciclo de vida de la construcción
BOOM:	<i>building operation and optimization modeling</i> : modelado de operación y optimización en construcción
BREP:	<i>boundary representation</i> : representación de fronteras
Byte:	<i>binary tuple</i> : secuencia de binarios
CAD:	<i>computer-aided design</i> : diseño asistido por computador
CAFM	<i>computer-aided facility management</i> : gestión de infraestructuras asistida por computador
CAM:	<i>computer-aided manufacturing</i> : fabricación asistida por computador

CAMACOL:	cámara colombiana de la construcción
CAVE:	<i>automatic virtual environment</i> : ambiente virtual automático
CIFE:	<i>center for integrated facility engineering</i>
CLI:	<i>command line interface</i> : interfaz de línea de comandos
CMMS	<i>computerized maintenance management systems</i> : gestión de mantenimiento asis- tido por computador
CO2:	dióxido de carbono
CPU:	<i>central processing unit</i> : unidad central de proceso
CRM:	<i>customer relationship management</i> : gestión de las relaciones con los clientes
CSG:	<i>constructive solid geometry</i> : geometría solida constructiva
D:	dimensiones
EAFIT:	escuela de administración, finanzas e instituto tecnológico
ELAGEC:	encuentro latinoamericano de gestión y economía de la construcción
EDVAC:	<i>electronic discrete variable automatic computer</i>
ENIAC:	<i>electronic numerical integrator and computer</i>
ERP:	<i>enterprise resource planning</i> : planificación de recursos empresariales
FSF:	<i>free software foundation</i> : fundación de software libre
GESCON:	grupo de investigación en gestión de la construcción
GLIDE:	<i>graphical language for interactive design</i> : lenguaje gráfico para el diseño interac- tivo
GMW:	<i>gollins, melvin y ward</i>
GPU:	<i>graphics processing unit</i> : unidad de procesamiento grafico
GUI:	<i>graphical user interface</i> : interfaz gráfica de usuario

HMD:	<i>head-mounted display</i>
HOK:	<i>helmuth, obata y kassabaum</i>
HSW:	<i>health, safety welfare</i> : salud, seguridad y bienestar
HVAC:	<i>heating, ventilating and air conditioning</i> : calefacción, ventilación y aire acondicionado
IAARC:	<i>international association for automation and robotics in construction</i> : asociación internacional para la automatización y la robótica en la construcción
IaaS:	<i>infrastructure as a service</i> : infraestructura como servicio
IDM:	<i>information delivery manual</i> : manual de entrega de información
IFD:	<i>international framework for dictionaries</i> : marco internacional para los diccionarios
IPD:	<i>integrated project delivery</i> : entrega integrada de proyectos
ISO:	<i>international organization for standardization</i> : organización internacional de estandarización
LCA:	<i>life cycle assessment</i> : análisis del ciclo de vida
LEED:	<i>leadership in energy & environmental design</i> : liderazgo en energía y diseño ambiental
LOD:	<i>level of development</i> : nivel de desarrollo
MARTA:	<i>mobile augmented reality technical assistance system</i> : sistema móvil de asistencia técnica de realidad aumentada
MEP:	<i>mechanical, electrical and plumbing</i> : mecánica, eléctrica y plomería
NBIMS-US:	<i>national BIM standard - united states</i>
NURBS:	<i>non-uniform rational B-spline</i>
OMPI:	organización mundial de la propiedad intelectual

OOP:	<i>object-oriented programming</i> : programación orientada a objetos
OSI:	<i>open source initiative</i> : iniciativa de código abierto
PaaS:	<i>platform as a service</i> : plataforma como un servicio
PIB:	producto interno bruto
PLM:	<i>product lifecycle management</i> : gestión del ciclo de vida del producto
PTD:	<i>prevention through design</i> : prevención mediante el diseño
QR:	<i>quick response</i> : respuesta rápida
RAE:	real academia española
RAM:	<i>random-access memory</i> : memoria de acceso aleatorio
RFID:	<i>radio frequency identification</i> : identificación de radio frecuencia
ROM:	<i>read-only memory</i> : memoria de sólo lectura
RUCAPS:	<i>really universal computer aided production system</i>
SaaS:	<i>software as a service</i> : software como servicio
SCM:	<i>supply chain management</i> : gestión de la cadena de suministros
SIBRAGEC:	simposio brasilero de gestión y economía de la construcción
SID:	<i>spatially immersive displays</i>
UC3M:	universidad carlos tercero de madrid
U.K.:	reino unido
UNAD:	universidad nacional abierta y a distancia
U.S.:	<i>united states</i> : estados unidos
VDC:	<i>virtual design and construction</i> : diseño y construcción virtual
VMD:	<i>virtual model display</i>

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Productividad de la construcción en U. S., adaptada del Department of labor - U.S. (2014).....	21
Figura 2. Curva de MacLeamy, adaptada del AIA (2007)	24
Figura 3. BIM, BAM BOOM, adaptada de Alves (2013)	25
Figura 4. Ciclo de vida en BIM, adaptada de SEYS (2014).....	34
Figura 5. Silla realizada mediante modelado sólido, tomada de Design Connected (2015)	36
Figura 6. Representación geométrica de cada LOD, tomada de Structure Magazine (2013).....	38
Figura 7. Objetos paramétricos, tomada de Asidek (2015)	40
Figura 8. Modelo comercial de objetos paramétricos, tomada de Bimétrica (2015).....	41
Figura 9. Detección de conflictos, tomada de Pavonleo (2015)	42
Figura 10. Modelizado, tomada de Superior Equipment & Supplies (2015).....	43
Figura 11. Modelos de 4D, tomada de Fischer & Mourgues (2001)	44
Figura 12. Modelos de 5D, tomada del AIA (2015).....	45
Figura 13. Interfaz del <i>software</i> de administración de inmuebles, tomada de Bentley (2015).....	46
Figura 14. Modelos de 7D, tomada de Dispenza (2011)	47
Figura 15. Modelos de 8D, tomada de Proyecto BIMpulso (2015).....	48
Figura 16. Modelos estructurales, tomada de Dlubal software (2015).....	49
Figura 17. Modelos acústicos, tomada de Max fordham (2015)	50
Figura 18. Equipo en la metodología de IPD, adaptada de Cabrero (2014).....	52
Figura 19. Metodología tradicional vs integrada, adaptada del AIA (2007)	53
Figura 20. Computación en la nube, adaptada de Dreamstime (2015).....	54

Figura 21. Computación en la nube, adaptada de Rsantos (2015).....	55
Figura 22. Esquema conceptual de los niveles del BIM, adaptada de Dassault Systèmes (2014)	56
Figura 23. Equipo BIM, adaptada de Hochtief (2013)	58
Figura 24. Modelo de arquitectura de <i>software</i> almacenado, adaptada de Info-Aprende (2015).	59
Figura 25. Interfaz gráfica de usuario, tomada de Nosolousabilidad (2015).....	66
Figura 26. Coordinación del BIM <i>mánager</i> , adaptada de Hochtief (2013).....	74
Figura 27. Realidad virtual en el sistema CAVE, tomada de Cadalyst (2010).....	75
Figura 28. Realidad virtual en el sistema VMD, tomada de Techviz (2015)	76
Figura 29. Realidad aumentada en Ikea, tomada de Dream Orange (2015).....	78
Figura 30. Realidad aumentada en Volkswagen, tomada de PSFK (2013).....	79
Figura 31. Identificación de objetos (Building design & construction, 2015).....	80
Figura 32. Escáner en 3D, tomado de AEC Magazine (2012).....	82
Figura 33. Impresión en 3D (Laconoscenzatirendel, 2014).....	85
Figura 34. Robots constructores (Yunis, 2015)	86
Figura 35. Información personal de los encuestados (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)	89
Figura 36. Información personal de los encuestados (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)	89
Figura 37. Prácticas de representación (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015).....	90
Figura 38. Prácticas de representación (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015).....	90
Figura 39. Prácticas de representación (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015).....	90
Figura 40. Conocimiento del <i>software</i> de BIM (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015).....	91
Figura 41. Evaluación del <i>software</i> de BIM (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)	91
Figura 42. Evaluación del <i>software</i> de BIM (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)	92
Figura 43. Evaluación del <i>software</i> de BIM (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)	92

Figura 44. Percepción del <i>software</i> de BIM (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015).....	93
Figura 45. Mapa bibliográfico sobre el BIM, tomada de Barros, Carneiro & Lins (2012)	95
Figura 46. Modelo realizado en el <i>software</i> Archicad de Nemetschek por Isaza & Ignacia (2014)	98
Figura 47. Modelo realizado en el <i>software</i> Archicad de Nemetschek por Isaza & Ignacia (2014)	99
Figura 48. Modelo realizado en el <i>software</i> Allplan de Nemetschek por Isaza & Ignacia (2014)	99
Figura 49. Modelo realizado en el <i>software</i> Allplan de Nemetschek por Isaza & Ignacia (2014)	100
Figura 50. Modelo realizado en el <i>software</i> Edificius de Acca de Software por Isaza & Ignacia (2014).....	100
Figura 51. Modelo realizado en el <i>software</i> Edificius de Acca de Software por Isaza & Ignacia (2014).....	101
Figura 52. Estrategia de Trimble en BIM, Adaptada de Mossack (2013)	105
Figura 53. Interfaz de Revit, tomada de AMSCAD CAFM Solutions (2014)	115
Figura 54. Interfaz de Navisworks, tomada de Autodesk Building Solutions (2013)	115
Figura 55. Interfaz de 3D max, tomada de Perlberg (2014)	116
Figura 56. Interfaz de Vico Constructability, tomada de FridaysWithVico (2010)	116
Figura 57. Interfaz de Vico LBS Manager, tomado FridaysWithVico (2013)	117
Figura 58. Interfaz de Vico Cost Planner, tomado FridaysWithVico (2013)	118
Figura 59. Interfaz de Costx, tomado de Exactal (2015)	118
Figura 60. Interfaz de Youbim en diferentes dispositivos, tomada de Youbim (2015).....	119
Figura 61. Interfaz de Green Building Studio, tomada de Autodesk (2015)	120

Figura 62. Interfaz de Tekla Structure, tomado de kopona (2015).....	121
Figura 63. Interfaz de SAP2000, tomada de Fiuxy (2015).....	122
Figura 64. Interfaz de Midas Gen, tomado de Archile (2015).....	122
Figura 65. Interfaz de EASE, tomada de Focus (2015).....	123
Figura 66. Interfaz de odeón, tomada de OdeonDK (2010)	124
Figura 67. Interfaz de Aconex en diferentes dispositivos, tomada de Aconex (2015)	125

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Sistema de medidas en procesamiento de datos	60
Tabla 2. Sistema de medidas en almacenamiento de datos	61
Tabla 3. <i>Software</i> certificado <i>OpenBIM</i>	70
Tabla 4. <i>Suite</i> de BIM de Autodesk	106
Tabla 5. <i>Suite</i> de BIM de Bentley Systems.....	107
Tabla 6. <i>Suite</i> de BIM de Nemetschek Group	108
Tabla 7. <i>Suite</i> de BIM de Trimble	109
Tabla 8. <i>Software</i> interoperable de BIM.....	110
Tabla 9. <i>Software</i> interoperable de BIM.....	111
Tabla 10. <i>Software</i> colaborativo de administración de inmuebles	112
Tabla 11. <i>Software</i> colaborativo para la gestión de proyectos.....	113
Tabla 12. <i>Software</i> de BIM recomendado	129

Introducción

La construcción es un sector clave de la economía. En Colombia el sector representó el 9,9% del producto interno bruto (PIB) en el 2014 (Portafolio, 2015), el 9,8% del PIB en el 2013 (Portafolio, 2014). Esto representa más de 1.3 millones de empleos directos, \$50 billones en inversión, 230.000 viviendas nuevas y más de 30 millones de metros cuadrados construidos cada año (CAMACOL, 2014). Sin embargo, la exportación de servicios de diseño y construcción es marginal en Colombia. En América Latina, en este aspecto, sólo se destacan Brasil, Argentina y Chile al interior de la región (López, Ramos, & Torre, 2009).

A pesar de la importancia del sector de construcción en la economía, la productividad definida, como la relación entre lo producido y los medios empleados (RAE, 2015), ha disminuido en el sector durante los últimos años, como se refleja en la figura 1 que contiene información de 20 años en los Estados Unidos, a diferencia de lo que sucede en la industria en donde ha aumentado.

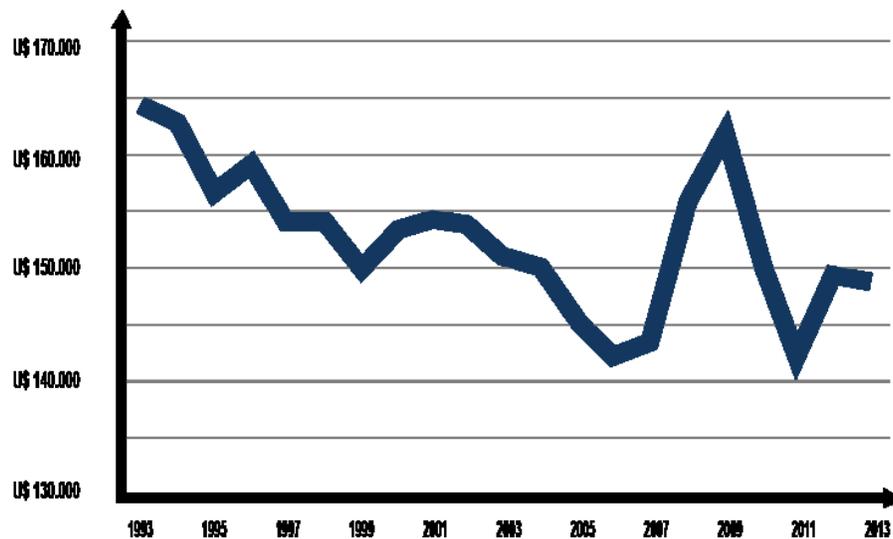


Figura 1. Productividad de la construcción en U. S., adaptada del Department of labor - U.S. (2014)

La disminución de la productividad en la construcción es el resultado de prácticas tradicionales, ineficaces y fragmentadas, de la desconfianza de los clientes, de la poca valoración de los empleados, y de la falta de asociación y colaboración entre empresas, según el diagnóstico de los informes *Constructing the team* (Latham, 1994) y *Rethinking construction* (Egan, 1998) que sentaron las bases de la estrategia pública para la construcción en el Reino Unido a partir del 2011 (Cabinet Office U.K., 2011).

Al respecto, algunas empresas de AEC/FM [*architecture, engineering, construction and facilities management*: arquitectura, ingeniería, construcción y administración de inmuebles] buscan aumentar la productividad mediante la adopción de prácticas, como el BIM [*building information modeling*: modelado de información en construcción], el VDC [*virtual design and construction*: diseño y construcción virtual], la IPD [*integrated project delivery*: entrega integrada de proyectos], la construcción sin pérdidas [*lean construction*], el LEED [*leadership in energy & environmental design*: liderazgo en energía y diseño ambiental] y la sostenibilidad (Hilario, 2011), que sumadas permiten obtener ventajas competitivas¹ en el sector de la construcción.

Así, la tecnología informática actual permite hacer realidad después de 50 años las frases de Douglas C. Engelbart quien manifestó: el próximo arquitecto empieza a introducir una serie de especificaciones y datos, una losa de piso de seis pulgadas, doce pulgadas de muros de hormigón de ocho pies de altura dentro de la excavación, y así sucesivamente, cuando ha terminado, la escena revisada aparece en la pantalla, una estructura está tomando forma, él la examina, la ajusta y se detiene un momento para revisar el manual o catálogo de los elementos empleados, y vuelve ajustar, con frecuencia revisa las listas de especificaciones y datos para hacer modificaciones, estas

¹ Las ventajas competitivas son las ventajas que una compañía tiene respecto a otras compañías competidoras, según Michael Porter, se puede considerar que una empresa tiene ventajas competitivas si su rentabilidad está por encima de la rentabilidad media del sector industrial en el que se desempeña (Sinnexus, 2015).

listas son de la estructura que se está creando interrelacionada y detalladamente, que representan el pensamiento detrás del diseño real (Engelbart, 1962).

Durante décadas las prácticas de CAD [*computer-aided design*: diseño asistido por computador], compuestas tradicionalmente por metodologías ineficientes y fragmentadas para el manejo de la información, y por la asistencia de programas sin interoperabilidad² como el CAD, las hojas de cálculo, el procesamiento de texto, el correo electrónico, etc.; han estado presentes en los proyectos de AEC/FM. Sin embargo, los últimos años las prácticas de BIM están seduciendo a los profesionales por su capacidad de procesar de manera integrada la información geométrica y no geométrica de los proyectos, y por su capacidad de desarrollar múltiples modelos y conceptos, como los modelos de 3D³ para la geometría de los objetos, de 4D para el tiempo, de 5D para el costo, de 6D para la operación, de 7D para la sostenibilidad, de 8D para la seguridad (Smith P. , 2014).

Sin embargo, el BIM no se limita al uso de un *software*. BIM exige pensar de una forma diferente, exige pasar del enfoque tradicional en donde los participantes del proyecto trabajan en piscinas separadas de información con *software* incompatible, a un nuevo enfoque totalmente integrado, en donde los participantes comparten y trabajan con la misma información de manera colaborativa; así, el modelo de BIM es el centro de todo el equipo encargado del proyecto (Smith P. , 2014). Relacionadas con este concepto, se destacan dos prácticas que encajan y complementan perfectamente el BIM: la IPD [*integrated project delivery*: entrega integrada de proyectos] y la BLM [*building lifecycle management*: gestión del ciclo de vida de las construcciones], concepto

² La interoperabilidad es habilidad de dos o más sistemas o componentes de intercambiar información y utilizar la información intercambiada (IEEE, 2015)

³ D: dimensiones

que adapta la PLM [*product lifecycle management*: gestión del ciclo de vida del producto] a proyectos de AEC/FM.

Las ventajas de implementar BIM en proyectos de AEC/FM son muchísimas, sin embargo, se destacan las siguientes dos ideas del director de ejecutivo de HOK⁴ [*helmuth, obata & kassabaum*] Patrick MacLeamy conocidas como la curva de MacLeamy y el BIM, BAM BOOM, las cuales se presentan a continuación:

1. La curva de MacLeamy (figura 2) permite comparar durante las diferentes fases del ciclo de vida los procesos integrados, los procesos tradicionales, la capacidad de decidir sobre la funcionalidad y los costos, y los costos de los cambios en el diseño.

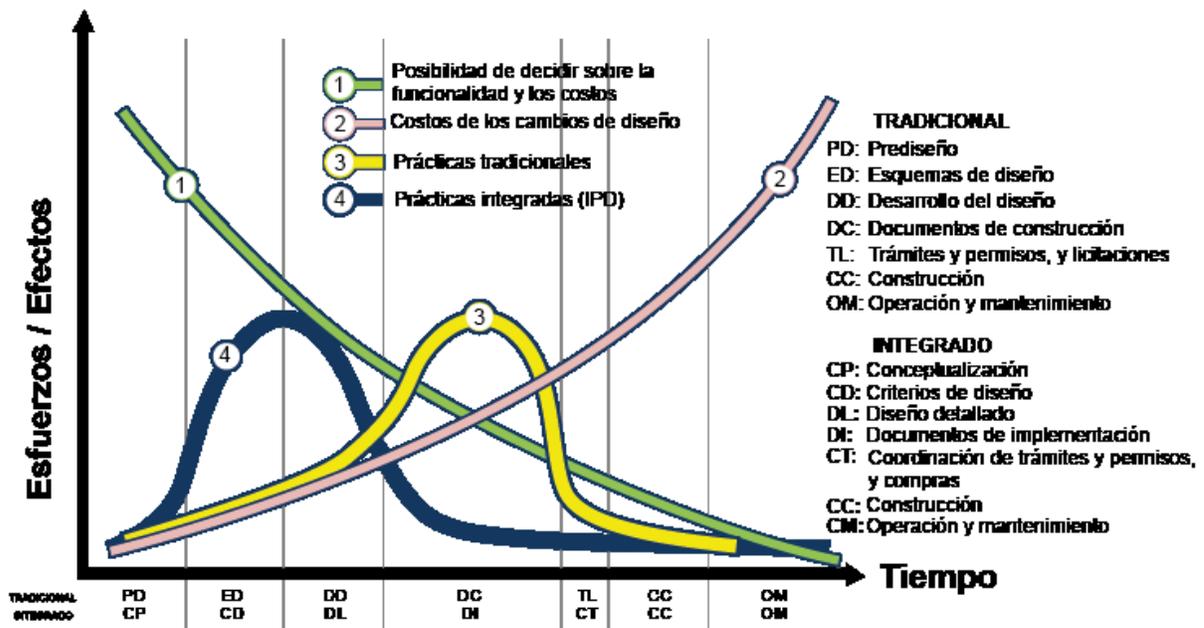


Figura 2. Curva de MacLeamy, adaptada del AIA (2007)

⁴ HOK es la mayor empresa de AEC/FM con sede en los Estados Unidos, se destaca por la implementación de prácticas innovadoras en construcción.

2. El BIM, BAM, BOOM (figura 3) permite comparar durante el ciclo de vida los beneficios de implementar el BIM, en donde el BDM [*building design modeling*: modelado de diseño en construcción] representa la fase de diseño mediante el BIM, el BAM [*building assembly modeling*: modelado de ensamble en construcción] representa la fase de ensamble y el BOOM [*building operation and optimization modeling*: modelado de operación y optimización en construcción] representa la fase de operación. Según Patrick MacLeamy implementar el BIM produce beneficios de U\$ 20 en la fase de ensamble y de U\$ 60 en la fase de operación por cada dólar invertido en la fase de diseño mediante las prácticas de BIM (Alves, 2013).

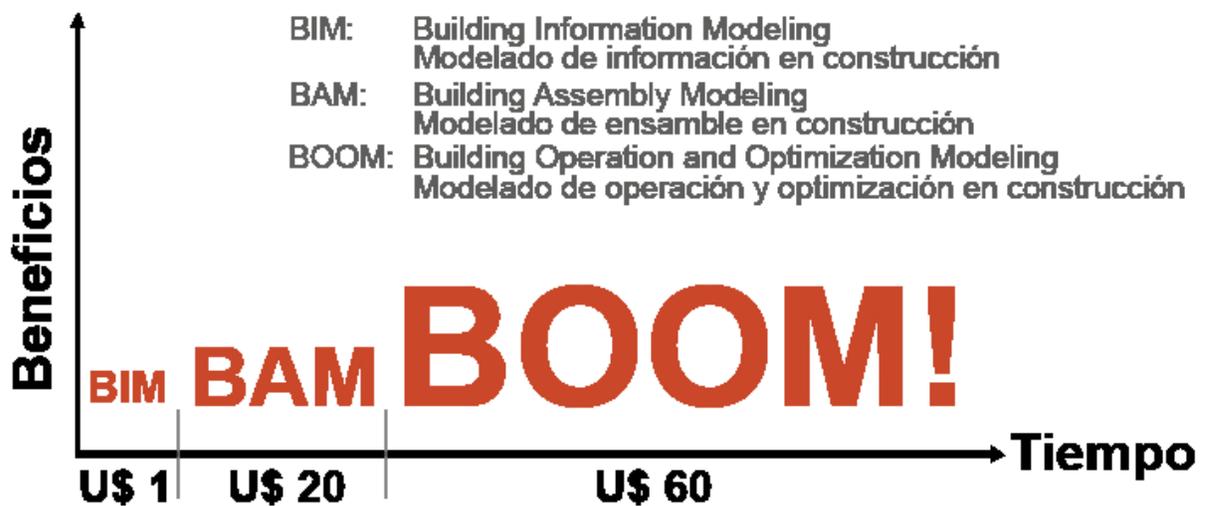


Figura 3. BIM, BAM BOOM, adaptada de Alves (2013)

Sin embargo, a pesar de las ventajas de implementar el BIM, las empresas y profesionales de AEC/FM en su mayoría dudan y esperan, y especialmente desaprovechan las alternativas que ofrece el BIM. Al respecto, la investigación presenta un panorama completo de las alternativas de

modelado y visualización para la construcción con el objetivo de facilitar a las empresas y profesionales colombianos pasar de las prácticas tradicionales a las prácticas de BIM de manera exitosa.

Por lo anterior se estructuró este documento que incluye los siguientes capítulos:

1. El marco conceptual (capítulo 1), define y explica los múltiples modelos y conceptos de BIM, incluyendo las técnicas de modelado sólido, los niveles de desarrollo, los objetos paramétricos, la detección de conflictos y los modelizados; las prácticas más destacadas de trabajo colaborativo; y las características de las tecnologías informáticas que permiten el BIM, como la interfaz gráfica de usuario, la programación orientada a objetos, la propiedad intelectual, la interoperabilidad y las prácticas de distribución.
2. El estado del arte (capítulo 2), permite conocer las prácticas innovadoras más destacadas del BIM, esto incluye las prácticas de BIM *manager*, de realidad virtual, de realidad aumentada, de identificación de objetos, de escaneos en 3D, de construcción automatizada, de impresiones en 3D y de robots constructores.
3. La evaluación de alternativas (capítulo 3), presenta la opinión de los usuarios en Colombia, los ejercicios prácticos realizados, las alternativas disponibles de BIM y la selección de alternativas para cada modelo y concepto; así, finalmente se presentan las alternativas de modelado y visualización para la construcción más convenientes, que sumadas al resto de la investigación, permiten conocer el panorama completo del BIM.

Planteamiento del Problema

El desarrollo de proyectos de AEC/FM [arquitectura, ingeniería, construcción y administración de inmuebles] mediante la práctica del BIM [modelado de información en construcción] seduce rápidamente a las empresas y profesionales colombianos por sus grandes ventajas, como la mejor visualización de los diseños, la disminución de reprocesos en construcción y la mayor certeza en el manejo integrado de la información geométrica y no geométrica de los proyectos. Sin embargo continúan existiendo barreras en su adopción.

La mayoría menciona frecuentemente la necesidad de realizar grandes inversiones en capacitación de personal, *hardware* y *software*, como la mayor barrera para adoptar las prácticas de BIM. Así persisten en iniciar proyectos de AEC/FM sin contar con información suficiente, en desaprovechar las tecnologías informáticas disponibles y en considerar la adopción de las prácticas de BIM como un objetivo a largo plazo, aunque por ahora sólo dudan y esperan que sucede con esta nueva práctica. Sin embargo esas mismas empresas y profesionales se dan cuenta de los riesgos que se presentan y de las dificultades que tienen al dirigir y controlar los proyectos mediante las prácticas tradicionales.

Es importante destacar que el grupo de investigación GESCON (gestión de la construcción) de la Universidad EAFIT (escuela de administración, finanzas e instituto tecnológico), ha impulsado no sólo la adopción del BIM sino también la visualización de los proyectos mediante tecnologías innovadoras como la realidad virtual inmersiva; así por ejemplo, la Universidad EAFIT dispone de una sala de realidad virtual que se compone de un *hardware* con capacidad de procesamiento y almacenamiento de gran cantidad de datos, y de proyectar imágenes de 3D estereoscópicas (3D-E), y de un *software* de modelado 3D y de realidad virtual, componentes tecnológicos necesarios para desarrollar esta innovadora práctica en construcción.

Adicionalmente la sala de realidad virtual cuenta con la asistencia de profesionales especializados en el manejo de esta tecnología, que ha permitido a GESCON ofrecer servicios de realidad virtual al sector de la construcción en Colombia y en la región. Sin embargo, las tecnologías informáticas avanzan rápidamente, haciendo que proyectos de investigación recientes se queden cortos y sean necesarios nuevos estudios sobre nuevas prácticas disponibles que permitan mejorar procesos tradicionalmente críticos en los proyectos de AEC/FM.

Por lo anterior, la presente investigación busca responder al interrogante sobre las nuevas alternativas de modelado y visualización para la construcción, que permitan eliminar las barreras que se presentan en su adopción, mejorar procesos inherentes a los proyectos de AEC/FM y adoptar las prácticas de trabajo colaborativo entre los participantes, con el objetivo de facilitar a las empresas y profesionales pasar de las prácticas tradicionales a las prácticas de BIM de manera exitosa.

Justificación

Los clientes de las empresas y profesionales colombianos de AEC/FM [arquitectura, ingeniería, construcción y administración de inmuebles] exigen productos y servicios de mayor calidad para proyectos cada vez más complejos. La adopción del BIM [modelado de información en construcción] debe ser considerada en este importante reto, porque permite integrar la dirección y control de importantes procesos relacionados con la constructabilidad⁵, el tiempo, los costos, la operación y mantenimiento, la sostenibilidad, la seguridad, el trabajo colaborativo, etc.

Así, tradicionales expresiones como: el presupuesto no alcanzó, la fecha de entrega no se cumplió, ese problema lo dejaron los constructores, el consumo de energía es excesivo, los accidentes son diarios, etc., no se entenderán en el futuro. Sin embargo, las empresas y profesionales son cautelosos cuando se dan cuenta de los costos que exige la adopción del BIM, además de las dificultades que pueden provocar si su implementación no se realiza con la debida investigación.

Al respecto, el grupo de investigación GESCON de la Universidad EAFIT se ha interesado en conocer, entender y difundir la práctica del BIM, y especialmente en ofrecer y prestar servicios de realidad virtual y modelado 3D al sector de la construcción en Colombia y en la región. Sin embargo, el BIM es mucho más que realidad virtual y modelado de 3D, es una metodología de gestión de proyectos de AEC/FM con énfasis en trabajo colaborativo que debe ser investigada, porque aprovecha al máximo la capacidad de los participantes, del *hardware* y del *software*, mejora el ambiente comercial y laboral entre empresas y profesionales, transforma los procesos tradicionalmente críticos, y especialmente, aumenta la calidad de los productos y servicios que ofrecen las empresas y los profesionales de AEC/FM.

⁵ La constructabilidad se refiere a revisar los procesos de construcción antes de su inicio, garantizando que todos los diseños faciliten esta labor.

Por lo anterior, es necesario se estudien y evalúen las diferentes alternativas de modelado y visualización, así, se formaran en el grupo de investigación GESCON las capacidades necesarias para continuar ofreciendo y prestando servicios de consultoría, asesoría y capacitación en las practicas más destacas e innovadoras, como el BIM, en el sector de la construcción en Colombia y en la región.

Finalmente, a partir de entender la práctica del BIM, los profesionales del grupo de investigación GESCON se formarán con la capacidad de dirigir o de integrar los grupos interdisciplinarios que decidan implementar la práctica del BIM, como se concluye del titular de la NBS que dice: "la capacidad de los consultores para trabajar internacionalmente se puede afectar por no implementar el BIM" (Malleon, 2014).

Objetivos

Generales

Evaluar las diferentes alternativas de modelado y visualización de proyectos de AEC/FM [arquitectura, ingeniería, construcción y administración de inmuebles] que permita su apropiación en empresas constructoras colombianas a través de la integración del modelo virtual y su información a procesos tradicionalmente críticos de las empresas.

Específicos

1. Determinar con empresas constructoras y consultoras colombianas el grado de apropiación del modelado virtual y la visualización de proyectos, evaluando las barreras y los aspectos positivos en su implementación, reseñados por el sector.
2. Levantar el estado del arte sobre nuevas alternativas de modelado y visualización, pretendiendo encontrar aquellas soluciones que integren los modelos con información y procesos críticos de la empresa como la presupuestación y programación, su control y la administración de los recursos.
3. Seleccionar las principales alternativas de modelado virtual y visualización para construcción disponibles comercialmente, evaluando su relación costo beneficio, identificando sus beneficios y dificultades que se deriven de su implementación en empresas del sector de la construcción en Colombia
4. Desarrollar casos de aplicación utilizando aquellas alternativas identificadas como convenientes para el sector de la construcción en Colombia

5. Recomendar la utilización de nuevas alternativas modelado virtual y visualización de proyectos de AEC/FM que permitan su apropiación en empresas constructoras colombianas a través de la integración del modelo virtual y su información a procesos críticos de la empresa

1. Marco Conceptual

Los conceptos de *virtual building* de *Graphisoft*, de *integrated project models* de *Bentley Systems* y de *virtual design and construction* del CIFE [*Center for Integrated Facility Engineering*] se reúnen en el concepto de BIM [modelado de información en construcción] que se presentó en 1992 por Sander van Nederveen y Frits Tolman en referencia al concepto de modelado en construcción propuesto en 1986 por Robert Aish a partir de la construcción de la terminal tres del Aeropuerto de Heathrow (Reino Unido) realizada por GMW [*Gollins, Melvin & Ward Architects*] mediante el *software* RUCAPS [*really universal computer aided production system*] que permitió la representación en 3D, la actualización automática de dibujos, el parametrizado de objetos inteligentes, las bases de datos relacionadas, la eliminación gradual de las esperas en construcción, entre otras operaciones (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2008). Sin embargo, el *software* GLIDE [*graphical language for interactive design*] propuesto por Charles M. Eastman y Max Henrion (1977) es considerado el primer *software* que reúne la mayoría de las características del *software* BIM moderno, resultó de mejorar el *software* BDS [*building description system*] propuesto por Charles M. Eastman y otros (1974) (Bergin, 2015).

Hoy los modelos de BIM que se dan gracias a un conjunto de programas y de prácticas, son definidos como, la representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación; como tal, permiten compartir conocimientos e información que forman una base sólida para la toma de decisiones durante el ciclo de vida, desde su concepción en adelante (NBIMS-US, 2015). Por lo anterior, en el siguiente esquema (figura 4) se representa el ciclo de vida propuesto para los proyectos desarrollados mediante modelos BIM.

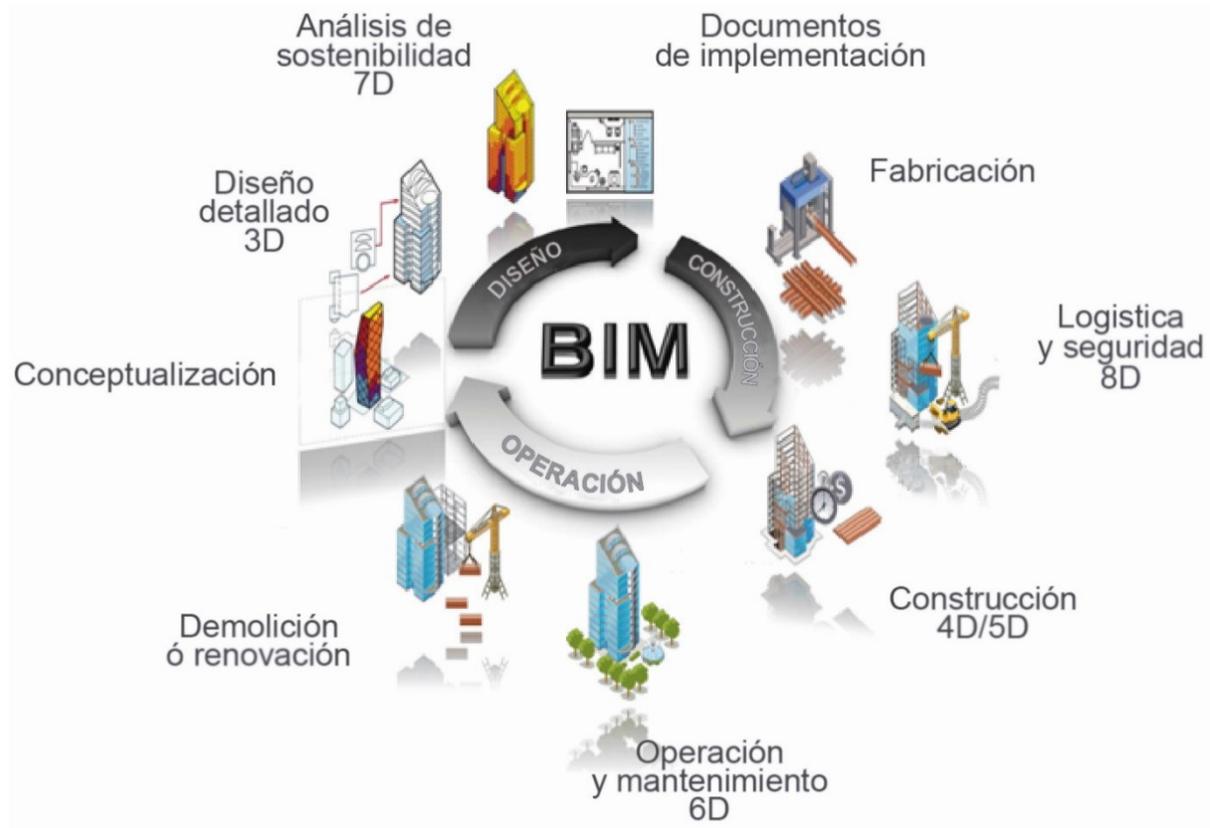


Figura 4. Ciclo de vida en BIM, adaptada de SEYS (2014)

El BIM ofrece a los proyectos de AEC/FM [arquitectura, ingeniería, construcción y administración de inmuebles] diferentes modelos y conceptos que facilitan la toma de decisiones en proceso tradicionalmente críticos; así, se proponen los modelos de 3D para la geometría de los objetos, de 4D para el tiempo, de 5D para el costo, de 6D para la operación, de 7D para la sostenibilidad y de 8D para la seguridad (Smith P. , 2014). Sin embargo, el BIM tiene la capacidad de desarrollar múltiples dimensiones, como "nD", ya que se pueden agregar un número casi infinito de dimensiones al modelo (Eastman, Liston, Teicholz, & Sacks, 2011; Eastman & Aram, IAARC, 2013) A continuación se presentan los modelos y conceptos más destacados de BIM.

1. 1. Modelos de 3D

Los modelos de 3D son la clave de los proyectos de AEC/FM realizados mediante el BIM, permiten visualizar la geometría de todos los componentes del proyecto durante su ciclo de vida, especialmente se destaca que los modelos de 3D permiten la revisión de la constructabilidad de los proyectos con el objetivo de reducir y prevenir errores, demoras y sobrecostos. (Smith M. , 2014). Los modelos de 3D se realizan mediante modelado sólido que exige la aplicabilidad general de los modelos y la creación sólo de modelos completos de los sólidos; así, los modelos deben responder algorítmicamente a cualquier pregunta geométrica que se formule sin la participación directa de los usuarios finales, a diferencia de otras técnicas de modelado geométrico que permiten la representación de los modelos, pero que exigen la participación paso a paso de los usuarios finales (Ramos M., 2011).

El modelado sólido utilizado en la figura 5 exige un conjunto de puntos o superficies en el espacio, para definir las características geométricas de los modelos mediante técnicas conocidas, como la CSG [*constructive solid geometry*: geometría sólida constructiva] la BREP [*boundary representation*: representación de límites], los barridos traslacionales y rotacionales, y las NURBS [*non-uniform rational B-spline*: B-splines racionales no uniformes], que dependen de la "geometría analítica, de la geometría descriptiva, la topología, la teoría de conjuntos, el análisis numérico, las estructuras de datos, el cálculo vectorial, los métodos matriciales, y que aprovechan la gran capacidad de cálculo que ofrecen las tecnologías informáticas" (Ramos M., 2011).



Figura 5. Silla realizada mediante modelado sólido, tomada de Design Connected (2015)

Las técnicas de modelado sólido como CSG, BREP y barridos traslacionales y rotacionales se presentaron en 1973 de manera simultánea e independiente por Ian Braid de la Universidad de Cambridge, Bruce Baumgart de la Universidad de Stanford, y Ari Requicha y Herb Voelcker de la Universidad de Rochester (Eastman, Liston, Teicholz, & Sacks, 2011), y la técnica NURBS se presentó en 1958 de manera simultánea e independiente por Pierre Bézier de Renault y Paul de Casteljaou de Citroën (Crotty, 2012), cada una de estas técnicas se explican brevemente a continuación:

1. La CSG permite el modelado sólido a partir de operaciones booleanas, como la unión, la intersección y la sustracción, sobre sólidos primitivos, como planos, pirámides, cubos, cilindros y esferas.

2. La BREP permite el modelado sólido a partir de las superficies (caras) y de las aristas y vértices (uniones).
3. Los barridos traslacionales y rotacionales permiten el modelado sólido a partir de dos elementos fundamentales, un generador que es el objeto que origina el barrido y una directriz que es la trayectoria por la cual se desplazará el generador, en el barrido traslacional la directriz es una línea y en el barrido rotacional la directriz es un eje en donde gira el generador.
4. Las NURBS permiten el modelado sólido de curvas, superficies y sólidos complejos o de forma libre a partir de puntos de control, vectores de nodos y grados que dependen de una fórmula matemática (regla de cálculo) para definir cada punto en el espacio.
5. Las técnicas híbridas permiten el modelado sólido a partir de la combinación de las prácticas explicadas anteriormente.

El modelado sólido permite representar digitalmente cualquier objeto real, sin embargo, en los proyectos de AEC/FM es frecuente, según la fase del proyecto (conceptualización, criterios de diseño, diseño detallado, documentos de implementación, coordinación de trámites y permisos, y compras, construcción, y operación y mantenimiento) se representen los objetos a diferentes LOD [*level of development*: niveles de desarrollo]. Al respecto, el BIMforum (2015) propone para cada LOD las siguientes representaciones geométricas (figura 6) y definiciones.

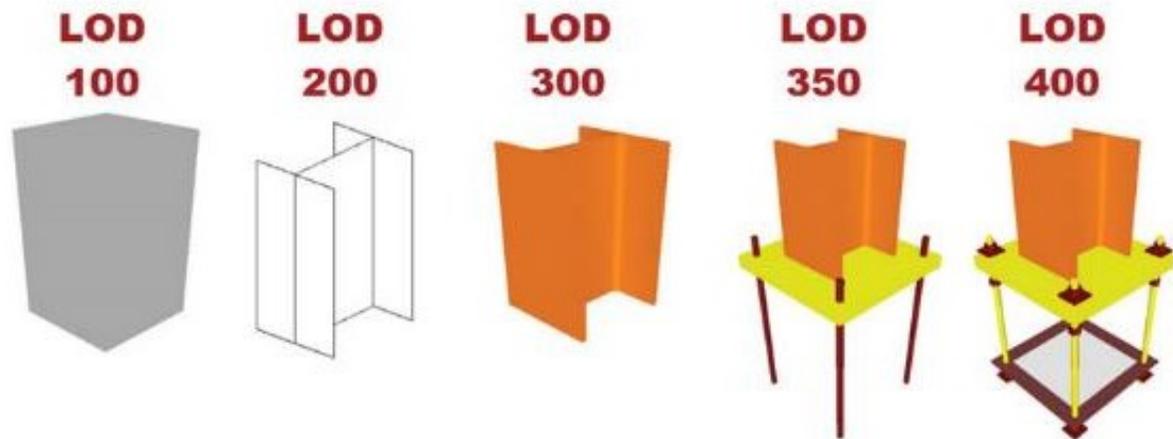


Figura 6. Representación geométrica de cada LOD, tomada de Structure Magazine (2013)

1. LOD 100: El elemento se representa geoméricamente en el modelo con un símbolo u otra representación genérica, pero no satisface los requisitos para LOD 200. La información relacionada con el modelo de elementos (es decir, el costo por metro cuadrado, tonelaje de climatización, etc.) se puede derivar de otros elementos del modelo.
2. LOD 200: El elemento se representa geoméricamente en el modelo, como un sistema genérico, objeto o ensamblaje con cantidades aproximadas, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica también se puede unir a los elementos del modelo.
3. LOD 300: El elemento se representa geoméricamente en el modelo, como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica también se puede unir a los elementos del modelo.
4. LOD 350: El elemento se representa geoméricamente en el modelo, como un sistema específico, objeto o ensamblaje en términos de cantidad, tamaño, forma, orientación, e interfaces con otros sistemas del edificio. La información no gráfica también se puede unir a los elementos del modelo.

5. LOD 400: El elemento se representa geoméricamente en el modelo, como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación con detalle, fabricación, montaje, y la información de la instalación. La información no gráfica también se puede unir a los elementos del modelo.
6. LOD 500: El elemento se representa como quedó al final de la construcción en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad, y la orientación. La información no gráfica también se puede unir a los elementos del modelo.

Además del modelado sólido y los niveles de desarrollo, los modelos de 3D ofrecen a los proyectos de AEC/FM las siguientes herramientas destacadas: los objetos paramétricos, la detección de conflictos y el modelizado, que se presentan a continuación:

1. 1. 1. Los objetos paramétricos. Los modelos de 3D de BIM se componen de miles de objetos paramétricos, que permiten que sus características y funciones variables se definan directamente o mediante una GUI [*graphical user interface*: interfaz gráfica de usuario] (Crotty, 2012); así, por ejemplo, las relaciones de anfitrión – huésped, como huecos de una estructura o las ventanas de un muro se realizan mediante un motor de modelado paramétrico, sin la necesidad de realizar paso a paso cada objeto (Tecnología BIM, 2015); en términos generales el modelado paramétrico permite el fácil ingreso de objetos arbitrariamente complejos al modelo 3D, una de las características fundamentales del BIM (Eastman, y otros, 1974).

Al respecto, el BIMforum (2015) presenta los objetos paramétricos reunidos en siete especialidades con decenas de familias. Sin embargo, es frecuente encontrar en el *software* de BIM las siguientes tres especialidades con decenas de familias: arquitectura [*architecture*], estructura [*structure*] e instalaciones [*facilities*]; las instalaciones incluyen de manera frecuente las subespecialidades de MEP [*mechanical, electrical and plumbing*: mecánica, eléctrica y plomería]; de protección contra incendios [*Fire Protection*]; y de HVAC [*heating, ventilating and air conditioning*: ventilación, calefacción y aire acondicionado]. En la figura 7 se observan ejemplos de las familias BIM.



Figura 7. Objetos paramétricos, tomada de Asidek (2015)

Adicionalmente, algunas empresas de AEC/FM ofrecen objetos paramétricos BIM de sus productos reales mediante medios electrónicos. La National BIM Library ofrece por ejemplo más de 5.000 objetos paramétricos en diferentes categorías, considerando que ofrecer objetos BIM es muy atractivo para muchas empresas, como lo destaca el director comercial de Dulux Trade: "para nosotros es clave suministrar a nuestros clientes la información de nuestros productos en los formatos que utilizan, así, la creación de objetos BIM es el siguiente paso claro en nuestro negocio" (National BIM Library, 2014). Este modelo comercial de objetos de BIM es explicado en la siguiente figura 8.

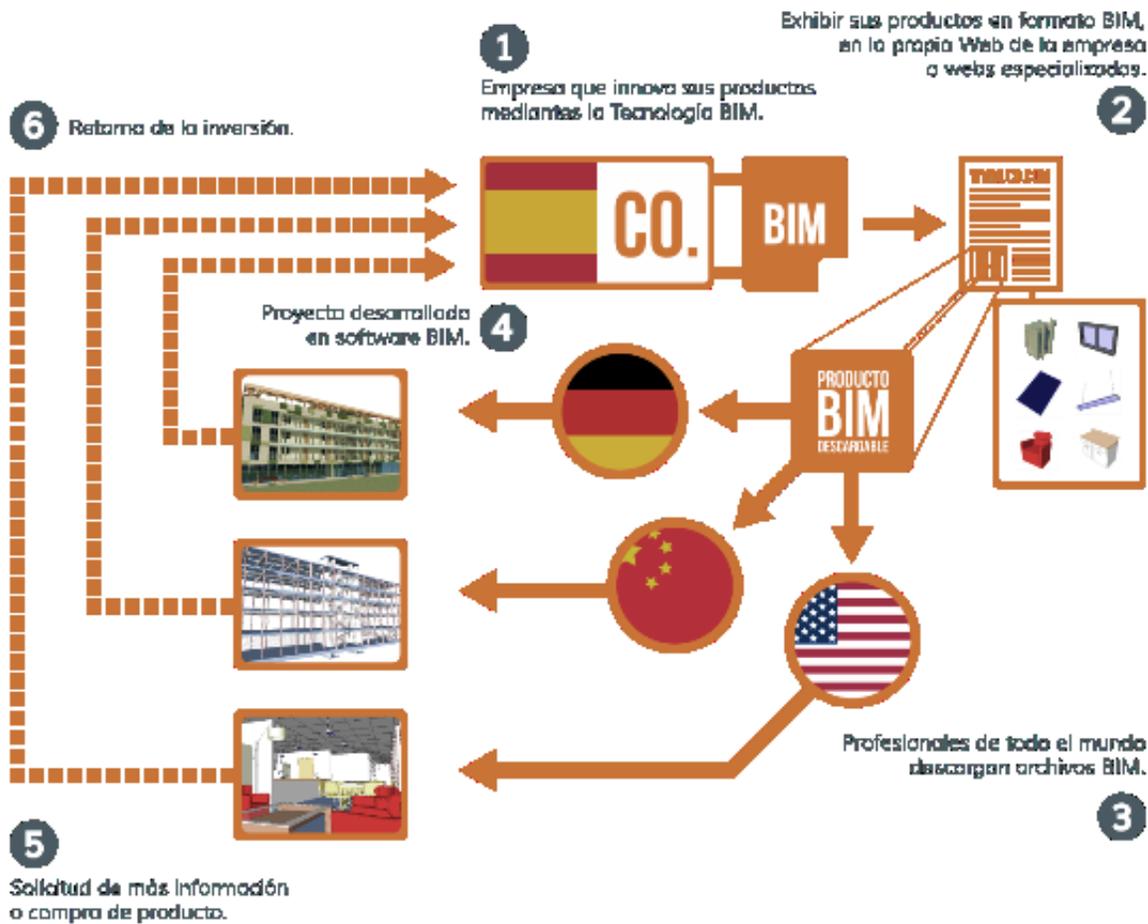


Figura 8. Modelo comercial de objetos paramétricos, tomada de Bimétrica (2015)

1. 1. 2. La detección de conflictos [clash detection]. Los modelos de 3D de BIM incluyen diferentes sistemas que deben estar coordinados, sin embargo, en aras de facilitar la constructabilidad el *software* de BIM permite la detección de conflictos entre objetos, tolerancias técnicas o derivadas del modelo 4D (Smith M. , 2014), como se observa en la figura 9, donde se destacan los siguientes conflictos:

1. Los conflictos duros, cuando dos objetos ocupan el mismo espacio, por ejemplo, cuando una tubería de desagüe pasa por una viga en acero (rojo en la figura 9).
2. Los conflictos suaves, cuando las tolerancias permitidas o el espacio es insuficiente, por ejemplo, cuando espacio propuesto para zonas mantenimiento de equipos es insuficiente.
3. Los conflictos 4D, cuando la programación y las actividades del modelo se enfrentan, por ejemplo, cuando se proponen en los modelos 4D actividades que dependen de actividades precedentes que no están presentes aun en modelo 4D.

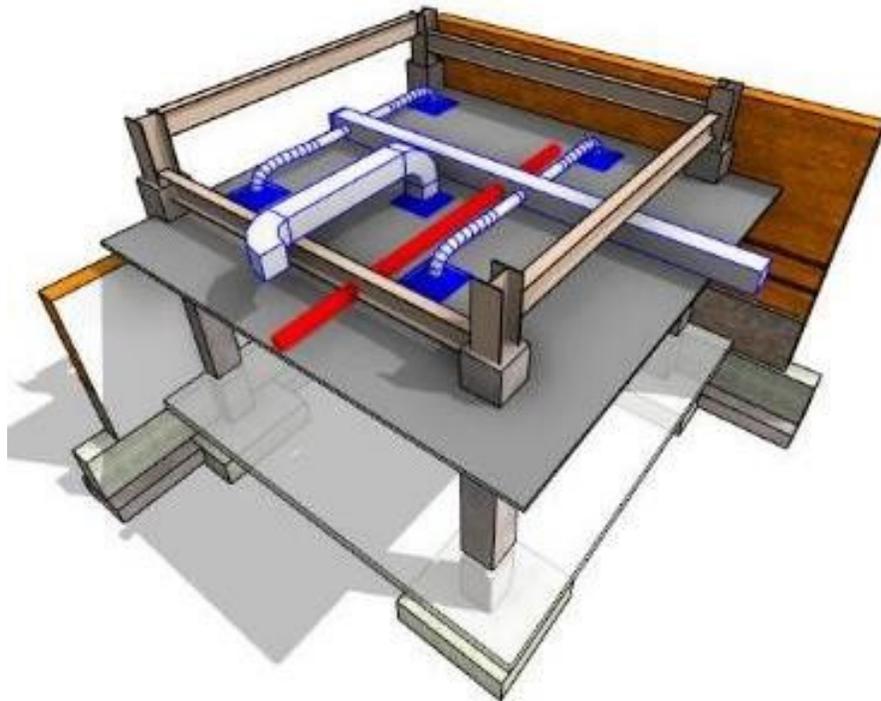


Figura 9. Detección de conflictos, tomada de Pavonleo (2015)

1. 1. 3. El modelizado [render]. Los modelos de 3D de BIM permiten producir imágenes y videos muy reales mediante la representación de comportamientos físicos, de los efectos y defectos de la luz (halos y destellos), de las sombras (coloreado de sombras y difusión), de las texturas (aspereza, brillo, reflejos y refracción) y de la radiosidad (coloreado de la luz en el ambiente) en los objetos (BIMobject, 2011) como se observa en la figura 10. Los modelizados se realizan especialmente mediante las siguientes dos técnicas:

1. El trazado de rayos [raytracing]: permite la iluminación global a partir de la interacción entre la luz y los objetos considerando las leyes de la óptica geométrica, en las escenas se pueden apreciar espejos, sombras, objetos transparentes, mapeo de textura sobre objetos, etc (Dios, González, Lusquiños, Marín, & Regueiro, 2015).
2. La radiosidad: permite la iluminación global a partir de la teoría de la transferencia de energía, esto incluye la relación entre las fuentes de luz, y las superficies emisoras y receptoras de energía (Dios, y otros, 2015).



Figura 10. Modelizado, tomada de Superior Equipment & Supplies (2015)

1. 2. Modelos de 4D

Los modelos de 4D de BIM permiten representar el tiempo en el proceso de construcción de un modelo de 3D. Se realiza mediante la vinculación de las actividades de una programación a los objetos de un modelo 3D con el objetivo de evaluar aspectos temporales, físicos y otros relacionados con la construcción (Fischer & Koo, 1998) como se observa en figura 11. Tradicionalmente en los proyectos de AEC/FM el *software* de programación y el dibujo del proyecto no están vinculados automáticamente complicando la toma de decisiones y facilitando la aparición de problemas (NBS, 2015).

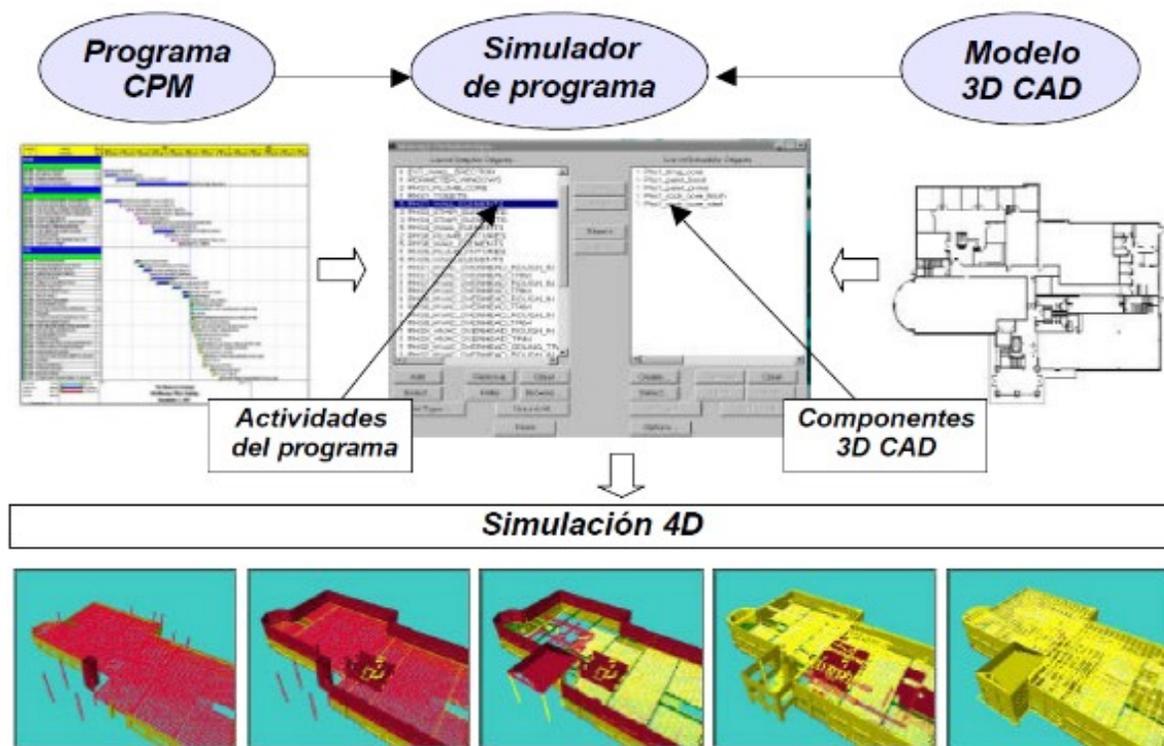


Figura 11. Modelos de 4D, tomada de Fischer & Mourgues (2001)

1. 3. Modelos de 5D

Los modelos de 5D de BIM permiten estimar las cantidades y los costos del modelo de 3D. Se realiza con el objetivo de evaluar en tiempo real el alcance, los avances, los pendientes y en general

el estado de cantidades y costos del proyecto (Smith P. , 2014), como se observa en la figura 12. En la actualidad los fabricantes de *software* y la iniciativa *OpenBIM de Buildingsmart*⁶ están trabajando en la definición de normas y protocolos de medición para mejorar los modelos de 5D (Constructech, 2015; Smith M. , 2014). Tradicionalmente en los proyectos de AEC/FM el proceso de cálculo de cantidades y costos exige significativas horas de trabajo (Eastman, y otros, 1974).

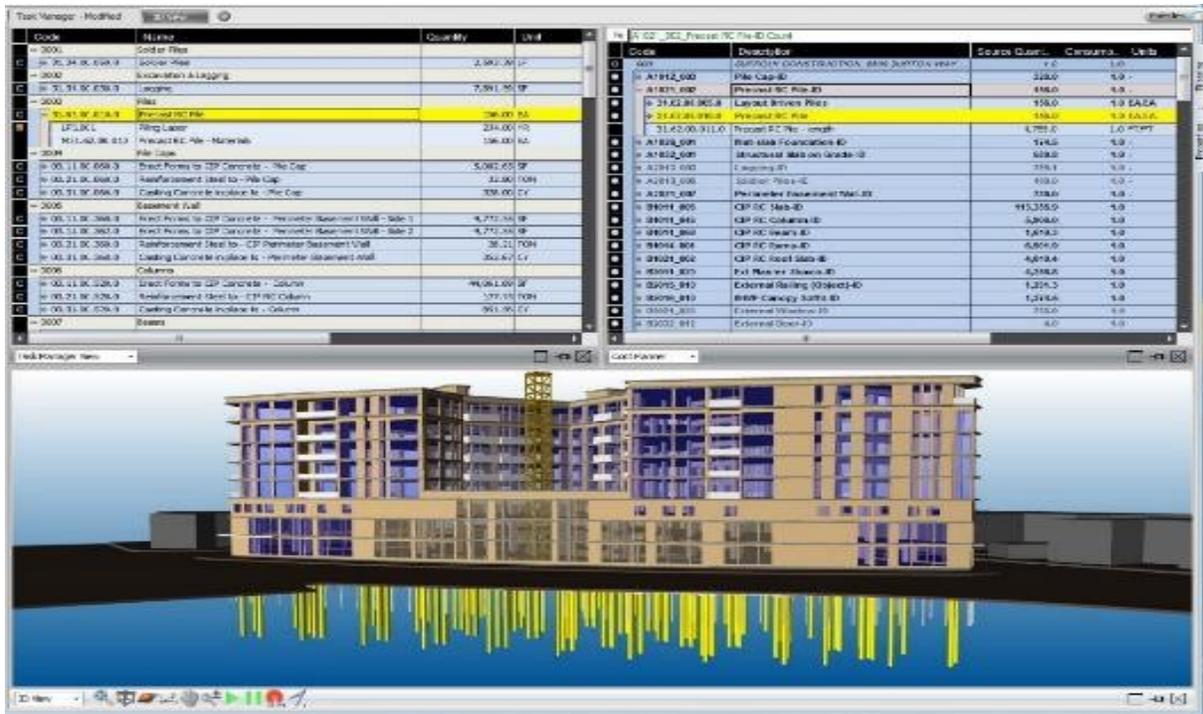


Figura 12. Modelos de 5D, tomada del AIA (2015)

1. 4. Modelos de 6D

Los modelos de 6D de BIM permiten implementar en la fase de operación las prácticas utilizadas en la administración de inmuebles [*facilities management*] y continuar en la fase de mantenimiento las prácticas de BIM utilizadas en las fases de diseño y construcción (CRC, 2007); al res-

⁶ La iniciativa OpenBIM de Buildingsmart estudia, coordina y certifica estándares abiertos y neutrales que permitan la interoperabilidad de datos entre diferentes *software* de BIM.

pecto, es importante destacar la necesidad de utilizar programas conocidos como CMMS [*computerized maintenance management systems*: gestión de mantenimiento asistido por computador] y CAFM [*computer-aided facility management*: gestión de infraestructura asistida por computador] que permiten la planeación de recursos, la gestión de clientes, la administración de suministros, y el manejo de la información y la comunicación relacionada con los inmuebles.

Adicionalmente los programas CMMS y CAFM permiten la gestión de activos, espacios, equipos, mantenimiento, incidentes, inspección, inventarios, visitantes, alertas, etc.; en la figura 13 se observa una interfaz de estos programas. Tradicionalmente después de la construcción es raro el proyecto de AEC/FM que utilice prácticas de administración de inmuebles integradas al BIM y que conserve su información actualizada (Eastman, y otros, 1974).

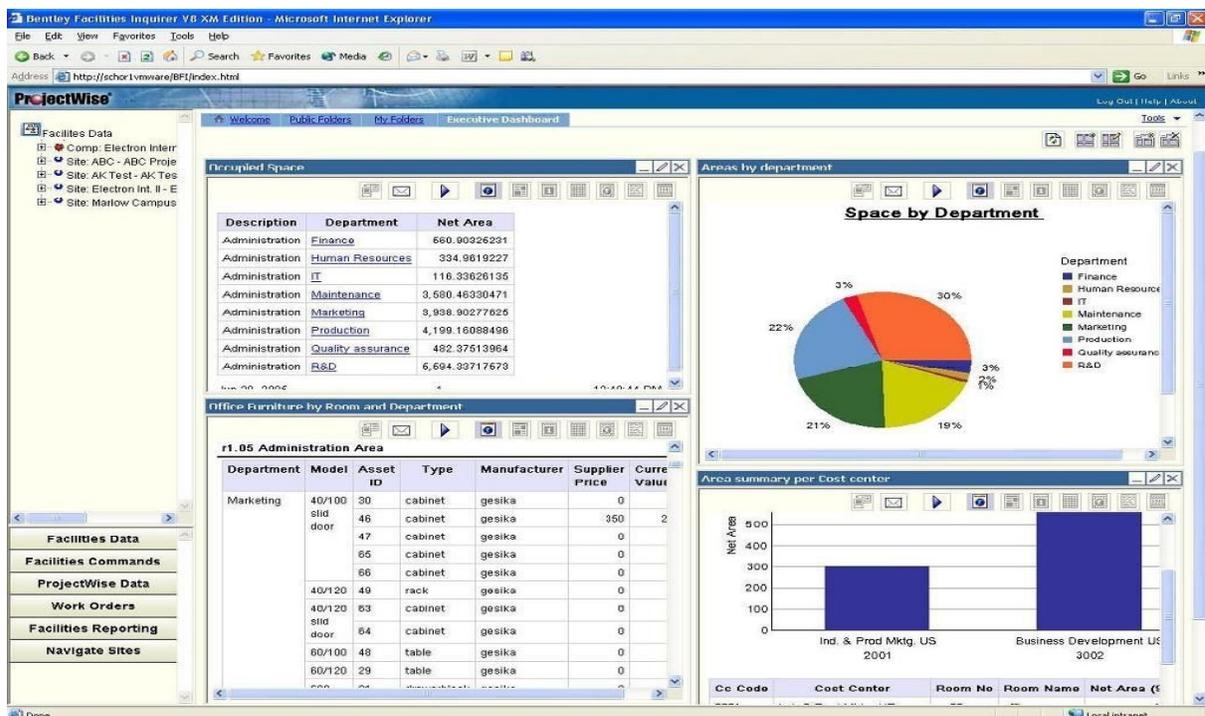


Figura 13. Interfaz del software de administración de inmuebles, tomada de Bentley (2015)

1. 5. Modelos de 7D

Los modelos de 7D de BIM o BEM [*building energy modeling*: modelado de energía en construcción] permiten analizar la sostenibilidad del modelo 3D, como se observa en la figura 14, hasta ahora los análisis de sostenibilidad se enfocan en evaluar los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de CO₂ de los modelos de 3D (Design Builder Latinoamerica, 2015), incluso algunos programas permiten su georreferenciación. En la actualidad se estudia la forma de incluir información que facilite el análisis del LCA [*life cycle assessment*: ciclo de vida] de todos los objetos parametrizados presentes en el modelo de 3D (Pelsmakers , 2015). Tradicionalmente los análisis de sostenibilidad en los proyectos de AEC/FM se realizan paso a paso.

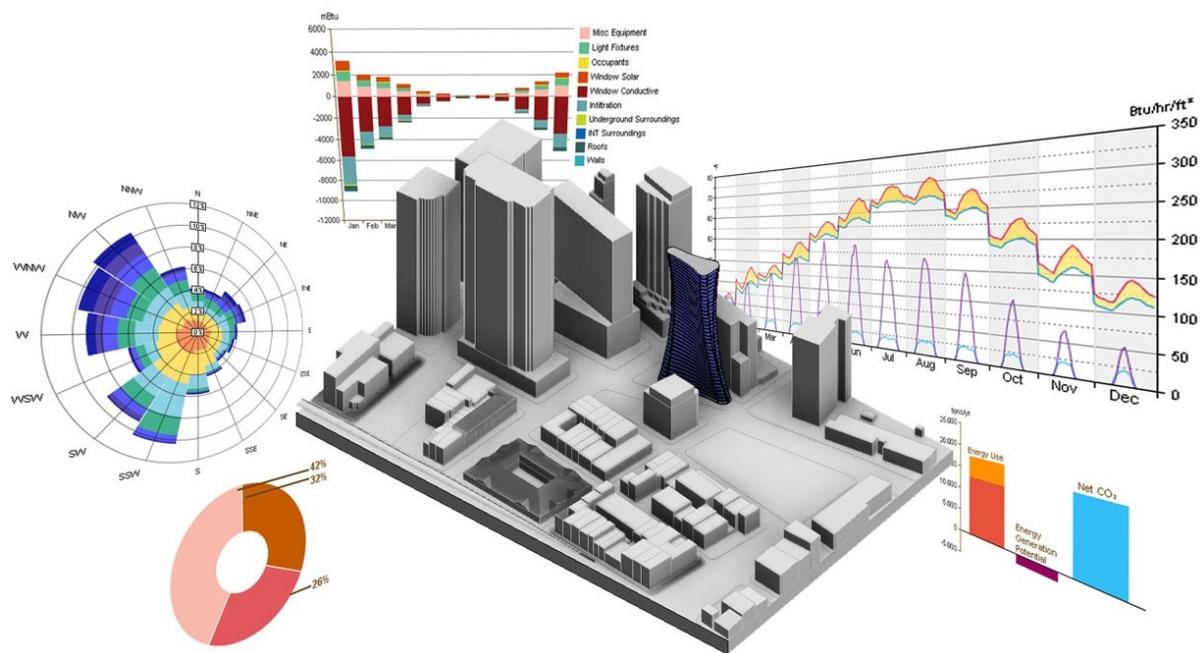


Figura 14. Modelos de 7D, tomada de Dispenza (2011)

1. 6. Modelos de 8D

Los modelos de 8D de BIM permiten implementar los planes de seguridad en los modelos de 3D, como se observa en la figura 15. Así, por ejemplo los planes HSW [*health, safety, welfare*:

salud, seguridad y bienestar] con los objetivos de promover el bienestar físico, mental y social de los usuarios; limitar y prevenir el daño accidental o muerte de los usuarios e inducir reacciones físicas y emocionales positivas de los usuarios (Sullivan, 2007) y los planes PTD [*prevention through design*: prevención mediante el diseño] con los objetivos de establecer los perfiles de riesgo de cada objeto del modelo, las sugerencias de diseño para elementos de alto riesgo y los controles para los lugares de alto riesgo a pesar de las revisiones de diseño (Kamardeen, 2010) se simulan en el modelo de 3D para implementarse. Tradicionalmente los análisis de seguridad en los proyectos de AEC/FM se realizan por fuera de las herramientas de BIM.



Figura 15. Modelos de 8D, tomada de Proyecto BIMpulso (2015)

Adicionalmente, a los modelos de BIM definidos por Peter Smith (2014), es importante destacar los modelos de análisis estructural que se ofrecen frecuentemente en las *suites*⁷ de BIM y los modelos acústicos que se ofrecen como herramientas innovadoras; estos dos modelos adicionales

⁷ *Suite* es un conjunto de programas de computador incluidos en un sólo paquete, frecuentemente comparten un aspecto similar y permite la interoperabilidad entre sus datos (Alegsa, 2008).

prueban la capacidad de agregar múltiples dimensiones al modelo BIM (Eastman, Liston, Teicholz, & Sacks, 2011; Eastman & Aram, IAARC, 2013).

1. 7. Modelos Estructurales

Los modelos estructurales de BIM permiten el análisis estructural y cálculo de estructuras para diferentes materiales, según las normas de cada país, permitiendo la evaluación de los esfuerzos, las deformaciones y las tensiones, y en general la resistencia de los materiales presentes en los modelos de 3D, como se observa en la figura 16 (Dlubal software, 2015). Tradicionalmente los diseños estructurales en los proyectos de AEC/FM sólo registran las dimensiones, los despieces, las uniones entre elementos, el montaje, el mantenimiento, la normativa, las mediciones, etc., en los modelos de 3D (Liébana & Gómez, 2013).

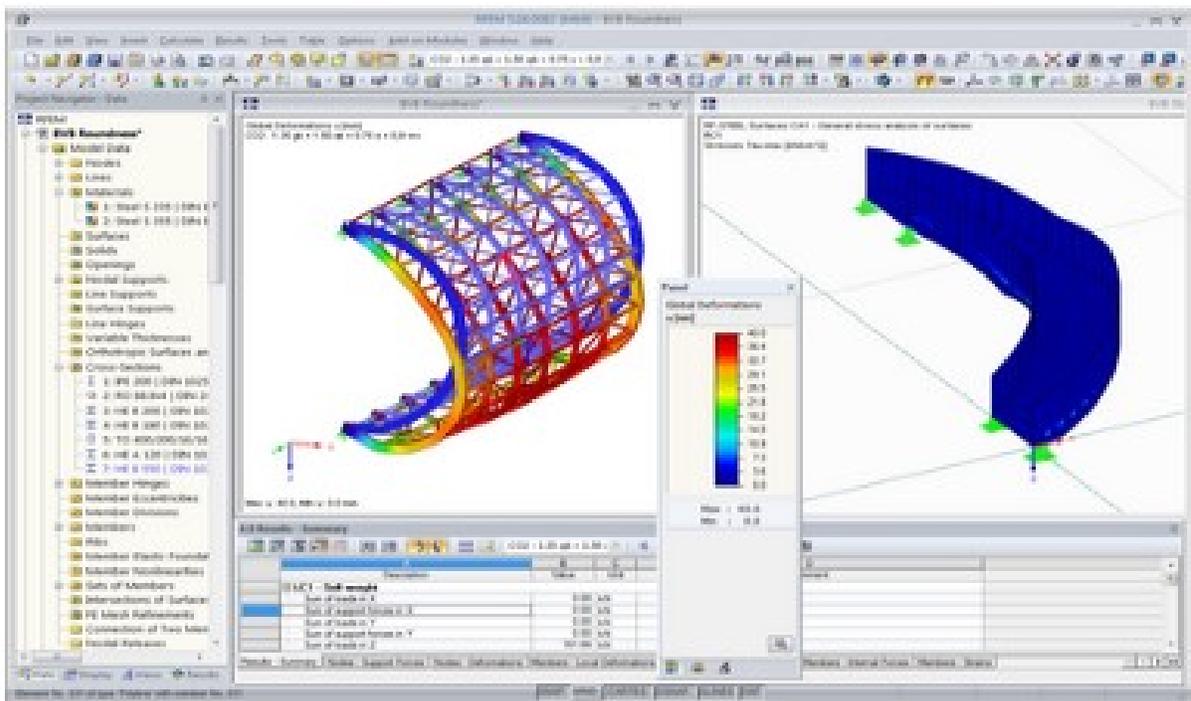


Figura 16. Modelos estructurales, tomada de Dlubal software (2015)

1. 8. Modelos Acústicos

Los modelos de análisis acústicos de BIM permiten evaluar la calidad del sonido, el control pasivo y activo del ruido y las vibraciones, la relación entre sonido y los materiales de construcción, y la aurilización⁸, (Kim, Coffeen, & Sanguinetti, 2013). Así, por ejemplo un diseñador puede utilizar los modelos de análisis acústico para evaluar las propiedades acústicas de un auditorio propuesto (figura 17) o predecir los niveles de ruido de cualquier máquina en una fábrica (Carlbom, y otros, s.f.). Tradicionalmente los análisis acústicos en los proyectos de AEC/FM se realizan en planos de 2D o directamente en el lugar del proyecto.

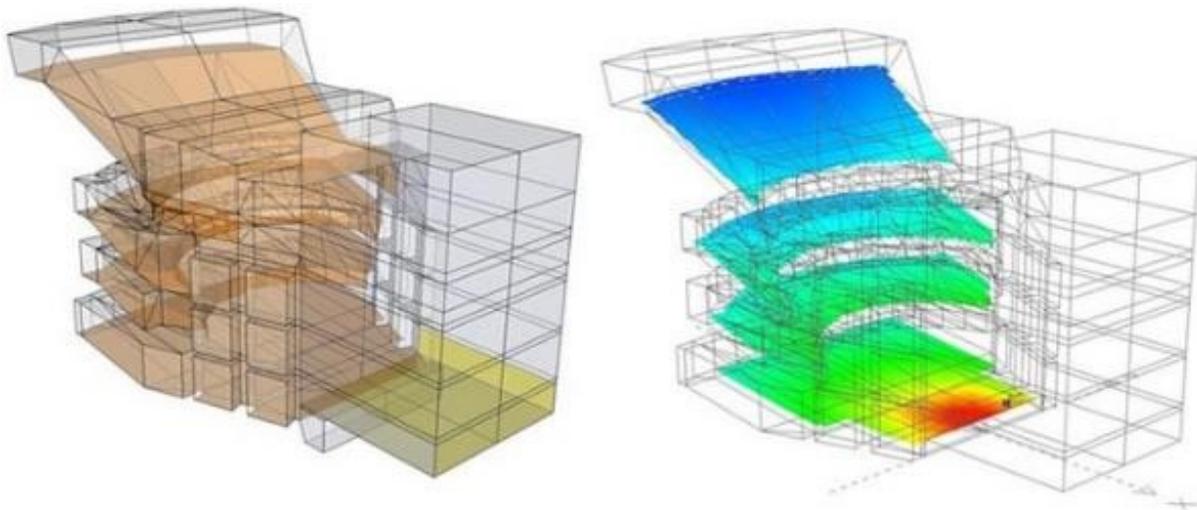


Figura 17. Modelos acústicos, tomada de Max fordham (2015)

La capacidad multidimensional del BIM es sorprendente. Sin embargo, el BIM no se limita al uso del *software* para producir modelos, el BIM exige pensar de una forma diferente, exige pasar del enfoque tradicional en donde los participantes del proyecto trabajan en piscinas separadas de

⁸ Aurilización es el proceso virtual que permite una escucha de un mensaje oral o un pasaje musical desde cualquier punto de un recinto (UNAD, 2015).

información con *software* incompatible, a un nuevo enfoque totalmente integrado, en donde los participantes comparten y trabajan con la misma información de manera colaborativa. Así, el modelo de BIM es el centro de todo el equipo encargado del proyecto (Smith P. , 2014). A continuación se presentan las metodologías colaborativas más destacadas.

1. 9. Trabajo Colaborativo

El trabajo colaborativo es un conjunto de metodologías que facilita a las personas compartir sus conocimientos y experiencias. Como ejemplo, se presentan a continuación dos prácticas que encajan y complementan perfectamente el BIM: la IPD [entrega integrada de proyectos] con énfasis en la participación colaborativa y la PLM [gestión del ciclo de vida del producto] con énfasis en la tecnología colaborativa.

1. 9. 1. La entrega integrada de proyectos [IPD]. Es una metodología de gestión de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras empresariales y prácticas, en un proceso que aprovecha la colaboración de los talentos y los puntos de vista de todos los participantes para optimizar los resultados del proyecto, aumentar el valor para el propietario al reducir los residuos y maximizar la eficiencia en todas las fases de diseño, construcción y operación (AIA, 2007). La metodología de IPD propone los siguientes principios, componentes y fases para el desarrollo de proyectos de AEC/FM:

1. Los principios: el respeto y confianza; los beneficios y bonificaciones; la innovación colaborativa y toma de decisiones; la participación temprana de los participantes clave; la definición

temprana de las metas; las planificación intensiva; la comunicación abierta; la tecnología apropiada; y la organización y el liderazgo.

2. Los componentes: el equipo es compuesto por las principales partes interesadas (diseñadores, constructores y propietarios), se reúnen y trabajan en colaboración y abiertamente en el proceso desde el principio; la información es abiertamente compartida a todos los niveles, experiencia y conocimiento se entregan al proceso desde el inicio; la gestión es colectiva y compartida apropiadamente entre las partes interesadas; las bonificaciones del equipo se comparten a partir del éxito del proyecto; los proyectos utilizan el BIM, y los riesgos son compartidos entre el equipo. En la figura 18 se presenta un esquema del equipo en la metodología de IPD.

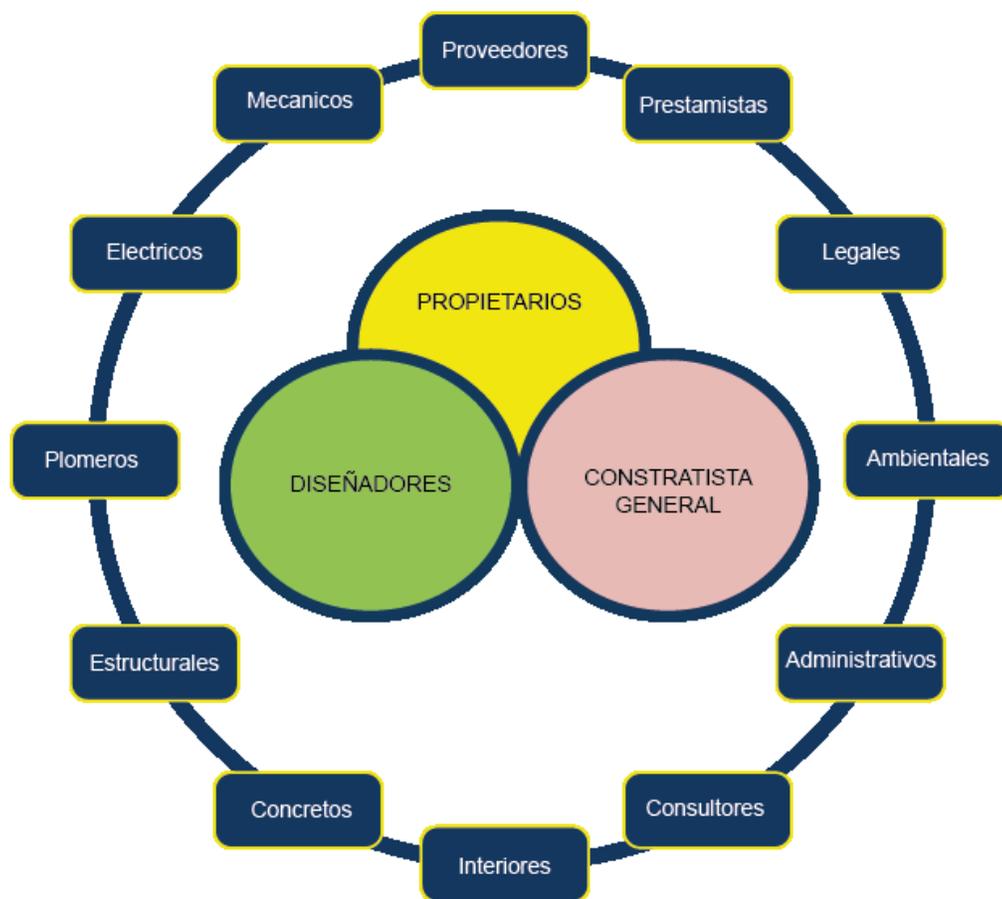


Figura 18. Equipo en la metodología de IPD, adaptada de Cabrero (2014)

3. Las fases: conceptualización; criterios de diseño; diseño detallado; documentos de implementación; coordinación de trámites y permisos y compras; la construcción (administración de compras) y la operación y mantenimiento. En la figura 19 se comparan los procesos de diseño tradicional y de diseño integrado (IPD), según el AIA (2007).

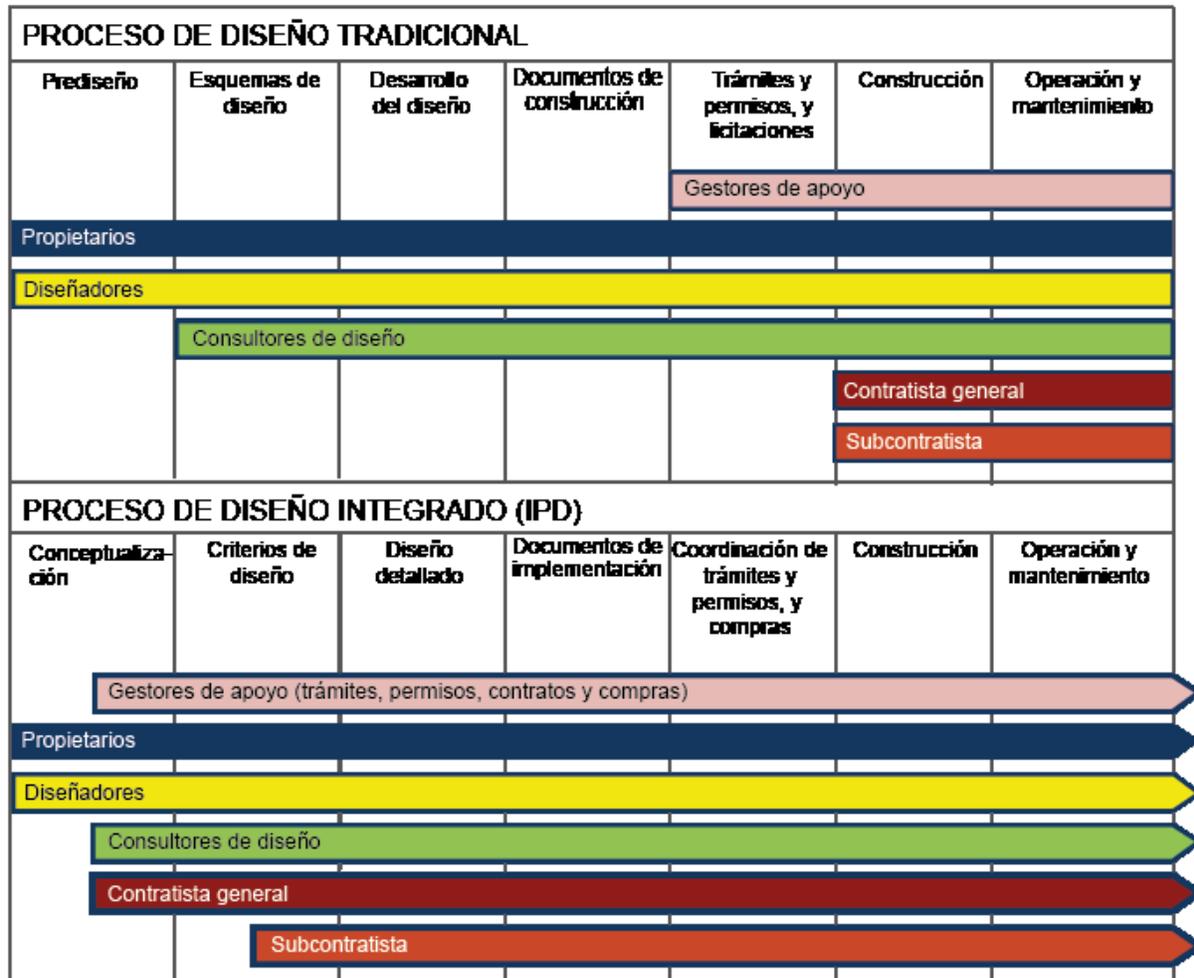


Figura 19. Metodología tradicional vs integrada, adaptada del AIA (2007)

1. 9. 2. La gestión del ciclo de vida del producto [PLM]. Es una metodología empresarial que facilita la integración de personas, procesos e información mediante computación en la nube para crear de forma colaborativa productos, como se presenta en la figura 20 (Cibersur, 2011). Entre

las soluciones informáticas de computación en la nube⁹ se destacan los programas (*SaaS: software as a service*), las plataformas [*PaaS: platform as a service*], y las infraestructuras [*IaaS: infrastructure as a Service*]: Los principales objetivos de la PLM son facilitar el trabajo colaborativo entre diseñadores, constructores y propietarios, y permitir el manejo centralizado, interoperable y seguro de la información y las comunicaciones relacionadas con el producto durante su ciclo de vida (PTC, 2015).



Figura 20. Computación en la nube, adaptada de Dreamstime (2015)

Las ventajas de utilizar la PLM en proyectos de AEC/FM es que los participantes disponen en tiempo real de servicios, plataformas e infraestructuras en la nube, que permiten el procesamiento, el almacenamiento, la visualización de archivos, el control de versiones, las restricciones según

⁹ Los servicios en la nube son los que se realizan a través de internet.

usuario, los mensajes instantáneos, los correos electrónicos, la sincronización, etc., desde cualquier lugar y en cualquier dispositivo electrónico con acceso a internet (Eastman & Aram, 2013), como se presenta en la figura 21. Sin embargo es importante destacar que el mayor beneficio de la PLM es cuando se integran las soluciones informáticas de estrategia y apoyo empresarial, conformadas, según Evans (2001) además de la gestión del ciclo de vida del producto [*PLM: product lifecycle management*] por la gestión de relaciones con clientes [*CRM: customer relationship management*], la administración de suministros [*SCM: supply chain management*], y la planificación de recursos empresariales [*ERP: enterprise resource planning*].

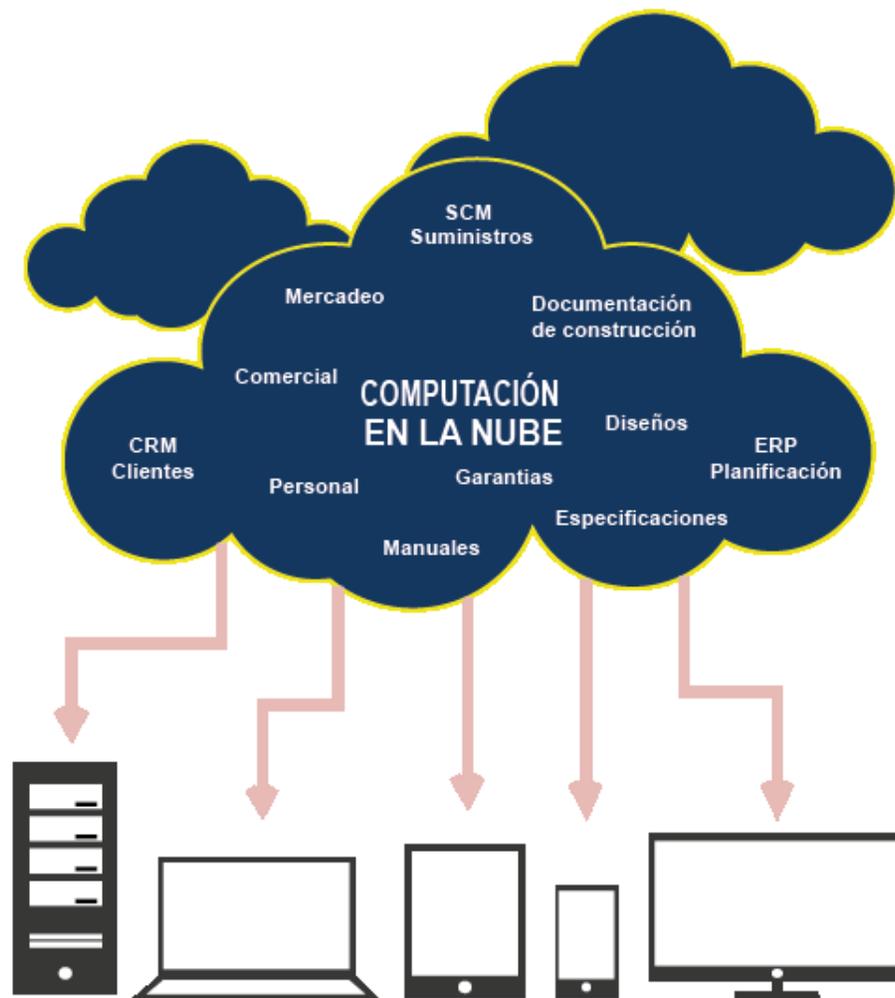


Figura 21. Computación en la nube, adaptada de Rsantos (2015)

Recientemente, Dassault Systèmes (2014) presentó los niveles del BIM en el esquema conceptual de la figura 22, que registra en los niveles 0, 1 y 2 del BIM la utilización de papeles, archivos y colecciones como las herramientas información y comunicación utilizadas durante las décadas de 1990, 2000 y 2010 respectivamente; y propone la utilización de servicios web integrados (BIM hub) en la década de 2020, esto significa la implementación de la PLM al 100% en los proyectos de AEC/FM en el mediano y largo plazo. Al respecto, en el Reino Unido se decidió exigir BIM nivel 2 para todos los proyectos de construcción públicos partir del año 2016, como parte de la estrategia pública para la construcción (Cabinet Office U.K., 2011) requisito que sin duda será repetido en otras partes del mundo.

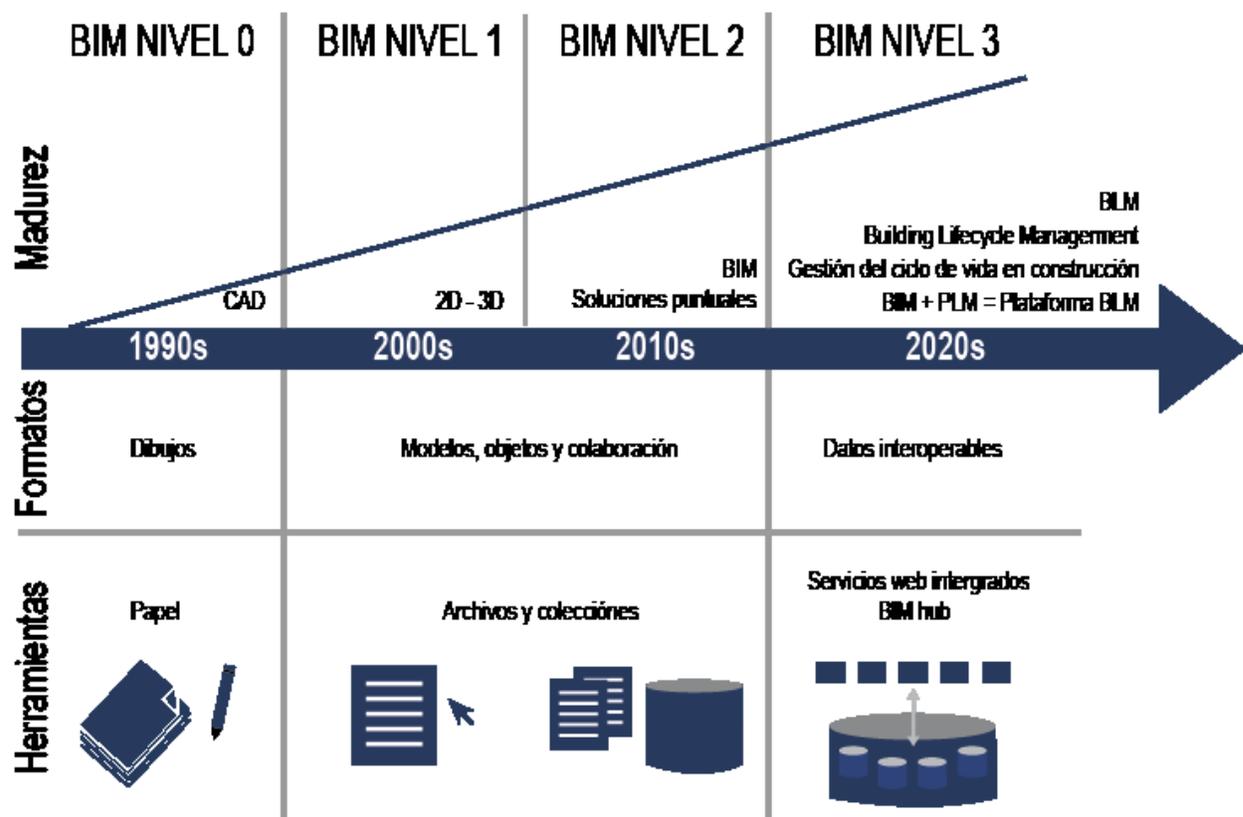


Figura 22. Esquema conceptual de los niveles del BIM, adaptada de Dassault Systèmes (2014)

Finalmente la capacidad de procesar y almacenar información de las tecnologías informáticas son esenciales para la práctica del BIM, como explica Ramos M. (2011) "el concepto de modelado geométrico se refiere al conjunto de métodos utilizados para definir la forma y otras características de los objetos, la construcción de los objetos es normalmente, en sí misma, una operación asistida por computador, estos juegan un papel esencial, ya que sin su potencia de cálculo los procedimientos del modelado geométrico solamente podrían aplicarse en modelos de escasa importancia práctica". Al respecto se presentan a continuación de manera breve los conceptos más destacados de las tecnologías informáticas.

1. 10. Tecnologías Informáticas

Las tecnologías informáticas son un conjunto de herramientas que permiten el procesamiento y almacenamiento de información de manera automática. Se presentan a continuación los componentes más utilizados en proyectos de AEC/FM realizados mediante el BIM.

1. 10. 1. El personal informático o los usuarios finales. Son los miembros del equipo de participantes que practican el BIM, como los diseñadores, constructores, propietarios y otros, quienes a partir de su conocimiento, experiencia y trabajo colaborativo crean los proyectos de AEC/FM. Entre el personal informático se destaca el BIM *mánager* que es la persona encargada de coordinar, implementar y mantener la práctica del BIM en una organización, con especial énfasis en el trabajo colaborativo, sin olvidar que el modelo BIM es el centro de todo el equipo durante el ciclo de vida del proyecto, como se observa en el esquema de la figura 23.

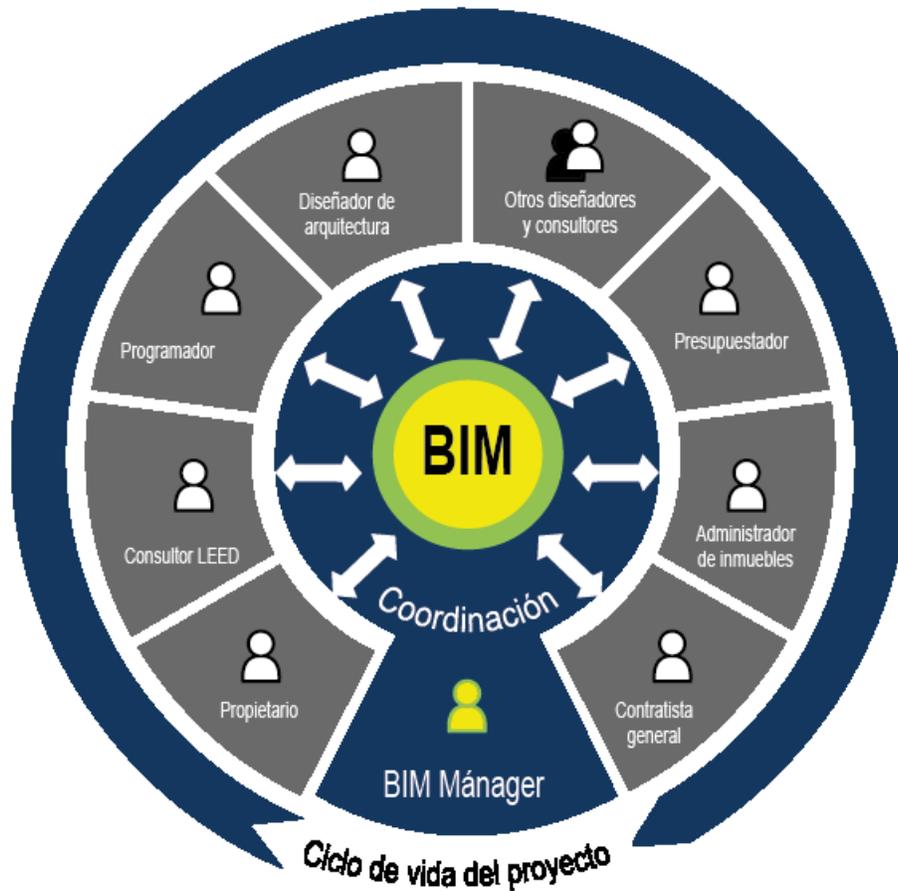


Figura 23. Equipo BIM, adaptada de Hochtief (2013)

1. 10. 2. El *hardware*. Es el “conjunto de componentes que integran la parte material de las computadoras” (RAE, 2015). En proyectos de AEC/FM realizados mediante el BIM, el *software* y los modelos exigen que el *hardware* tenga capacidad para procesar y almacenar gran cantidad de datos, aunque cada *software* tiene unos requisitos mínimos y recomendados que se deben considerar. Sin embargo, la recomendación general es que en cuestiones de *hardware* “más capacidad es mejor” (CMD group, 2010). Se describen a continuación los componentes más destacados del *hardware*.

El *hardware* electrónico se desarrolló a partir de la maquina universal de cálculo propuesta en 1936 por Alan Turing. Los primeros *hardware*, como: el Z, el Colossus Mark y el ENIAC¹⁰ exigían ajustes y modificaciones que tardaban incluso semanas para cada nuevo cálculo, este problema interesó a John von Neumann quien en 1949 presentó el modelo de arquitectura de *software* almacenado, utilizado inicialmente en EDVAC¹¹ y después prácticamente en todas las versiones de *hardware* (Universidad Politecnica de Madrid, 2015). El modelo está compuesto por la unidad central de proceso [*CPU: central processing unit*], la memoria interna, los dispositivos de entrada y los dispositivos de salida, como se observa en la figura 24; al pasar las décadas se volvió frecuente encontrar dispositivos de entrada y-o salida adicionales, a continuación se presentan los componentes más destacados del *hardware* a partir de las definiciones de la Universidad de Colima (2015).

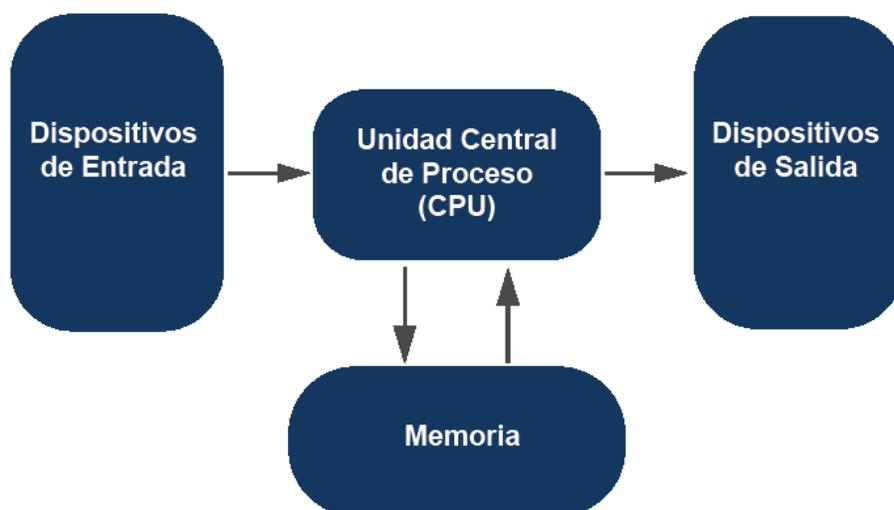


Figura 24. Modelo de arquitectura de *software* almacenado, adaptada de Info-Aprende (2015)

¹⁰ ENIAC: *electronic numerical integrator and computer*

¹¹ EDVAC: *electronic discrete variable automatic computer*

1. 10. 2. 1. La unidad central de proceso [CPU]. Es un componente esencial conectado a la memoria interna que permite ejecutar las órdenes del *software* y procesar los datos, la CPU se compone de la unidad de control que se encarga de recibir los datos para interpretarlos y procesarlos, y de enviar órdenes a los demás componentes del *hardware* y de la unidad aritmético-lógica que se encarga de realizar sumas, restas, multiplicaciones, divisiones, potenciación, radicación y otras operaciones aritméticas; y de realizar comparaciones, como: mayor que, menor que, mayor o igual que, y de otras operaciones lógicas.

La capacidad de cálculo de la CPU ha aumentado durante décadas, como resultado de innovaciones. Las primeras CPU se desarrollaron a partir de válvulas electrónicas, luego los transistores y en la actualidad los circuitos integrados, chips o microchips. Estos permiten, según Juan Carlos Gambau (2005), controlar una gran corriente eléctrica con una pequeña tensión a manera de puertas, que se cierran (on) o que se abren (off), así, fácilmente se reconoce entre dígitos binarios. Las unidades de medida de procesamiento de datos se dan en múltiplos de hercio, hertzio o hertz (Hz) con escalas cada 1.000 Hz del sistema internacional de unidades¹², como se observa en la tabla 1, un hercio significa un ciclo por segundo, entendiendo ciclo, como la repetición de un suceso.

Tabla 1. Sistema de medidas en procesamiento de datos

NOMBRE	SÍMBOLO	EQUIVALENCIAS		
Hercio	Hz	1 Hz	1 Hz	1 Hz
kilohercio	KHz	1.000 Hz	10 ³ Hz	1.000 Hz
Megahercio	MHz	1.000 KHz	10 ⁶ Hz	1.000.000 Hz
Gigahercio	GHz	1.000 MHz	10 ⁹ Hz	1.000.000.000 Hz
Terahercio	THz	1.000 GHz	10 ¹² Hz	1.000.000.000.000 Hz
Petahercio	PHz	1.000 THz	10 ¹⁵ Hz	1.000.000.000.000.000 Hz
Exahercio	EHz	1.000 PHz	10 ¹⁸ Hz	1.000.000.000.000.000.000 Hz

Fuente: elaboración personal

¹² El sistema internacional de unidades es coordinado por la oficina internacional de pesas y medidas.

1. 10. 2. 2. La memoria interna. Es un componente esencial conectado a la CPU que permite almacenar el *software* y los datos que la CPU está ejecutando y procesando, o está por ejecutar y procesar, la memoria interna es esencialmente la memoria RAM [*random-access memory*], sin embargo, para inicial el sistema es necesaria la memoria ROM [*read-only memory*].

Los primeros medios de almacenamiento se realizaron mediante tarjetas perforadas para telares simples, automáticos y programables que en 1889 Herman Hollerith adaptó para almacenamiento de datos, luego las cintas magnéticas se presentaron en 1949 por John Presper Eckert y John William Mauchly, y en la actualidad se utilizan circuitos integrados, chips o microchips. Las unidades de medida del almacenamiento de datos se dan en múltiplos de *byte* con escalas cada 1.000 *byte* [*binary tuple*] en el sistema internacional de unidades, como se observa en la tabla 2, un *byte* significa generalmente una secuencia de ocho *bits* [*binary digit*].

Tabla 2. Sistema de medidas en almacenamiento de datos

NOMBRE	SÍMBOLO	EQUIVALENCIAS		
Byte	B	8 bits	1 B	1 B
kilobyte	KB	1.000 B	10^3 B	1.000 B
Megabyte	MB	1.000 KB	10^6 B	1.000.000 B
Gigabyte	GB	1.000 MB	10^9 B	1.000.000.000 B
Terabyte	TB	1.000 GB	10^{12} B	1.000.000.000.000 B
Petabyte	PB	1.000 TB	10^{15} B	1.000.000.000.000.000 B
Exabyte	EB	1.000 PB	10^{18} B	1.000.000.000.000.000.000 B

Fuente: elaboración personal

1. 10. 2. 3. Los dispositivos de entrada. Son componentes auxiliares no esenciales que permiten ingresar información a la CPU, son tan diversos, como teclados, ratones [*mouse*], micrófonos, cámaras, lápices ópticos, lectores ópticos, sensores de huella digital, lectores de caracteres magnéticos, lectores de bandas magnéticas, lectores de tarjetas chip, de marcas, de manuscritos, de códigos de barra, palancas de mando [*Joystick*], digitalizadores o tablas gráficas, escáneres, rastreadores, etc.

Escáner

1. 10. 2. 4. Los dispositivos de salida. Son componentes auxiliares no esenciales que permiten entregar información de la CPU a los usuarios finales, son tan diversos, como: monitores, proyectores digitales, impresoras, trazadores gráficos [*plotters*], altavoces, auriculares, sintetizadores de voz, visualizadores, microfilms, instrumentación científica o industrial, etc.

1. 10. 2. 5. Los otros componentes. Son dispositivos auxiliares no esenciales adicionales al modelo de arquitectura de *software* almacenado que se encuentran frecuentemente, incluso algunos vienen integrados a la placa base, todos se deben a necesidades de los usuarios finales y tiene su propio desarrollo tecnológico, a continuación se presentan los más destacados:

1. Las tarjetas gráficas son dispositivos dedicados al procesamiento gráfico, son muy necesarias para el *software* de modelado sólido como el BIM, se localizan entre la CPU y los dispositivos de salida, las tarjetas gráficas también se conocen: GPU [*graphics processing unit*], adaptador de pantalla, adaptador de vídeo, placa de vídeo, tarjeta aceleradora de gráficos, tarjeta de vídeo, etc.

2. Las memorias externas son dispositivos dedicados al almacenamiento del *software* y de los datos mediante dispositivos, como: discos duros magnéticos, discos ópticos y las unidades en estado sólido mediante tecnologías volátil y no volátil. Las memorias externas se pensaron para facilitar el almacenamiento de las memorias internas.
3. Las memorias caché son dispositivos dedicados a mejorar el rendimiento de la CPU producto de almacenar temporalmente los datos recientemente procesados, que facilitan modelado sólido del *software* de BIM, se localizan entre la CPU y la memoria RAM.
4. Los dispositivos de entrada y salida permiten simultáneamente ingresar información a la CPU y entregar información de la CPU a los usuario finales, son tan diversos, como: pantallas táctiles, multifuncionales (fax, escáner e impresora), manos libres, cascos o gafas de realidad virtual, etc.
5. Los dispositivos de comunicación son dispositivos dedicados enviar y recibir datos entre la CPU y otros hardware y-o dispositivos, son tan diversos, como: puertos lógicos, tarjetas de red alámbrica o inalámbrica, módems, concentradores, conmutadores, enrutadores, etc.
6. El bus es el sistema de comunicación dedicado a transmitir datos entre la CPU y otros *hardware* y-o dispositivos, se compone generalmente ocho conductores o líneas impresas que funcionan de la siguiente manera, por cada conductor sin impulso magnético se representa un cero y por cada conductor con impulso magnético se representa un uno, de manera lógica y equivalente se representa: cerrado y abierto, positivo y negativo, prendido y apagado, o simplemente sí y no.
7. La placa base es el elemento compuesto de conductores o líneas impresas del bus y que permite ensamblar los dispositivos integrados y conectar los dispositivos externos.

1. 10. 3. El *Software*. Es el “conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en un *hardware*” (RAE, 2015), se desarrolla mediante lenguajes programación a partir del modelo de arquitectura de *software* almacenado. El modelo permite que el *software* y los datos se almacenen y procesen mediante números binarios de algebra de Boole presentados en 1854 por George Boole. Sin embargo, los seres humanos dependen de letras, números, símbolos, gráficos, sonidos, señales y otras expresiones para informarse y comunicarse, al respecto, se desarrollaron diferentes métodos de codificación de caracteres, como: ASCII [*american standard code for information interchange*], ASCII Extendido y Unicode, que representan cada carácter por un número binario equivalente, en la actualidad por ejemplo: Unicode incluye más de 100.000 caracteres para facilitar la comunicación entre personal informático, *hardware* y *software* (The unicode consortium, 2015).

Durante décadas el *software* manejó el *hardware* y realizó las tareas de los usuarios finales, sin embargo, a partir de la década de los ochentas los fabricantes de *software* encontraron la oportunidad de ofrecer por separado los sistemas operativos (*software*) que permiten gestionar los recursos de *hardware* y las necesidades del *software* aplicativo, y el *software* aplicativo que permite realizar las tareas de los usuarios finales, como: la producción de textos, modelos, videos, etc. Adicionalmente, en la actualidad es posible encontrar por separado las aplicaciones principales (anfitrionas) con características básicas y las aplicaciones complementarias (huéspedes) que suman características adicionales y-o avanzadas a las aplicaciones principales, estas aplicaciones complementarias se conocen también como: *plug-in*, *add-on*, conectores o extensiones y deben permitir la interoperabilidad entre datos.

Al respecto, las aplicaciones principales de modelado sólido, como el *software* de BIM, se desarrollan mediante lenguajes de programación de alto nivel¹³ que incluyen una API [*application programming interface*: interfaz de programación de aplicación] y especialmente un *kernel*, motor o núcleo de modelado geométrico, según Maher (2013) los líderes en núcleos de modelado geométrico son *Parasolid* de *Siemens* y *ACIS* de *Dassault Systèmes* presentados en 1985, otros núcleos, como: *ASM*¹⁴ de *Autodesk* son de uso exclusivo, y *C3D* de *Ascon* y *CGM*¹⁵ de *Dassault Systèmes* son de poca demanda.

Es oportuno presentar la GUI [*graphical user interface*: interfaz gráfica de usuario], la OOP [*object-oriented programming*: programación orientada a objetos], la propiedad intelectual, la interoperabilidad y las prácticas de distribución de los fabricantes, que son componentes técnicos, legales y comerciales que inciden significativamente en la práctica del *software* de BIM.

1. 10. 3. 1. La interfaz gráfica de usuario [GUI]. Es el conjunto de imágenes que el sistema utiliza para facilitar la comunicación entre el personal informático, el *hardware* y el *software*, de esta manera los usuarios finales tienen un entorno amigable e intuitivo para enviar y recibir información, como se explica en la figura 25. La GUI se presentó en 1973 por Xerox, como parte del computador personal Xerox Alto, esta reemplazó la CLI [*command line interface*: interfaz de línea de comandos] compuesta de líneas de texto simple.

¹³ Los lenguajes de programación de alto nivel son amigables, intuitivos, depurados y fáciles de usar, incluyen editores de código, compiladores, depuradores y especialmente constructores de GUI, y permiten resumir miles o millones de bits en una sola orden.

¹⁴ ASM: *autodesk shape manager*

¹⁵ CGM: *convergencia geometric modeler*

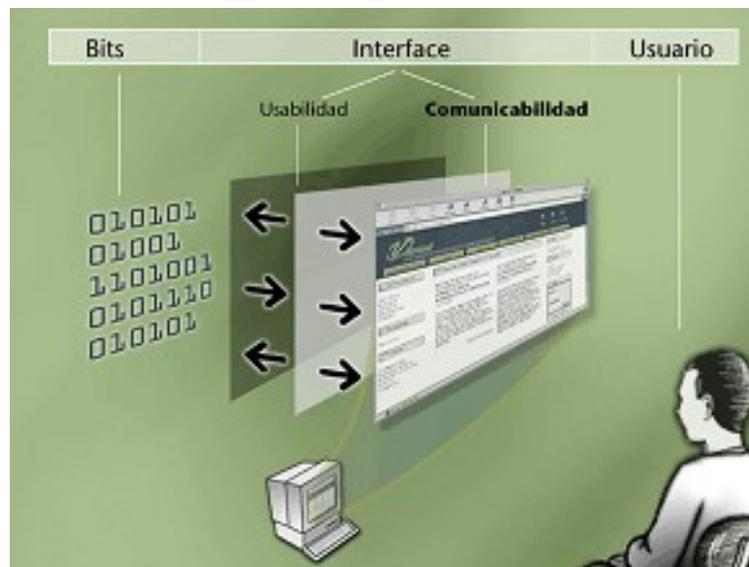


Figura 25. Interfaz gráfica de usuario, tomada de Nosolousabilidad (2015)

1. 10. 3. 2. La programación orientada a objetos [OOP]. Es un lenguaje de programación informática presentado para simulaciones de naves en 1962 por Ole-Johan Dahl y Kristen Nygaard mediante el lenguaje de programación Simula I, permite representar el mundo real mediante objetos dinámicos que se crean y modifican en un mundo virtual, así, al modelar un vehículo las propiedades son las características, como el color, el modelo y la marca; los métodos son las funciones asociadas al vehículo, como arrancar, parar y parquear, y el modelo es el vehículo.

Los conceptos básicos de la OOP son: el objeto es el elemento principal, permite encapsular la información del estado, el comportamiento y las posibles reacciones ante mensajes de otros objetos; la clase o familia es la agrupación o abstracción de un tipo específico de objetos; la instancia es la creación de un objeto a partir de un objeto o una clase; el mensaje es la acción a tomar por un determinado objeto; el método es la respuesta a los mensajes que recibe un objeto, incluye mensajes al objeto mismo y a otros objetos (Fontela, 2009). Adicionalmente, la OOP cuenta con las siguientes características, según Fontela (2009):

1. La abstracción significa que cada objeto del sistema es un modelo abstracto, que expresa las características y funciones asociadas esenciales del objeto, las cuales distinguen al objeto de otros objetos, las características y funciones asociadas también se pueden abstraer.
2. El encapsulamiento significa reunir todos los elementos que se pueden considerar pertenecientes a una misma entidad, al mismo nivel de abstracción, esto permite aumentar la cohesión entre los componentes del sistema.
3. La ocultación significa que cada objeto está aislado del exterior, sin embargo, expone su manera de interactuar con otros objetos, esto permite controlar las propiedades del objeto.
4. El polimorfismo significa que comportamientos diferentes asociados a objetos distintos pueden compartir el mismo nombre, al llamarlos por ese nombre se comportan, según el objeto que se estén usando, en otras palabras, las referencias y las colecciones de objetos pueden contener objetos de diferentes tipos y el llamado de un comportamiento en una referencia producirá el comportamiento correcto para el tipo de objeto referenciado.
5. La herencia significa que las clases no están aisladas, sino que se relacionan entre sí, formando una jerarquía de clasificación, los objetos heredan las propiedades y el comportamiento de todas las clases a las que pertenecen, la herencia organiza y facilita el polimorfismo y el encapsulamiento, permitiendo a los objetos ser definidos y creados, como tipos especializados de objetos preexistentes, estos pueden compartir y extender su comportamiento sin tener que volver a ser creados, permitiendo agrupar objetos en clases y estas clases en árboles o redes que reflejan un comportamiento común.
6. La modularidad significa que a nivel de objetos y clases se divide en módulos independientes más pequeños, que permiten modificar los objetos de manera sencilla e independiente al resto

de los objetos, sin embargo, la característica de la modularidad se aplica a diferentes aspectos funcionales de la OOP, incluyendo la cohesión y el acoplamiento de los objetos y las clases.

1. 10. 3. 3. *La propiedad intelectual.* Según la OMPI¹⁶ (2015) es un sistema que permite fomentar un entorno propicio para que prosperen la creatividad y la innovación, equilibrar el interés de los innovadores y el interés público, y obtener el reconocimiento y las ganancias por las invenciones y creaciones, adicionalmente, la propiedad intelectual es reconocida en el artículo 61 de la Constitución Política de Colombia (Asamblea Nacional Constituyente, 1991).

La propiedad intelectual reconoce, según Alarcón A. & Callejas C. (2009) el derecho de autor sobre las obras literarias y artísticas, películas, fotografías, esculturas y la propiedad industrial sobre invenciones, patentes, marcas, indicaciones geográficas, dibujos y modelos industriales. Al respecto, existen dos principios generalmente aceptados en la propiedad intelectual, el reconocimiento del derecho de autor sobre el *software* que es libre de formalidades y de la propiedad industrial sobre el *hardware* que exige el registro, evaluación y depósito de copias ante autoridades.

A partir de la propiedad intelectual se reconocen el *software* no propietario que se permiten ejecutar, copiar, distribuir, estudiar, cambiar y modificar considerando licencias de dominio público, licencias definidas por la FSF¹⁷ (Free Software Foundation, 2015) o definidas por la OSI¹⁸ (Open Source Initiative, 2015); y el *software* propietario que incluye el *software* de BIM, que permite ejecutar pero que prohíben copiar, distribuir, estudiar, cambiar, modificar, considerando las licencias de cada fabricante.

¹⁶ OMPI: organización mundial de la propiedad intelectual

¹⁷ FSF: *free software foundation*

¹⁸ OSI: *open source initiative*

1. 10. 3. 4. La interoperabilidad. Es habilidad de dos o más sistemas o componentes de intercambiar información y utilizar la información intercambiada (IEEE, 2015). Los fabricantes ofrecen *suites* de BIM que permiten la interoperabilidad de datos entre *software*, sin embargo, es frecuente encontrar falta de interoperabilidad de datos incluso entre versiones del mismo *software*. Considerando lo anterior importantes empresas y profesionales de AEC/FM, fabricantes de *software*, y gobiernos de estados; han decidido vincularse a la iniciativa *OpenBIM* de *Buildingsmart* que tiene el objetivo de estudiar, crear, adoptar, probar, mejorar, coordinar, ofrecer, promocionar y certificar estándares abiertos y neutrales que permitan el intercambio de datos (archivos) entre las diferentes alternativas de *software* de BIM (Buildingsmart, 2015). Hasta la fecha (01.10.2015) el estándar *Buildingsmart* incluye las siguientes cinco normas básicas:

1. La descripción de procesos: IDM [*information delivery manual*: manual de entrega de información] estándar aceptado por la ISO¹⁹ bajo las normas ISO 29481-1 e ISO 29481-2
2. El transporte de información y datos: IFC [*Industry Foundation Class*: fundación de clases para la industria] estándar aceptado por la ISO bajo la norma ISO 16739
3. La coordinación de cambios: BCF [*BIM collaboration format*: formato de colaboración de BIM]
4. La equivalencia de términos: IFD [*international framework for dictionaries*: biblioteca del marco internacional de diccionarios] estándar aceptado por la ISO bajo la norma ISO 12006-3
5. La traducción de procesos: MVD [*model view definition*: definición de vistas del modelo]

Adicionalmente, *Buildingsmart* periódicamente presenta el listado del *software* certificado *OpenBIM*, el último listado (01.10.2015) se presenta a continuación en la tabla 3. Sin embargo,

¹⁹ ISO: *International Organization for Standardization*

aun con los esfuerzos de *Buildingsmart* la falta de interoperabilidad entre el *software* de BIM es una de las grandes barreras en la adopción de BIM.

Tabla 3. Software certificado *OpenBIM*

FABRICANTE	SOFTWARE	CERTIFICACIÓN	TIPO	FECHA
Autodesk-A	AutoCAD Architecture	CV2.0-Arch	export	24/02/2015
Autodesk-R	Autodesk Revit LT	CV2.0-Arch	export	7/07/2014
Autodesk-R	Autodesk Revit MEP	CV2.0-MEP	export	11/07/2013
Autodesk-R	Autodesk Revit Architecture	CV2.0-Arch	export	16/04/2013
Autodesk-R	Autodesk Revit Architecture	CV2.0	import	24/07/2015
Autodesk-R	Autodesk Revit Structure	CV2.0-Struct	export	16/04/2013
Autodesk-R	Autodesk Revit MEP	CV2.0	import	26/07/2015
Autodesk-R	Autodesk Revit Structure	CV2.0	import	26/07/2015
Bentley Systems, Incorporated	AECOSim Building Designer	CV2.0-Arch	export	28/02/2015
Bentley Systems, Incorporated	AECOSim Building Designer	CV2.0-Struct	export	28/02/2015
Bentley Systems, Incorporated	AECOSim Building Designer	CV2.0	import	22/03/2015
Data Design System	DDS-CAD MEP	CV2.0-MEP	export	10/09/2014
Design Data	SDS/2	CV2.0-Struct	export	10/10/2014
Dhubal Software GmbH	RFEM/RSTAB	CV2.0	import	9/03/2015
GRAPHISOFT	ArchiCAD	CV2.0	import	20/09/2013
GRAPHISOFT	ArchiCAD	CV2.0-Arch	export	16/04/2013
Glodon Software Company Limited	Glodon Takeoff for Architecture and Structure	CV2.0	import	12/01/2015
Glodon Software Company Limited	Glodon Takeoff for Architecture and Structure	CV2.0-Arch	export	19/08/2015
NEMETSCHEK Allplan GmbH	Allplan	CV2.0-Arch	export	16/04/2013
NEMETSCHEK Allplan GmbH	Allplan	CV2.0	import	7/05/2014
NEMETSCHEK Scia	Scia Engineer	CV2.0	import	17/09/2013
NEMETSCHEK Scia	Scia Engineer	CV2.0-Struct	export	16/04/2013
NEMETSCHEK Vectorworks, Inc.	Vectorworks	CV2.0-Arch	export	30/05/2013
NEMETSCHEK Vectorworks, Inc.	Vectorworks	CV2.0	import	11/11/2013
RIB	RIB iTWO	CV2.0	import	7/09/2013
Seokyoung Systems Corp.	NaviTouch	CV2.0	import	13/01/2014
Solibri	Solibri Model Checker	CV2.0	import	30/10/2013
Solideo Systems	ArchiBIM Server	CV2.0	import	22/04/2014
Tekla	Tekla Structures	CV2.0-Struct	export	12/06/2013
Tekla	Tekla Structures	CV2.0	import	9/10/2013
Trimble Germany GmbH	Plancal nova	CV2.0-MEP	export	31/10/2014

Fuente: Buildingsmart (2015)

1. 10. 3. 5. Las prácticas de distribución. Son parte de las estrategias empresariales que utilizan en el presente y en el futuro los fabricantes de *software* para aumentar sus ventas y que los usuarios

finales valoran porque influyen en su desempeño. No es casualidad que algunas empresas de tecnología se encuentren entre las mayores 100 empresas del mundo (Zafra, 2013), a continuación se presentan las estrategias más destacadas:

1. Las actualizaciones periódicas (obsolescencia programada) permiten a los fabricantes aumentar sus ventas y a los usuarios finales aprovechar las últimas versiones (El Espectador, 2015).
2. Las versiones gratuitas o *freemium*²⁰ permiten a los fabricantes aumentar su base de clientes y a los usuarios finales aprovechar versiones especiales del *software* (Emprededores, 2013).
3. Las suites o paquetes permiten a los fabricantes aumentar sus ventas y a los usuarios finales aprovechar a un menor precio un conjunto de *software* que permite la interoperabilidad entre sus datos (Alegsa, 2008)
4. El software complementario (*plug-in*, *add-on*, conectores o extensiones) permiten a los fabricantes aumentar sus ventas y a los usuarios finales aprovechar a un precio razonable características adicionales y-o avanzadas del *software* (Fernández, 2014).
5. La computación en la nube permite a los fabricantes aumentar sus ventas, y a los usuarios finales ejecutar el *software* desde cualquier lugar y-o realizar pagos por demanda real (Tecnato, 2013).

²⁰ Freemium es un modelo de negocio de ofrecer gratis un producto básico y luego generar ingresos por la venta de productos más completos (Freemium, 2015).

2. Estado del Arte

La capacidad de la tecnología informática reciente permite hacer realidad muchas ideas del pasado; así, el BIM [modelado de información en construcción] es un catalizador de importantes prácticas que facilitan la toma de decisiones en proyectos de AEC/FM [arquitectura, ingeniería, construcción y administración de inmuebles]. Las prácticas innovadoras más destacadas del BIM se presentan a continuación, a manera de estado del arte en BIM [*state of the art in BIM*]:

2. 1. BIM *Mánager*

El BIM *mánager* es la persona encargada de coordinar, implementar y mantener la práctica del BIM en una organización (BIM freelance, 2015) con especial énfasis en el trabajo colaborativo, sin olvidar que el modelo BIM es el centro de todo el equipo durante el ciclo de vida del proyecto (Smith P. , 2014). El BIM *mánager* define el plan de implementación del BIM [*BIMXP o BEP: BIM execution plan*] que incluye los documentos entregables del BIM y la guía de coordinación entre los equipos del proyecto (College of the Desert, 2010).

Adicionalmente, el BIM *mánager* define los objetivos, los roles y responsabilidades, las estrategias contractuales, los LOD [*level of development: niveles de desarrollo*] de cada especialidad, el plan detallado de ejecución, el *software* aprobado, la estructura de archivos, los protocolos de seguridad de datos, los entregables parciales y definitivos, la metodología de colaboración, los formatos del modelo, los requisitos de modelando, etc. (College of the Desert, 2010). En la figura 26 se aprecia el esquema de coordinación del BIM *mánager*.

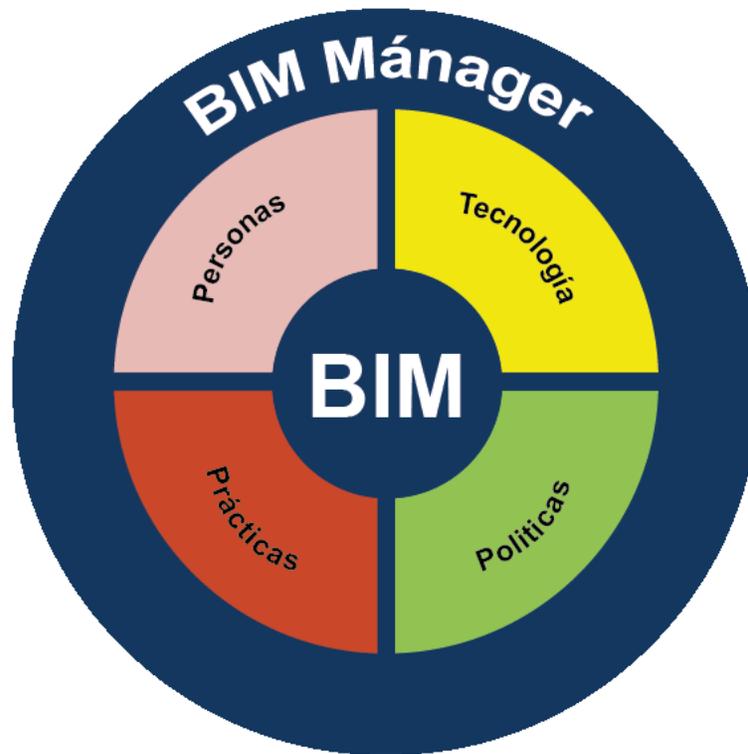


Figura 26. Coordinación del BIM *mánager*, adaptada de Hochtief (2013)

2. 2. Realidad Virtual

La realidad virtual es definida, como la representación de objetos mediante escenas o imágenes producidas mediante tecnologías informáticas que dan la sensación de su existencia real (RAE, 2015). Así, la realidad virtual permite la visualización de conceptos, objetos y acciones en tres dimensiones de forma interactiva, en donde los usuarios finales tienen la posibilidad de moverse al interior del espacio y de interactuar con los objetos presentes en el espacio en 3D. En la interacción de los usuarios finales está la gran diferencia entre la realidad virtual y el modelado de 3D (Romero, 2005).

Las prácticas de realidad virtual más destacadas en los proyectos de AEC/FM aprovechan la estereoscopia²¹ (3D-E) para interactuar con los objetos antes de ser creados con el objetivo de reducir y prevenir errores, demoras y sobrecostos, a partir de modelos de 3D realizados en *software* de BIM. Se presentan a continuación los sistemas de realidad virtual más destacados:

1. Los sistemas inmersivos permiten a los usuarios finales sentirse con el mayor grado de libertad al interior del mundo virtual que se está representando, estos se utilizan en actividades de entrenamiento o capacitación; al respecto, se destacan los sistemas HMD²² BOOM²³ y CAVE²⁴, como el que se aprecia en la figura 27. Sin embargo, la inmersión total es muy difícil de alcanzar debido a la multitud de sentidos involucrados (Romero, 2005).



Figura 27. Realidad virtual en el sistema CAVE, tomada de Cadalyst (2010)

²¹ La estereoscopia es la técnica que permite la representación de imágenes tal y como son en la realidad, a partir de la captación y reproducción de imágenes para visión binocular en tres dimensiones, con especial énfasis en la profundidad (Euroteknia, 2015).

²² HMD: *head-mounted display*

²³ BOOM: *binocular omni orientation monitor*

²⁴ CAVE: *automatic virtual environment*

2. Los sistemas semi-inmersivos permiten a los usuarios finales sentirse con algún grado de inmersión. Como se explicó anteriormente es difícil alcanzar la inmersión total. Se destacan los sistemas VMD²⁵, SID²⁶, Imax y Domes, como el que se aprecia en la figura 28, que se caracterizan por grandes pantallas, uso de lentes y opcionalmente algún dispositivo que permita el movimiento del usuario final, así, las imágenes proyectada son calculadas por el motor de realidad virtual para cada pared y para el suelo (Romero, 2005).



Figura 28. Realidad virtual en el sistema VMD, tomada de Techviz (2015)

3. Los sistemas no inmersivos son muy básicos, se caracterizan por dispositivos de entrada y salida, como: monitor, ratón, teclado y palanca de control [*joystick*], y se utilizan para visualizaciones científicas o simulaciones en donde es más importante la secuencia que la calidad de la representación de 3D (Romero, 2005).

²⁵ VMD: virtual model display

²⁶ SID: spatially immersive displays

Sin embargo, es importante destacar que a partir de la realidad virtual y de acuerdo con Jeremy Bailenson del laboratorio de realidad virtual de la Universidad de Stanford “cualquier cosa es posible, puedes hacer que te sientas de 70 años, que seas de otra raza, de otro sexo o caminar un kilómetro en el cuerpo de otra persona, etc., para experimentar la discriminación que sufre” (Wen, 2014).

2. 3. Realidad Aumentada

La realidad aumentada es definida, como la superposición de contenido generado digitalmente, como video, gráficos o sonido, a imágenes reales captadas mediante tecnologías informáticas, como teléfonos, tabletas o gafas HMD²⁷. Así, por ejemplo se destacan los siguientes ejercicios de realidad aumentada:

“Ikea, la corporación de origen sueco dedicada a la venta de muebles, decorados y artículos para el hogar, ha sido pionera en el uso de realidad aumentada en sus catálogos, y asegura que la reacción del público ha sido positiva. Los consumidores pueden mirar en el catálogo del año 2014 (figura 29), y escanear un producto que les guste con su teléfono inteligente y luego apuntar el celular al lugar donde les gustaría colocar el mueble en su hogar. Una imagen a escala del mueble es proyectada virtualmente sobre la imagen de la habitación y el consumidor puede ver virtualmente en su pantalla cómo se vería el producto en su hogar” (Thomas, 2014).

²⁷ HMD: head-mounted display



Figura 29. Realidad aumentada en Ikea, tomada de Dream Orange (2015)

“Volkswagen, la multinacional de origen Alemán introdujo a MARTA [*mobile augmented reality technical assistance system*: sistema de asistencia técnica móvil con realidad aumentada], una aplicación para tabletas dirigida a mecánicos. El sistema superpone gráficos de 3D a escala sobre las grabaciones en vivo de una cámara. De esta forma, MARTA guía a los mecánicos paso a paso en tareas relacionadas con el ensamblaje o mantenimiento del XL1, un auto híbrido de Volkswagen. También indica qué herramientas usar, qué piezas seleccionar e inclusive permite probar virtualmente diferentes componentes, como capotas de diferentes colores” (Thomas, 2014), como se observa en la figura 30.



Figura 30. Realidad aumentada en Volkswagen, tomada de PSFK (2013)

La gran ventaja de la realidad aumentada es que potencia el proceso de toma de decisiones y permite a los trabajadores ser más eficientes (Thomas, 2014), la adopción de la realidad aumentada es simplemente el siguiente paso en proyectos de AEC/FM que utilizan el BIM.

2. 4. Identificación de Objetos

La identificación de objetos facilita la administración de inventarios y la consulta de características asociadas a los productos, se utiliza en gran variedad de industrias mediante tecnologías informáticas desarrolladas a partir de códigos de barras, códigos QR [*quick response*], y de etiquetas RFID [*radio frequency identification*], etc. En proyectos de AEC/FM la identificación de objetos ha permitido en el pasado el seguimiento [*tracking*] de materiales, trabajadores y equipos en los proyectos.

Sin embargo, el alcance de la identificación de objetos incluye recientemente información del ciclo de vida completo de los objetos reales del proyecto, desde su concepción en adelante (Valero, 2013). Entre las características de las tecnologías que permiten la identificación de objetos se destaca la portabilidad de los dispositivos de entrada, como tabletas y teléfonos inteligentes [*smartphones*], así, cualquier persona que escanea un código QR, como se observa en la figura 31, tiene acceso a cualquier información asociada al objeto real, incluso a prácticas de realidad aumentada disponibles (Dolinar, 2015).

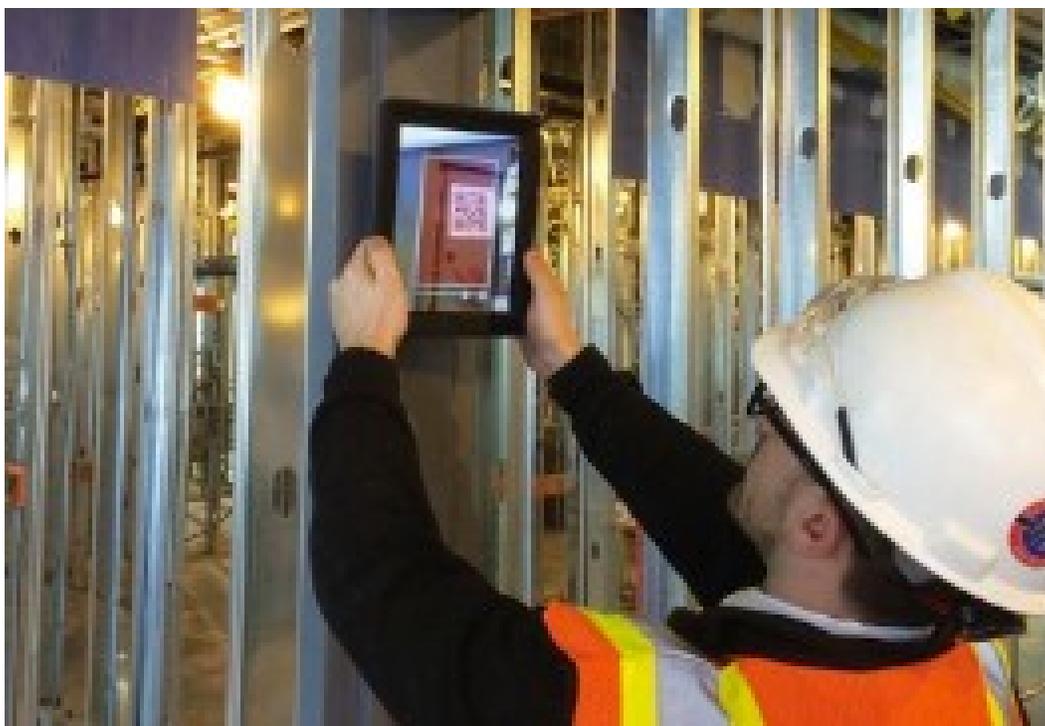


Figura 31. Identificación de objetos (Building design & construction, 2015)

La identificación de objetos es una herramienta que permite la automatización de los procesos de identificación, selección y recuperación de información que ofrecen las etiquetas RFID, que integradas al BIM facilitan la toma de decisiones y disminuyen el tiempo y los costos de operación

y mantenimiento, a diferencia de las prácticas tradicionales de los proyectos de AEC/FM (Meadati, Irizarry, & Akhnoukh, 2010).

Sin embargo, la identificación de objetos conectados al BIM es una tecnología aun en desarrollo, que promete la creación y administración de los datos del ciclo de vida, esto incluye información de la geometría de los objetos, las relaciones espaciales, las referencias geográficas, las cantidades y las propiedades de los componentes de cada instalación, etc. A manera de ingeniería inversa (Valero, 2013).

2. 5. Escáner en 3D

El escáner en 3D permiten recoger muestras de la geometría y a veces el color de los objetos para generar modelos digitales en 3D del mismo, la idea es obtener la posición en el espacio tridimensional de cada punto analizado, como se observa en la figura 32, se realiza mediante dispositivos de entrada, como escáneres de 3D (3D impresoras 3D, 2015). Se destacan los siguientes dispositivos:

1. El escáner de contacto exige un elemento palpador (punta de acero duro o zafiro) que se apoya y desplaza sobre el objeto a medir, es de alta precisión y más pequeños, sin embargo, son lentos y exigen trabajar con objetos que no sean frágiles (3D impresoras 3D, 2015).
2. El escáner sin contacto exige algún tipo de señal; estos son activos cuando emiten algún tipo de señal y analizan su retorno para capturar geometrías, o son pasivos cuando no emiten ningún tipo de señal y se basan en detectar la radiación reflejada en el ambiente (3D impresoras 3D, 2015).

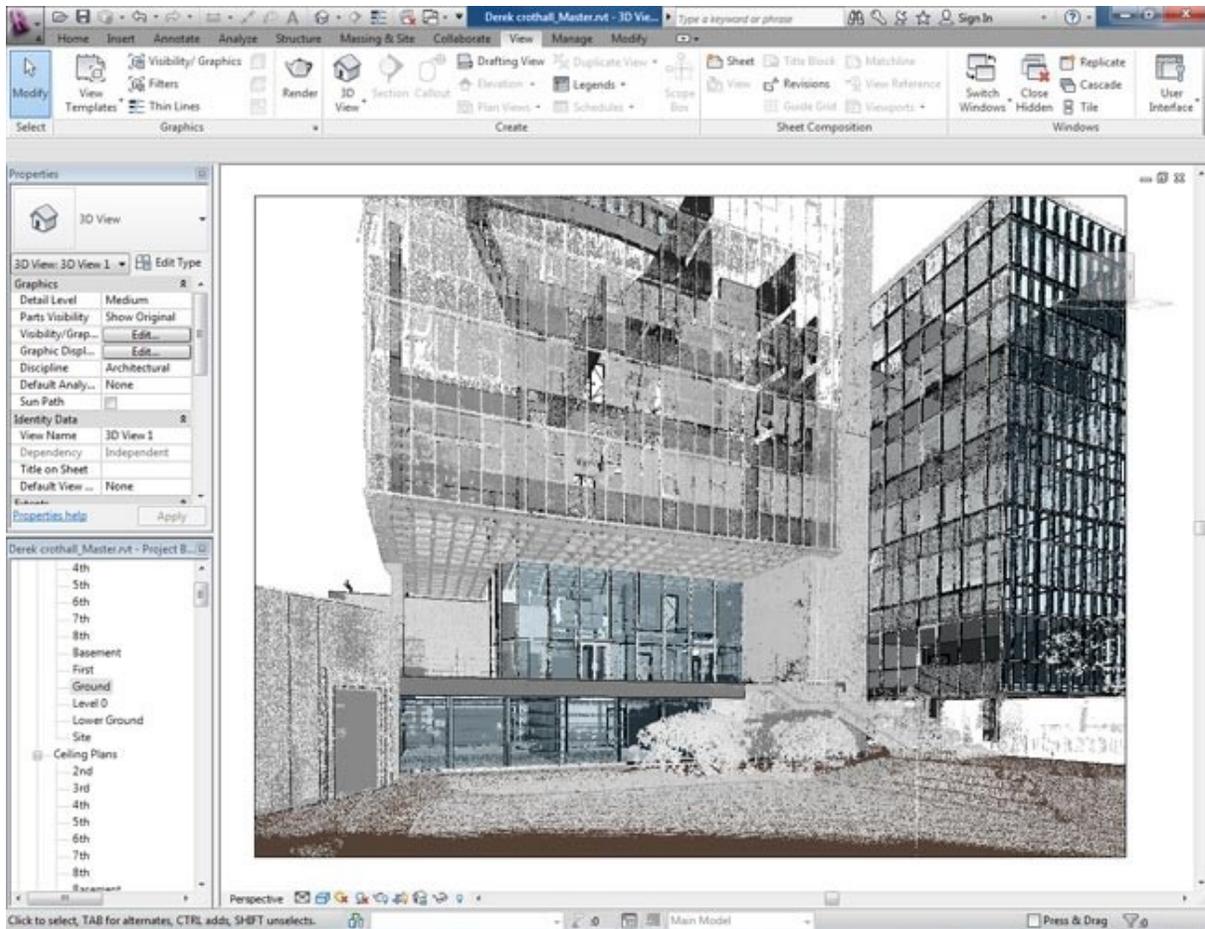


Figura 32. Escáner en 3D, tomado de AEC Magazine (2012)

En proyectos de AEC/FM el escáner de 3D permiten comparar el modelo de 3D de BIM con el estado real del proyecto durante todas sus fases, así, la comunicación, la colaboración y la solución de problemas es más fácil para los participantes, esto da como resultado proyectos de mayor calidad que se construyen más rápido y son más económicos (Faro, 2015). Especialmente se destaca el uso de escáner sin contacto activo que son utilizados mediante técnicas de tiempo de vuelo [*time of flight*] para la medición de grandes objetos y edificios, y de triangulación para la medición de pequeños objetos (3D impresoras 3D, 2015).

2. 6. Construcción Automatizada

La construcción automatizada o *CAM* [*computer-aided manufacturing*: fabricación asistida por computador] es posible gracias al control numérico de robots mediante *software*, así, después de 50 años es realidad el sueño de académicos y empresarios de contar con máquinas que permitan fabricar directamente productos (Crotty, 2012). La mayor ventaja de la construcción automatizada es que “incrementa la productividad y la calidad de una obra, en la actualidad por ejemplo la puesta en funcionamiento de edificios puede tardar hasta dos años y se pretende reducirlo en un 70% con la ayuda de robots constructores, explica Santiago Martínez” (UC3M, 2015).

En la construcción automatizada se pueden identificar dos tipos de sistemas: “el primero no es exactamente un robot sino que son grandes complejos que integran múltiples sistemas y que se encargan de la construcción completa de un edificio de forma automatizada, son sistemas que van ensamblando los componentes de un edificio planta por planta y suben de nivel, según va ganando altura la estructura; y el segundo tipo son robots pequeños encargados de realizar una tarea concreta, como por ejemplo: acabado de superficies de cemento o inspección de estructuras” (UC3M, 2015). Entre los sistemas de construcción automatizada se destacan las impresoras en 3D para las estructuras de gran tamaño y los robots constructores para las actividades más pequeñas, que a manera de ejemplo se presentan a continuación:

2. 6. 1. Las impresiones en 3D. Permiten generar un objeto sólido tridimensional mediante la adición de material a partir de un modelo digital que definen lo que se va a imprimir, se realiza mediante dispositivos de salida como las impresoras 3D (3D impresoras 3D, 2015). En proyectos de AEC/FM las impresiones en 3D sólo utilizan la cantidad de material estrictamente necesario, así, por ejemplo People Daily (2015) presenta la siguiente reseña:

Los edificios aparecen de la noche a la mañana contruidos por enormes máquinas, esto ya no es algo de ciencia ficción, en la actualidad una constructora con sede en Shanghái ha dado un paso adelante y ha comenzado a construir las primeras viviendas del mundo realizadas con impresoras 3D. Hasta ahora, la empresa Yingchuang Construction Techni (WinSun) que ha construido más de una docena de casas con impresión 3D, incluyendo una villa y el edificio construido con impresión 3D más alto del mundo, una torre de cinco pisos de apartamentos.

La empresa utiliza cuatro impresoras de 3D (figura 33), de 6,6 metros de altura y casi tan anchas y largas, como una pista de baloncesto para imprimir las paredes capa por capa, una por una. La "tinta" utilizada es una mezcla de cemento y residuos ecológicos y rentables para la construcción. WinSun dijo que las paredes que construyen son incluso más fuertes que los muros de hormigón normal. Los visitantes pueden visitar la villa de 1.100 m² en el Parque Industrial de Suzhou, provincia de Jiangsu. WinSun tardó una semana para imprimir y montar la villa, periodo mucho más corto que si se utilizan métodos de construcción tradicionales, con lo que se hubiera tardado de uno a tres meses.

La tecnología de impresión en 3D permite ahorrar entre el 30% y 60% de materiales de construcción y acortar el tiempo de producción entre 50% y 70%, disminuyendo los costos de mano de obra entre un 50% y un 80%, afirma WinSun. Hasta el momento, WinSun ha recibido pedidos de varios países, incluyendo Egipto. También está trabajando con Dubái para construir el primer edificio de oficinas del mundo construido gracias a la impresión 3D.



Figura 33. Impresión en 3D (Laconoscnzatiarendel, 2014)

2. 6. 2. Los robots constructores. Tienen la capacidad de realizar múltiples tareas en proyectos de AEC/FM, como: mover, modificar, fabricar, evaluar, etc.; así, por ejemplo Yunis (2015) presenta la siguiente reseña:

Los arquitectos pueden crear fantásticos diseños con relativa facilidad, que en los últimos años probablemente habría requerido el trabajo de innumerables maestros artesanos. Estudios de arquitectura, como Gramazio Kohler Architects son conocidos por su enfoque innovador en la fabricación digital, adaptando la tecnología de una variedad de disciplinas, para crear nuevas e impresionantes fachadas de ladrillo como para el Keller AG Ziegeleien.

Gramazio Kohler utiliza un innovador proceso de fabricación robótica llamada ROBmade, que utiliza un robot (figura 34) para posicionar y pegar los ladrillos juntos, así, el "brazo robótico recibe el input de un programa de modelado 3D para colocar cuidadosamente miles de ladrillos en un armónico patrón torcido y automatizar la mayor parte del proceso de construcción, el brazo puede

llevar a cabo complicadas funciones con enorme precisión, rotando los ladrillos en múltiples direcciones para crear espacio entre cada ladrillo y producir la curvatura y complejas formas.



Figura 34. Robots constructores (Yunis, 2015)

Adicionalmente, la construcción automatizada se destaca porque permite modificar el entorno y el rol que desempeñan los trabajadores, el papel de la robótica en la construcción será por un lado sustituir al operador humano en la realización de tareas peligrosas, y complementar el trabajo de este mediante la automatización de diferentes procesos, aportando capacidades aumentadas (más fuerza, más resistencia y más precisión) bajo el control y planificación del operario, de esta forma se consigue un trabajo seguro, y se mejora la productividad y la calidad de los procesos (UC3M, 2015).

3. Evaluación de Alternativas

La evaluación de las alternativas de modelado y visualización para la construcción permite definir el *software* que las empresas y profesionales de AEC/FM [arquitectura, ingeniería, construcción y administración de inmuebles] debe considerar para su implementación de manera exitosa. En esta parte de la investigación, se propone conocer y analizar la opinión de los usuarios mediante una encuesta, la interacción entre el usuario y el *software* de BIM [modelado de información en construcción] mediante ejercicios prácticos, las alternativas del *software* de BIM disponible en el mercado, y la selección del *software* de BIM más conveniente.

La encuesta que se presenta a continuación se realizó a comienzos del año 2015 y se publicó a finales del año 2015 en el noveno SIBRAGEC (Simposio Brasileiro de Gestão y Economía de la Construcción) y en el sexto ELAGEC (Encuentro Latinoamericano de Gestión y Economía de la Construcción) mediante el artículo "Estado de la práctica del BIM - Colombia 2015" presentado por el grupo de investigación GESCON de la Universidad EAFIT (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015). Es importante destacar que estudios similares sobre la práctica del BIM en Colombia se desconocen.

3. 1. Encuesta

La encuesta se realizó para conocer la opinión de los usuarios sobre las prácticas de modelado y visualización en Colombia. Consultó a 1.270 profesionales de AEC/FM de diferentes regiones, edades, profesiones, experiencias y empleos, seleccionados de la base de datos del grupo de investigación GESCON, del directorio de CAMACOL y de la red social de profesionales LinkedIn²⁸.

²⁸ LinkedIn es el servicio de red social más importante de profesionales en el internet.

Se utilizó un formulario electrónico²⁹ (Isaza, Formularios Google, 2015) para facilitar la respuesta de los encuestados y agilizar el proceso de análisis de la información. (Ver Anexo).

En total fueron recibidas 132 encuestas diligenciadas completamente (10,4% del total enviado). El cuestionario está conformado por dos partes. La primera indaga la información personal de los encuestados y la segunda recoge información sobre las prácticas de BIM utilizadas por los usuarios encuestados como las prácticas de representación, el conocimiento del software de BIM, la evaluación del software de BIM y la percepción del software de BIM, presentada como encuesta usuario. El cuestionario incluyó 23 preguntas, de las cuales se publicaron 20 resultados. Las respuestas fueron de selección única, de selección múltiple o de respuesta abierta, estas últimas permitieron obtener adicionalmente comentarios de los encuestados sobre el tema en estudio.

Es importante anotar que recibir 132 encuestas diligenciadas completamente es una cantidad importante y tal vez el mayor reto de la encuesta. Estudios similares internacionales registraron los siguientes datos: 582 encuestas diligenciadas en Estados Unidos (Mcgraw-hill construction, 2012); 400 encuestas diligenciadas en Australia, aunque en algunas preguntas sólo recibieron 180 respuestas (Allen consulting group, 2010); y 810 encuestas diligenciadas en Chile (Universidad de Chile, 2013).

3. 1. 1. Los Resultados. Se presentan de manera similar al formulario, que se divide en información personal y en las prácticas de BIM de los encuestados. Los resultados sobre la información personal de los encuestados se presentan en las figuras 35 y 36 que incluye los numerales del 1 al 4.

²⁹ https://docs.google.com/forms/d/1UGsL6wncoQBAwhSCFphFnMIJFqXw91FEXA3RV81GC_M/viewform

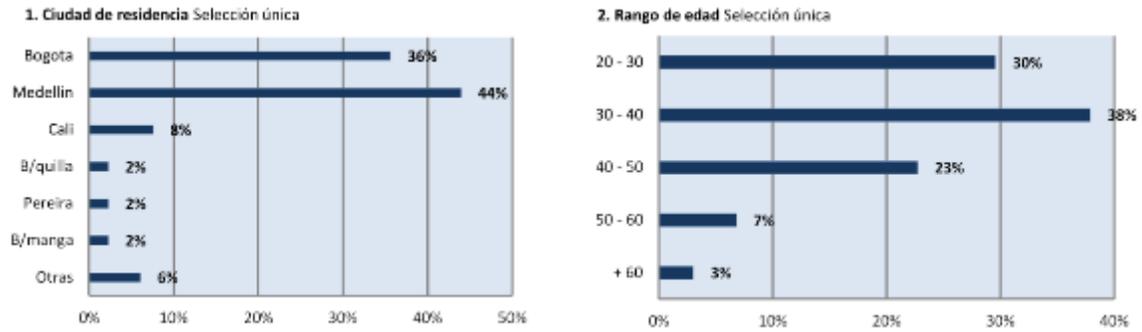


Figura 35. Información personal de los encuestados (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)

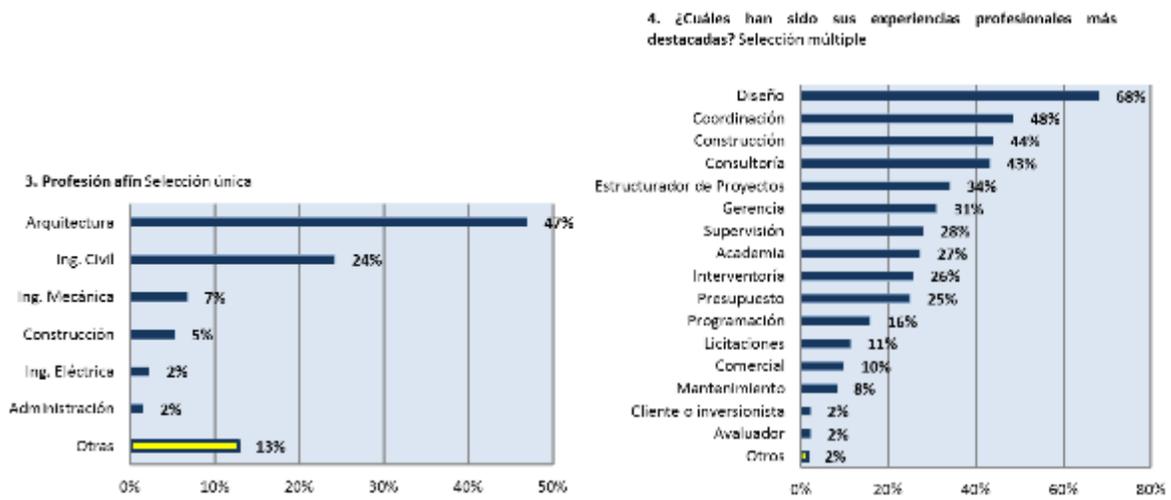


Figura 36. Información personal de los encuestados (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)

Los resultados sobre las prácticas de BIM de los encuestados se presentan a continuación en las siguientes imágenes. Las prácticas de representación en las figuras 37, 38 y 39 que incluyen los numerales de 5 al 10, el conocimiento del *software* de BIM en la figura 40 que incluye el numeral 11, la evaluación del *software* de BIM en las figuras 41, 42 y 43 que incluye los numerales del 12 al 16, y la percepción del *software* de BIM en la figura 44 que incluye los numerales del 17 al 19.



Figura 37. Prácticas de representación (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)

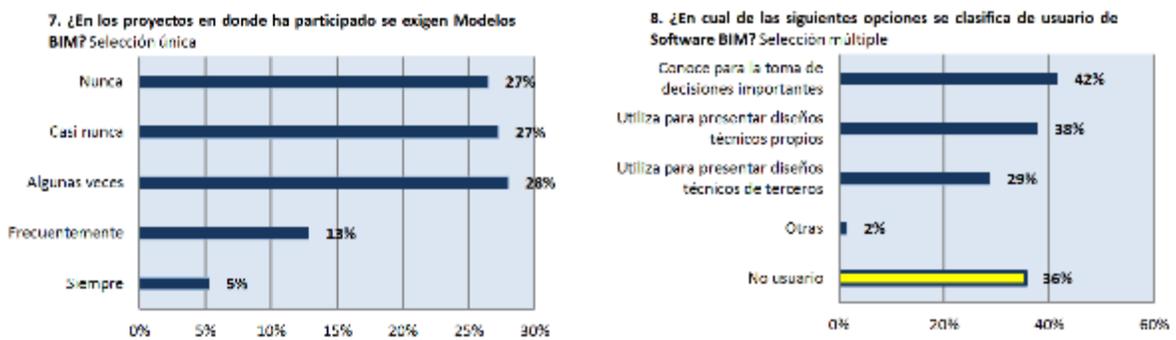


Figura 38. Prácticas de representación (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)

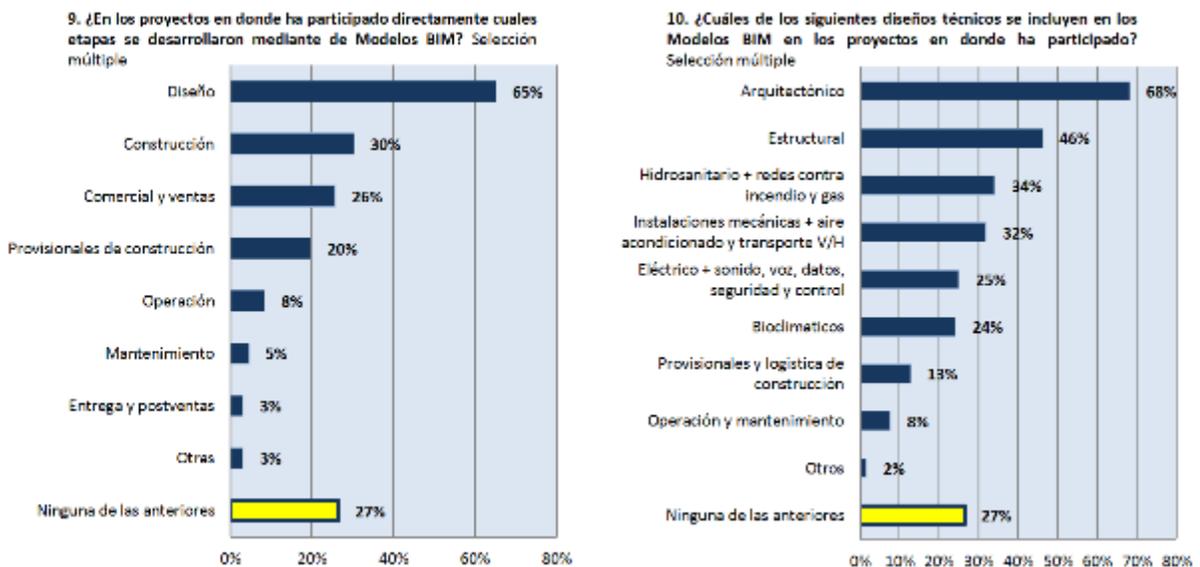


Figura 39. Prácticas de representación (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)

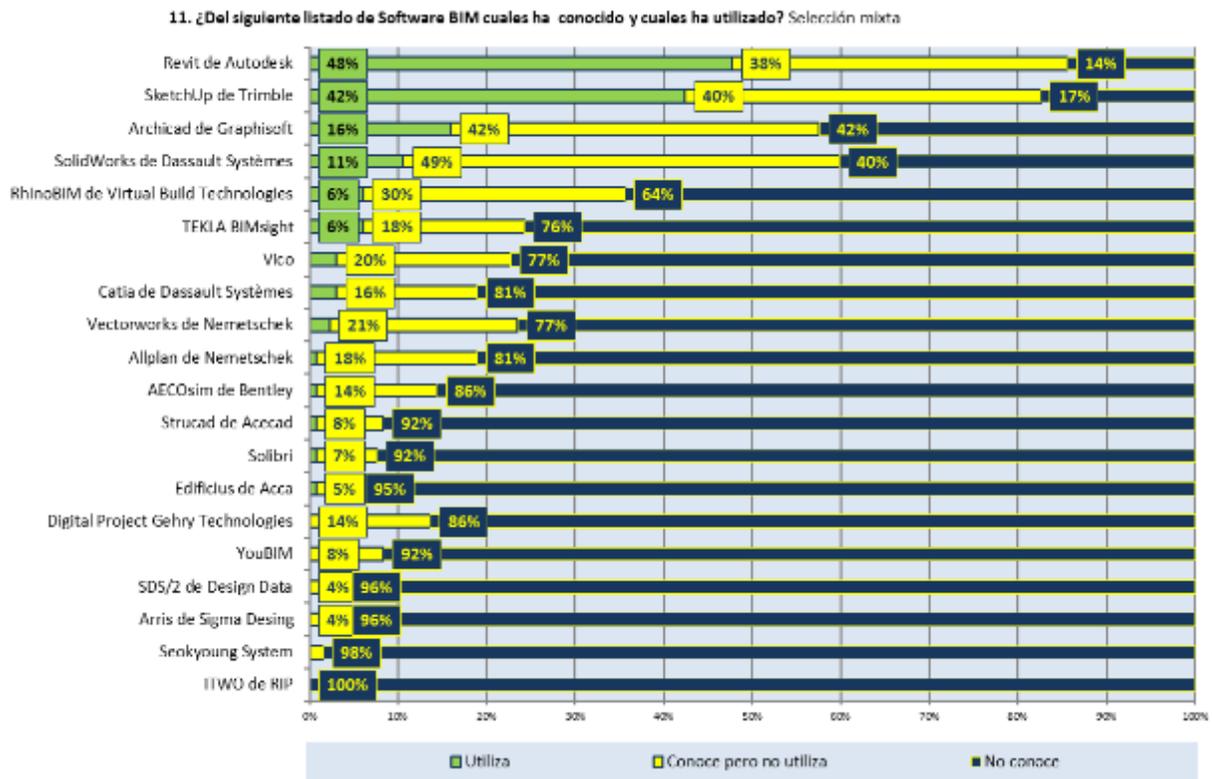


Figura 40. Conocimiento del software de BIM (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)

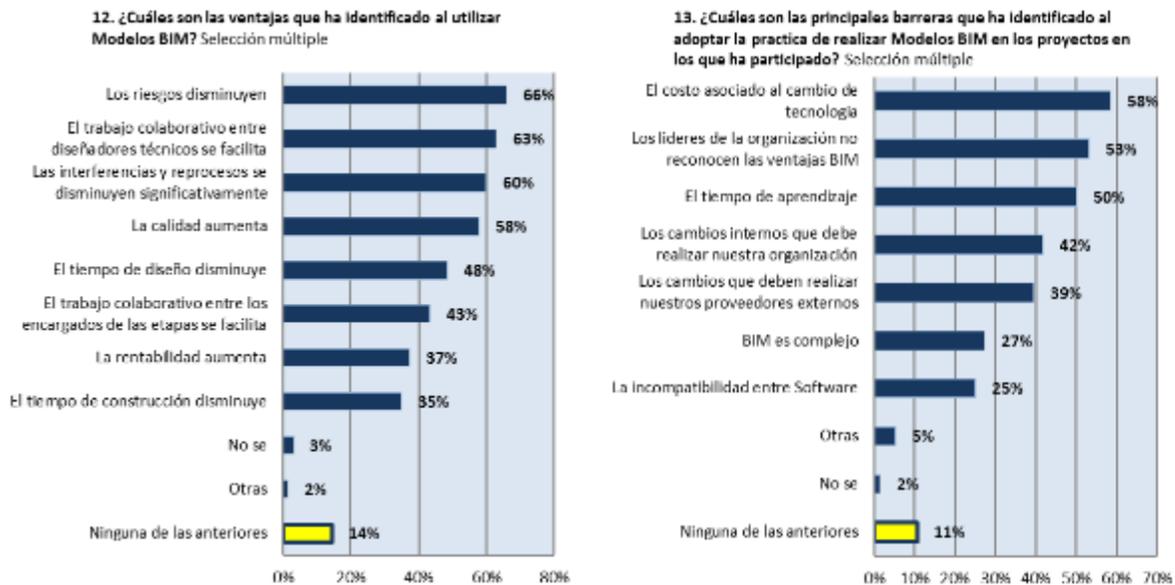


Figura 41. Evaluación del software de BIM (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)

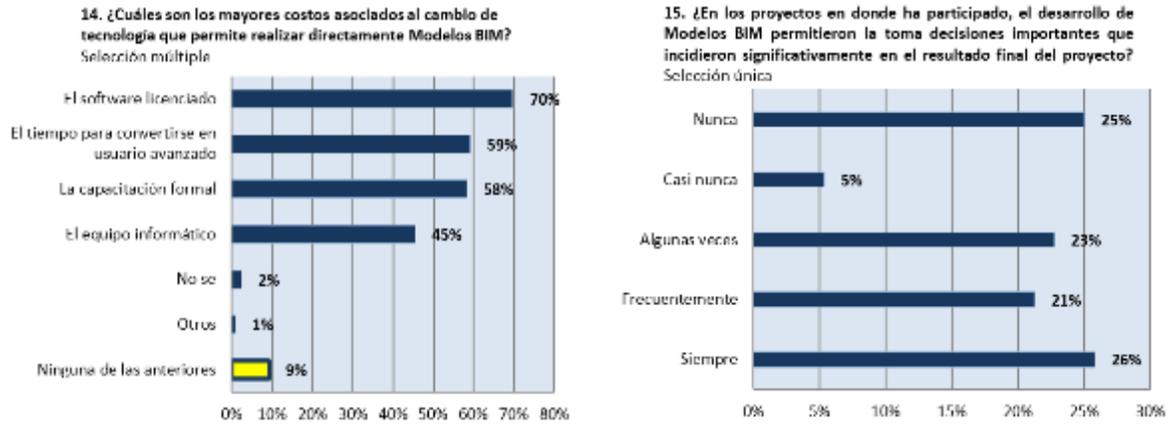


Figura 42. Evaluación del *software* de BIM (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)

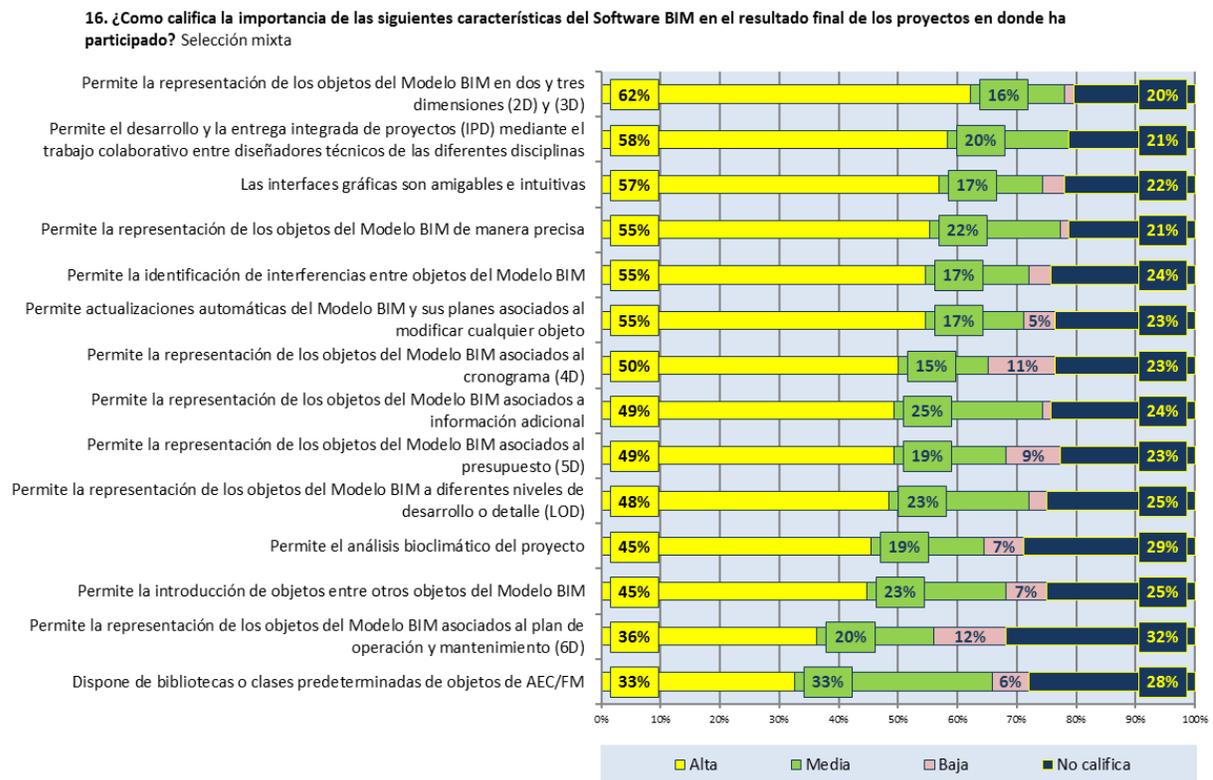


Figura 43. Evaluación del *software* de BIM (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)

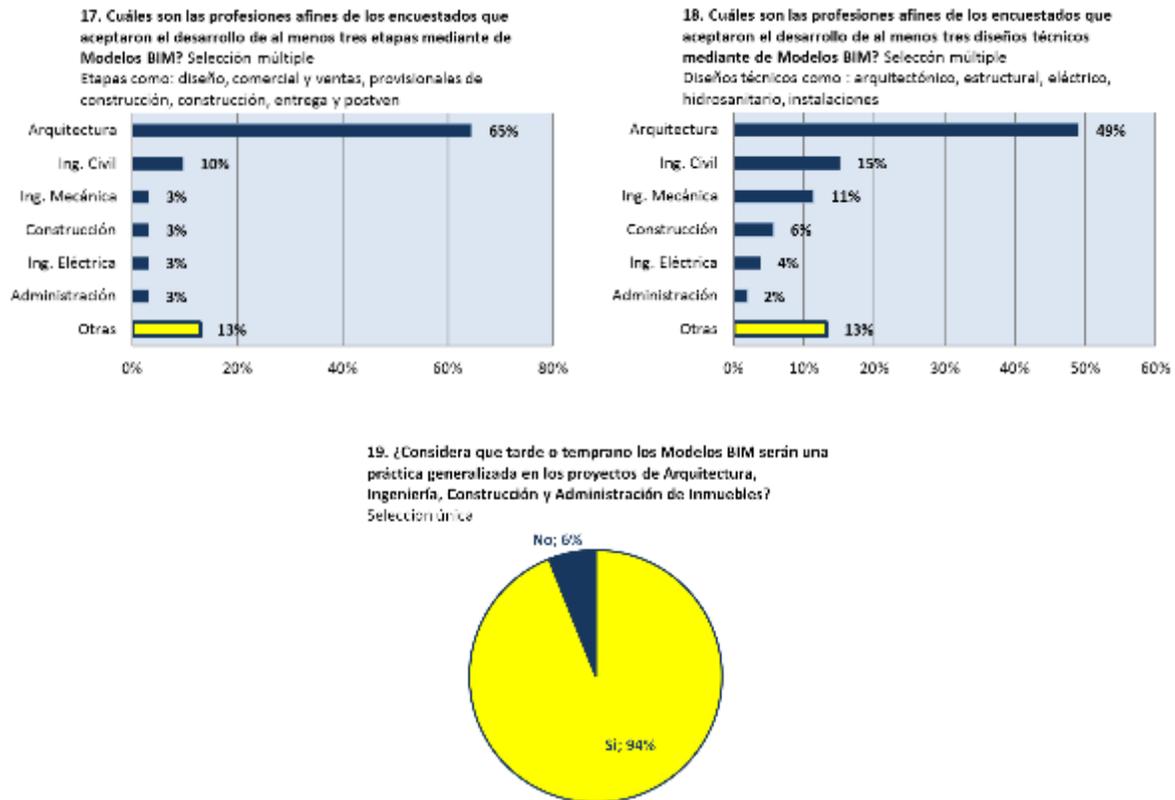


Figura 44. Percepción del *software* de BIM (Botero, Isaza, & Vasquez, 2015)

En el numeral 20 se destacan dos respuestas abiertas de las 47 recibidas, que indaga sobre la opinión adicional de los encuestados acerca del *software* de BIM, que permiten apreciar el contraste entre los beneficios conocidos por los profesionales y las dificultades de implementar el BIM en Colombia:

1. "En un tiempo muy cercano va a ser obligatoria la utilización de BIM. No hay duda que el BIM será el futuro".
2. "A las empresas se les dificulta migrar hacia estas nuevas tecnologías por los costos y el tiempo asociado a su implementación".

Adicionalmente, para realizar el análisis de la encuesta se consultaron estudios similares sobre la práctica internacional del BIM; a continuación los resultados encontrados más destacados:

1. En los Estados Unidos el 67% de los encuestados aceptaron la práctica del BIM en el 2014 (Post, 2014), precedido por el 71% en el 2012 y el 48% en el 2009 (Mcgraw-hill construction, 2012).
2. En el Reino Unido el 48% de los encuestados aceptaron la práctica del BIM en el 2014, precedido por el 54% en el 2013, el 39% en el 2012, el 31% en el 2011 y el 13% en el 2010 (National Building Specification, 2015).
3. En Australia entre el 75% y el 18% de los encuestados aceptaron la práctica "según su participación" del BIM en el 2010 (Allen consulting group, 2010).
4. En Chile el 23% y el 14% de los encuestados aceptaron la práctica "regular e inicial" del BIM en el 2013 (Universidad de Chile, 2013).

Por otro lado, diferentes estudios señalan que en Colombia el interés por el BIM es modesto si se compara con otros países. Específicamente un estudio bibliométrico internacional señala a los Estados Unidos con el 30% de la literatura sobre el BIM, Brasil con el 7%, Suecia con el 7%, Australia con el 6%, Países Bajos con el 5%, Finlandia con el 5% e Inglaterra (Reino Unido) con el 4%. Colombia a 2012 está por fuera del mapa de los primeros 30 países en literatura de BIM (Barros, Carneiro, & Lins, 2012), como se observa en la figura 45.

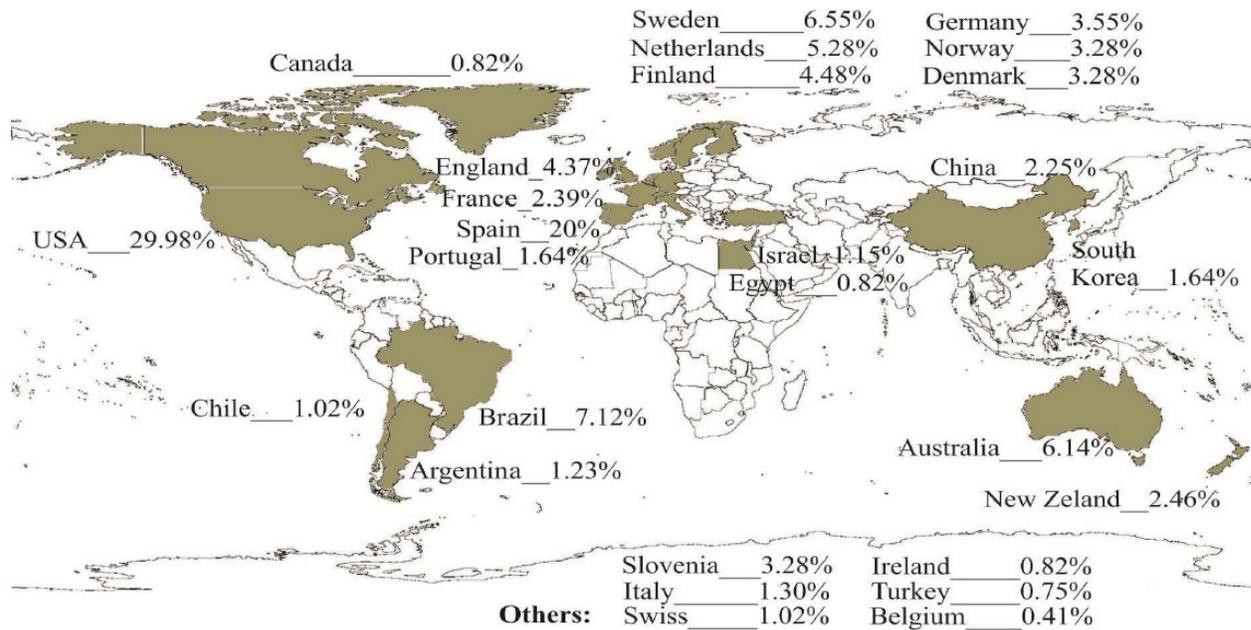


Figura 45. Mapa bibliográfico sobre el BIM, tomada de Barros, Carneiro & Lins (2012)

3. 1. 2. Análisis de la encuesta. Los resultados exponen que a pesar del gran uso del BIM en el mundo, Colombia se aproxima tímidamente a su adopción, como lo comprueban las respuestas de los encuestados. Sólo el 5% y el 13 % de los encuestados reconocen que siempre y frecuentemente se exigen modelos de BIM en los proyectos en donde han participado; al respecto, los encuestados indican que el costo asociado al cambio de tecnología (58%), la falta de reconocimiento de las ventajas del BIM (53%), el tiempo de aprendizaje (50%), etc., son las barreras más destacadas para la adopción del BIM; también señalan que el *software* licenciado (70%), el tiempo para convertirse en usuario avanzado (59%) y la capacitación formal (58%), son los costos asociados más destacados al cambio de tecnología.

Sin embargo el 94% de los encuestados manifestó que tarde o temprano los modelos de BIM serán una práctica generalizada en los proyectos de AEC/FM, aunque solamente el 13% y 5% los encuestados utilizan de manera frecuentemente o siempre modelos de BIM. Por otro lado, el 53% de los encuestados respondió que nunca, casi nunca y algunas veces el desarrollo de modelos permitió la toma de decisiones importantes que incidieron en el resultado final de los proyectos, esto prueba de cierta manera un gran desconocimiento de los profesionales colombianos de AEC/FM sobre el alcance y los beneficios de la tecnología BIM, explicados anteriormente y conocidos internacionalmente.

Finalmente para la evaluación de las alternativas de modelado y visualización es importante destacar los resultados de la encuesta sobre el *software* de BIM más utilizado (figura 40 de la página 91) Al respecto, se destaca que el 48% de los encuestados utiliza Revit de Autodesk y el 42% utiliza Sketchup de Trimble; otros programas sólo son utilizados por algunos entrevistados, por ejemplo el 16% utiliza Archicad de Nemetschek, el 11% Solidworks de Dassault Systèmes y el 6% Rhino de Robert McNeel & Associates, incluso otros programas destacados internacionalmente son utilizados por menos del 2% de los entrevistados, por ejemplo Vectorworks de Nemetschek, Allplan de Nemetschek, AECOSim de Bentley Systems, Edificius de Acca y Digital Project de Gehry Technologies.

Lo anterior es muy importante para la evaluación de las alternativas de modelado y visualización, porque el trabajo colaborativo de BIM exige considerar un *software* de modelado 3D que permita a los participantes de los proyectos de AEC/FM compartir información fácilmente, así, entre más usuarios utilicen un determinado *software*, existen mayores posibilidades de realizar prácticas colaborativas entre empresas y profesionales.

Adicionalmente es también importante destacar los resultados de la encuesta sobre la calificación de las características del *software* de BIM (figura 43 de la página 92) Al respecto, se destaca que el 62% de los encuestados calificaron de alta importancia la característica que permite la representación de los objetos en 2D y 3D, y el 58% que calificaron de alta importancia la característica que permite el trabajo colaborativo entre diseñadores técnicos de las diferentes disciplinas.

En general, más encuestados calificaron las características tradicionales relacionadas con los modelos de 3D y el trabajo colaborativo como de alta importancia, y menos encuestados calificaron las características innovadoras relacionadas con los modelos de 4D, 5D, 6D y 7D como de alta importancia. Sin embargo todas las características del *software* de BIM son consideradas como de alta importancia; excepto por la característica que permite disponer de bibliotecas y clases predefinidas de objetos de AEC/FM, o de objetos paramétricos, una de las características esenciales del BIM.

Por otro lado, se realizó un ejercicio práctico que se presenta a continuación durante seis meses a mediados del año 2014 modelando, un proyecto de AEC/FM consistente en un restaurante de dos niveles, en parte por su tamaño y complejidad, y por la existencia de suficiente información geométrica y no geométrica (especificaciones) del proyecto.

3. 2. Ejercicios Prácticos

Los ejercicios prácticos se realizaron para conocer la interacción entre el usuario final y algunas alternativas *freemium* de modelado y visualización disponibles en el mercado; este ejercicio se realizó en las siguientes fases: selección del proyecto, descarga e instalación del *software*, ejecución del *software* y desarrollo de los modelos. Es importante destacar que no fue necesaria ninguna

capacitación formal, solo con los videos tutoriales se realizaron los modelos que se presentan a continuación.

3. 2. 1. Los modelos. Se desarrollaron mediante los programas Archicad de Nemetschek (figuras 46 y 47), Allplan de Nemetschek (figuras 48 y 49) y Edificius de Acca de Software (figuras 50 y 51), seleccionados en parte por ser programas destacados internacionalmente pero que en Colombia son utilizados por muy pocos profesionales, según la encuesta sobre el "Estado de la práctica del BIM - Colombia 2015".

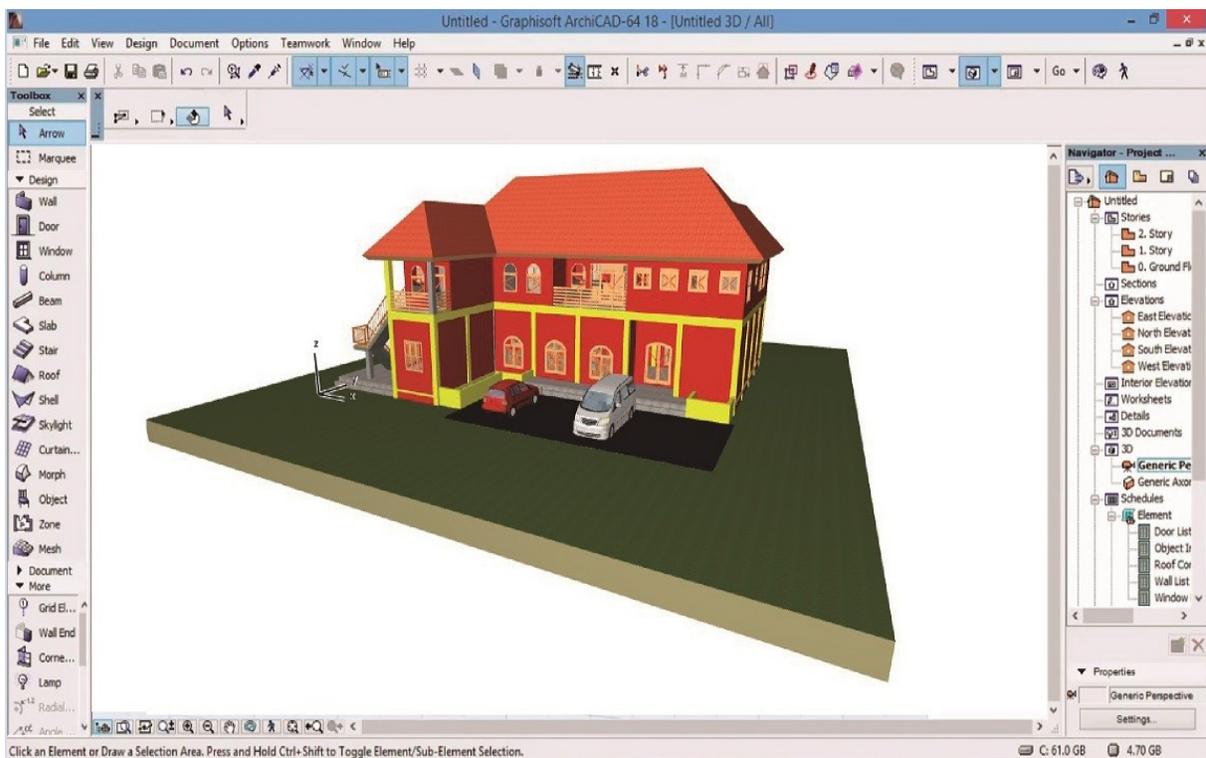


Figura 46. Modelo realizado en el *software* Archicad de Nemetschek por Isaza & Ignacia (2014)

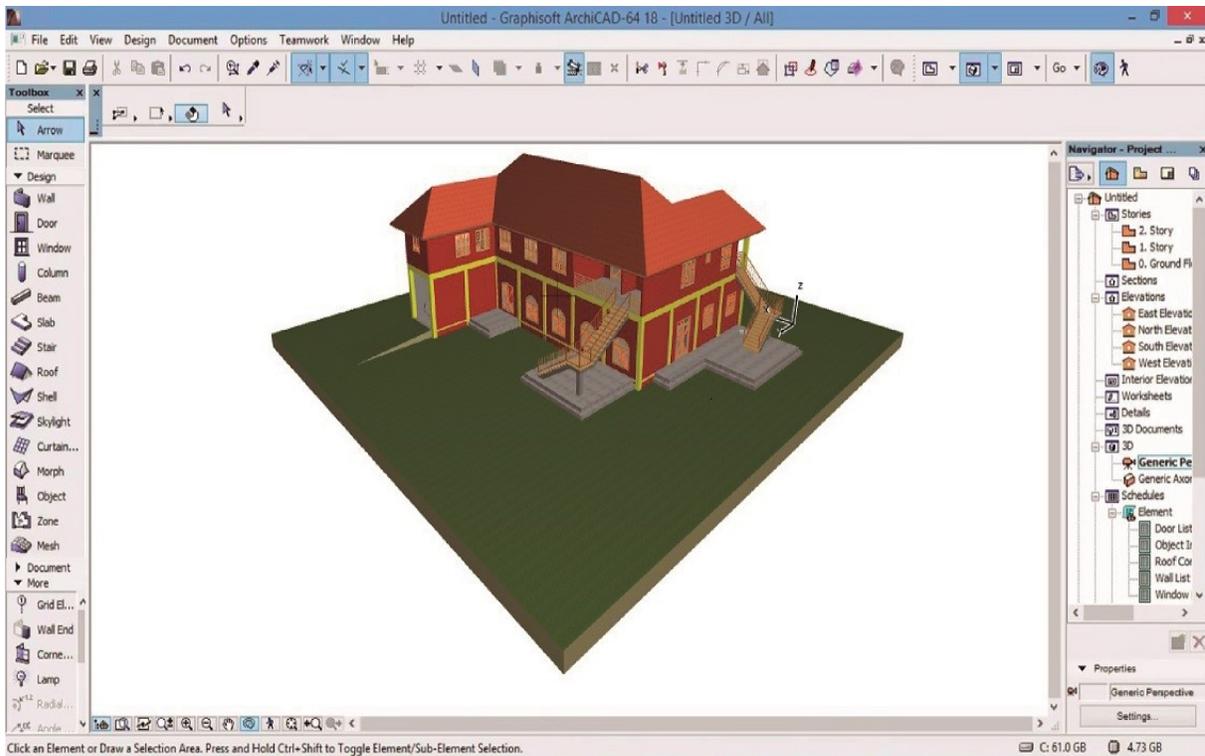


Figura 47. Modelo realizado en el *software* Archicad de Nemetschek por Isaza & Ignacia (2014)

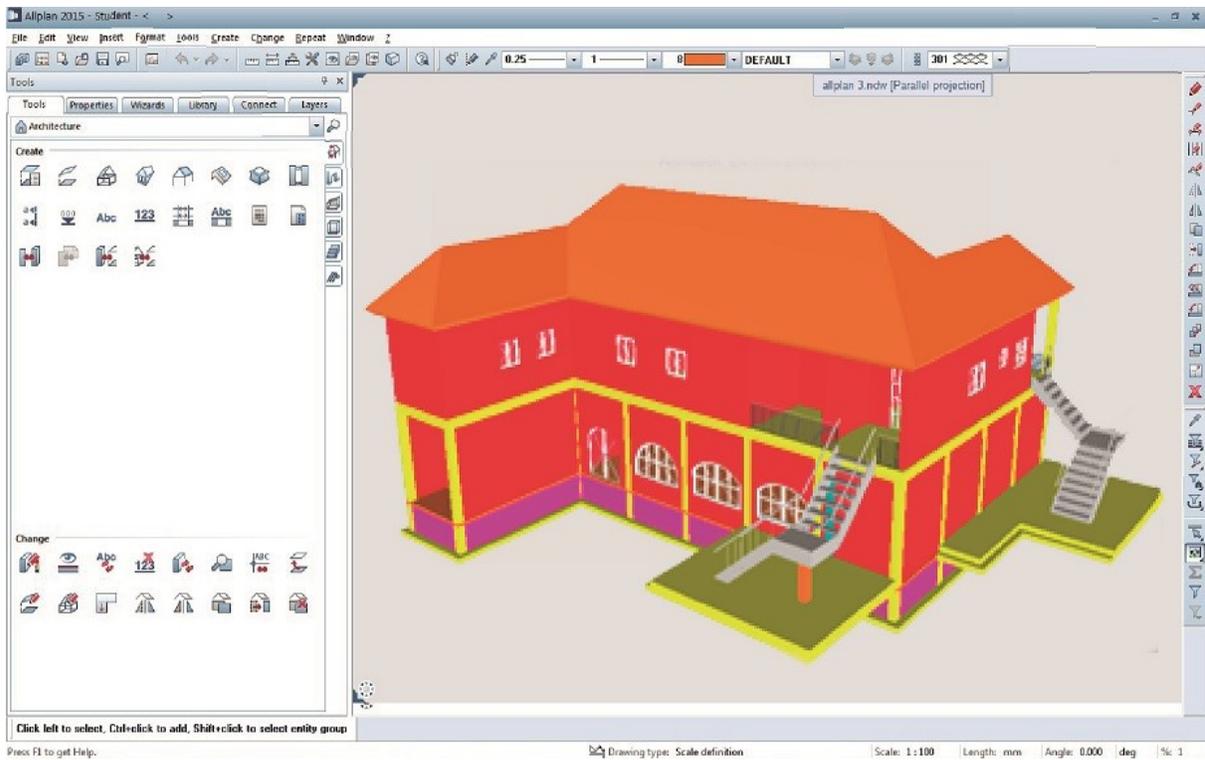


Figura 48. Modelo realizado en el *software* Allplan de Nemetschek por Isaza & Ignacia (2014)

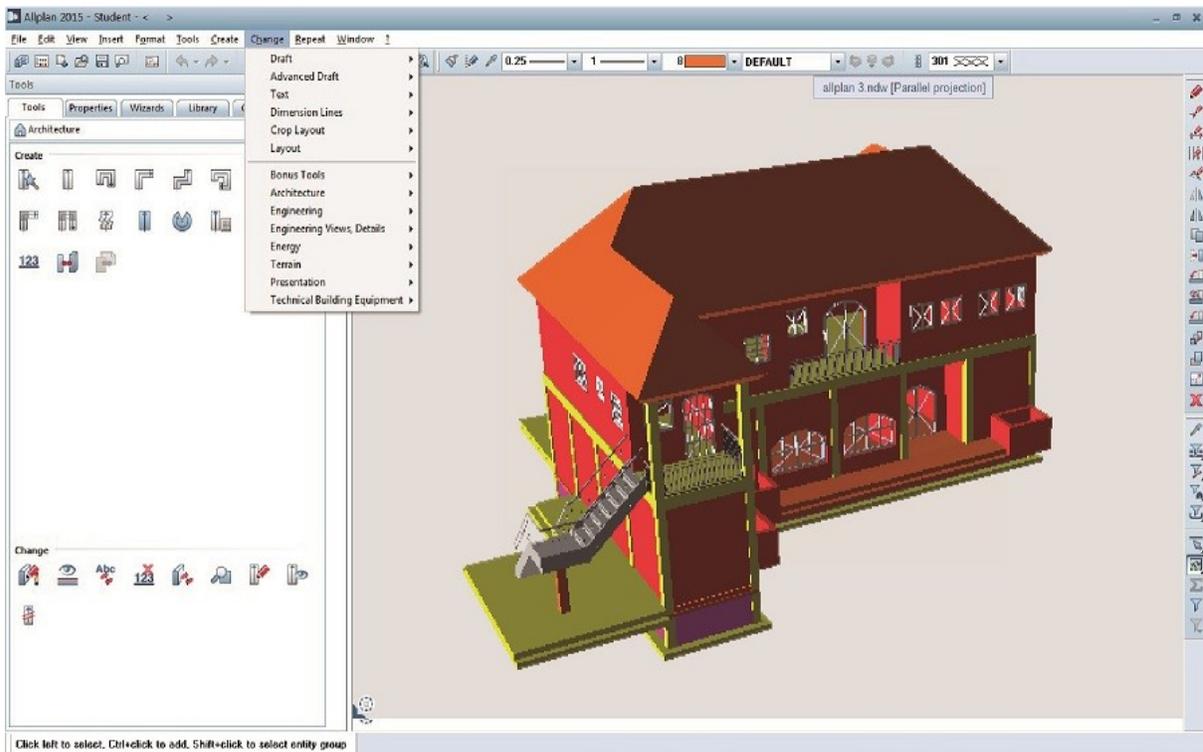


Figura 49. Modelo realizado en el *software* Allplan de Nemetschek por Isaza & Ignacia (2014)

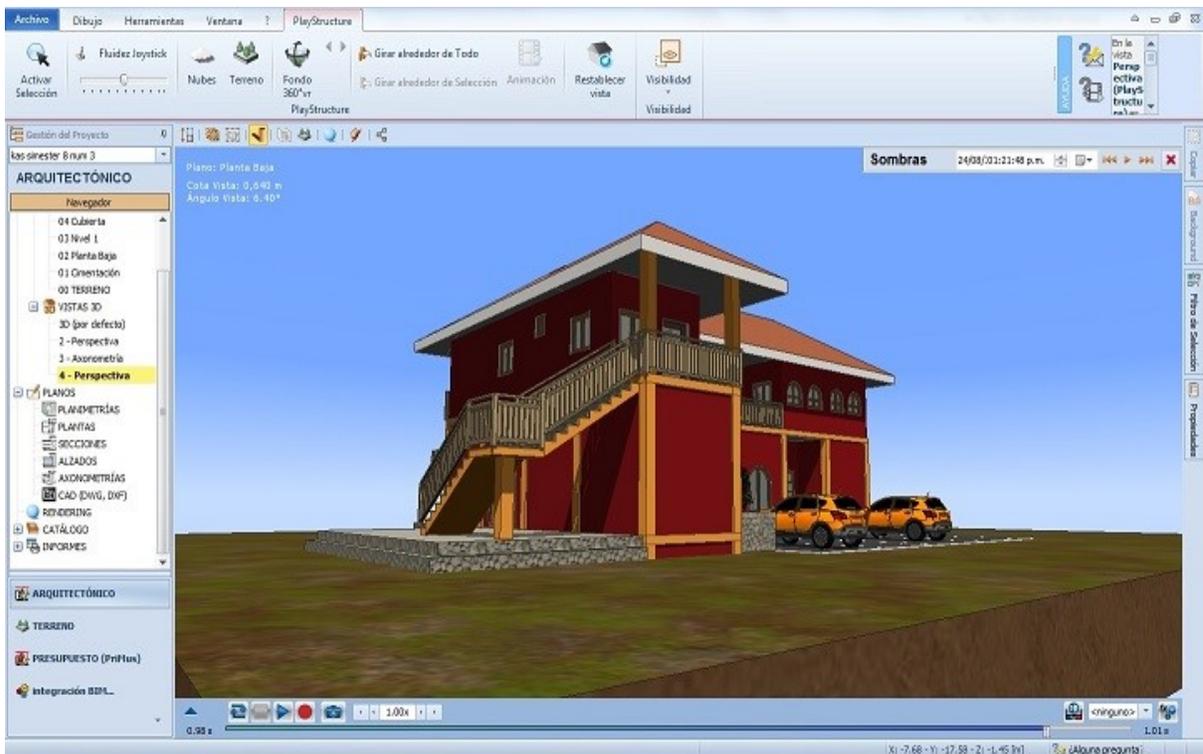


Figura 50. Modelo realizado en el *software* Edificius de Acca de Software por Isaza & Ignacia (2014)

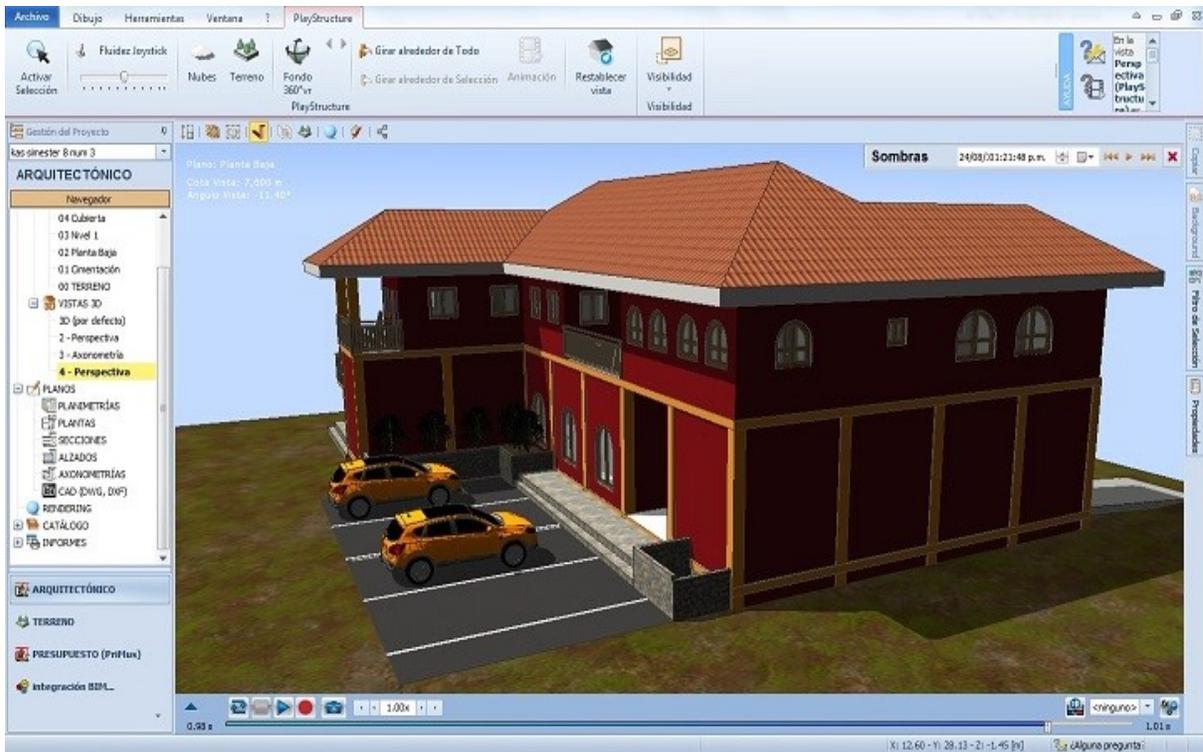


Figura 51. Modelo realizado en el *software* Edificius de Acca de Software por Isaza & Ignacia (2014)

3. 2. 2. Análisis del ejercicio. Los modelos de 3D realizados permitieron conocer la interacción entre el usuario final y algunas alternativas *freemium* de modelado y visualización disponibles en el mercado. Al respecto, se destacan las siguientes opiniones del personal modelador del grupo de investigación GESCON de la Universidad EAFIT sobre la experiencia con el *software* de BIM en las fases de selección del proyecto, de descarga e instalación del *software*, de ejecución del *software* y del desarrollo de los modelos.

1. La selección del restaurante como ejercicio práctico fue muy oportuna, su tamaño y complejidad permitieron utilizar la mayoría de familias de objetos paramétricos, como estructuras, muros, puertas, ventanas, techos, etc.
2. La experiencia de búsqueda, descarga e instalación de los programas fue relativamente fácil, la única demora fue demostrar la condición de estudiantes de la Universidad EAFIT.

3. El software Edificios de Acca ofrece siempre la versión *freemium* desde la nube, el único pago que se realiza es al imprimir planos, incluso después de un año este *software* se mantiene disponible para ser ejecutado.
4. La disponibilidad de tutoriales y videos en internet facilita bastante la ejecución de los programas y la producción de los modelos.
5. Las alternativas *freemium* de modelado y visualización cuentan con objetos paramétricos básicos de arquitectura e ingeniería, y excluyen todos los objetos paramétricos de las instalaciones, los cuales están en las versiones que exigen algún pago por su ejecución.
6. La mayor dificultad para realizar los modelos de 3D fue iniciar los segundos niveles. Cada fabricante tiene su manera especial de realizar este proceso; sin embargo, después de varios días de práctica se entiende la lógica de cada *software*.
7. Después de varias semanas fácilmente se pasa de desconocer los programas seleccionados a tener habilidades importantes en la ejecución del programa y en la producción de modelos.
8. Los diseños del restaurante estaban de alguna manera incompletos; realizar los modelos de 3D exigió terminar, completar y resolver finalmente los diseños.
9. Los modelos de 3D ayudaron a comprender mucho mejor el diseño y la construcción del proyecto. Para los profesionales de AEC/FM es una herramienta importante de información y comunicación.
10. La tecnología BIM tiene muchos beneficios, en especial en las fases de diseño y construcción, siempre los proyectos de AEC/FM se deberían realizar mediante esta tecnología.

Aunque faltaron ejercicios con modelos de 4D, 5D, 6D, 7D y 8D, y con tecnología colaborativa, al terminar el ejercicio práctico se destacó que los programas de BIM ofrecen un entorno amigable

e intuitivo que permiten pasar, de desconocer el manejo de los programas a tener habilidades importantes en la ejecución de los programas y en la producción de modelos, en días y en máximo semanas.

Finalmente para la evaluación de las alternativas de modelado y visualización es importante destacar la facilidad que tienen los usuarios para aprender a ejecutar los programas de BIM, incluso sin capacitación formal; solo es cuestión de tiempo y dedicación, como explica Séneca con su frase de "no nos atrevemos a muchas cosas porque son difíciles, pero son difíciles porque no nos atrevemos a hacerlas".

3. 3. Alternativas

Las alternativas comerciales de modelado y visualización para la construcción, son los productos que ofrecen los fabricantes de *software* y que facilitan la toma de decisiones en procesos tradicionalmente críticos de los proyectos de AEC/FM, estas alternativas se ordenan considerando el marco conceptual que definió los modelos de 3D para la geometría de los objetos, de 4D para el tiempo, de 5D para el costo, de 6D para la operación, de 7D para la sostenibilidad y de 8D para la seguridad, adicionalmente definió los modelos estructurales y acústicos, y la tecnología colaborativa, como los modelos y conceptos más destacados a tener en cuenta en el BIM.

Es importante dejar claro que la presente investigación acepta como ciertas las características operacionales que ofrecen los fabricantes de *software* BIM, en parte porque probar las características operacionales de todos los programas consultados está por fuera del alcance de la investigación, esto exigiría el pago de decenas de licencias de usuario final, el conocimiento y experiencia de profesionales especializados, la conformación de un grupo interdisciplinario de profesionales, y especialmente varios años de implementación, teniendo en cuenta que los usuarios necesitan en

promedio dos meses para aprender a ejecutar un *software* BIM, como se concluye de los ejercicios prácticos presentados anteriormente.

Así, los fabricantes de *software* de BIM a considerar son Autodesk, Bentley Systems, Nemetschek Group y Trimble. Otros fabricantes como Beck Technology, Bricsys, Design Builder Software, Gehry Technologies, Imsi/Design, Robert McNeel & Associates y Zwcad Software son prácticamente desconocidos en Colombia, según la encuesta sobre el "Estado de la práctica del BIM - Colombia 2015" y-o solamente permiten escasos modelos y conceptos de BIM.

Por otro lado, fabricantes como Aveva Group, Cadmatic e Intergraph, etc., se dedican al *software* de modelado para la industria, especialmente ofrecen soluciones al sector petroquímico; y Dassault Systèmes, Parametric Technology Corporation (PTC), Siemens, etc., se dedican al modelado sólido, especialmente ofrecen soluciones a los sectores aeroespacial, automotriz e industrial. Autodesk también ofrece Inventor como *software* para modelado sólido.

La consolidación de Autodesk, Bentley Systems, Nemetschek Group y Trimble como fabricantes de *software* de BIM, es producto de estrategias empresariales y de acuerdos comerciales entre fabricantes; a continuación se presentan los acuerdos más destacados:

1. Autodesk adquirió los derechos de autor sobre Revit en el año 2002 a Revit Technology Corporation.
2. Bentley Systems desarrolló el *software* de BIM internamente como continuidad del *software* CAD Microstation.
3. Nemetschek Group adquirió los derechos de autor sobre Vectorworks en el año 2000 a Vectorworks y sobre Archicad en el año 2007 a Graphisoft (Nemetschek, 2015).
4. Trimble adquirió los derechos de autor sobre Tekla Structures en el año 2011 a Tekla Corporation, sobre Sketchup en el año 2012 a Google, sobre Vico Office en el año 2012 a Vico Software

(Ushakov, 2012), y sobre Digital Project Designer en el año 2014 a Gehry Technologies (Trimble, 2014).

Es importante destacar la estrategia de Trimble de combinar los mejores productos y hacerlos interoperables sin problemas mediante la creación de una plataforma BIM en torno a estos productos; así, presentó en la figura 52 su recorrido realizado entre los años 2006 y 2012 desarrollada a partir de la adquisición de derechos de autor, y que en el año 2014 incluyó la adquisición de Gehry Technologies, con un destacado *software* para producir modelos de 3D y 4D, y facilitar el trabajo colaborativo.

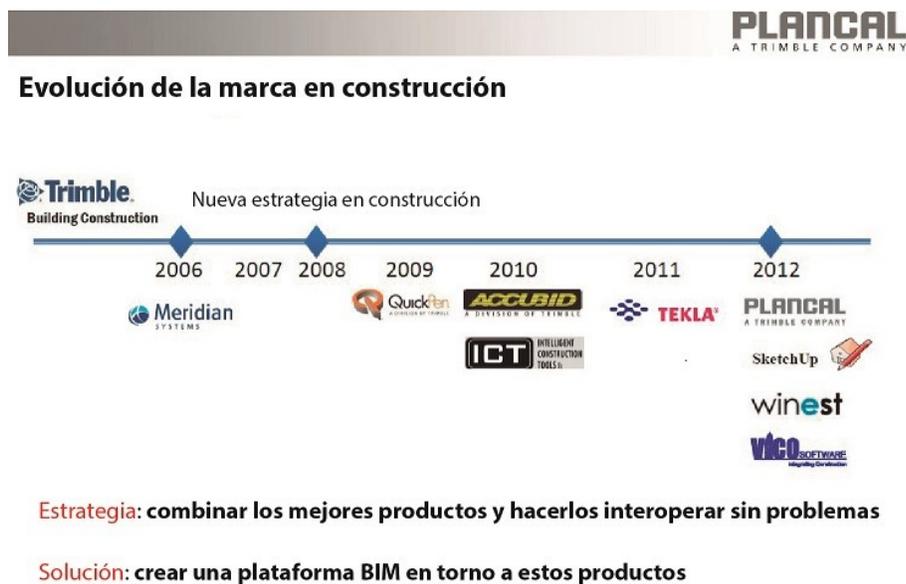


Figura 52. Estrategia de Trimble en BIM, Adaptada de Mossack (2013)

Considerando lo anterior, a continuación se ordenan y resumen las principales alternativas comerciales de modelado y visualización para la construcción, en las *suites* de Autodesk, Bentley Systems, Nemetschek Group y Trimble, adicionalmente se señalan los programas interoperables de cada *suite*.

3. 3. 1. Autodesk. Es fundada por John Walker y otros en 1992, su sede principal se localiza en el estado California de los Estados Unidos, su suite de BIM se presenta en la siguiente tabla 4. El *software* Autocad líder en CAD [diseño asistido por computador] es también de su propiedad.

Tabla 4. Suite de BIM de Autodesk

MODELOS		SOFTWARE	
Modelado solido	3D	Revit	
Objetos AS paramétricos	3D	Revit	
Objetos MEP paramétricos	3D	Revit MEP	☞ MagiCAD
Detección de conflictos	3D	Navisworks ☞ Vico Constructability	☞ Solibri Model Checker ☞ RIB-ITWO [RIB]
Modelizado	3D	3ds max ☞ Lumium ☞ Vray	☞ Artlantis ☞ Twinmotion ☞ Thea Render
Tiempo	4D	Navisworks ☞ Vico LBS Manager	☞ Innovaya ☞ RIB-ITWO [RIB]
Presupuestos	5D	☞ Vico Cost Planner ☞ Costx ☞ Innovaya ☞ Cost-it	☞ Cype ☞ TBQ [Glodon] ☞ RIB-ITWO [RIB]
Operación	6D	☞ Fmsystems	
Sostenibilidad	7D	Green building studio	☞ IES
Seguridad	8D		
Estructural		Robot ☞ Tekla Structures ☞ Midas Gen ☞ RFEM - RSTAB[Dlubal] ☞ SDS/2 [Desing data] ☞ SAP2000 ☞ ETABS	☞ Cype ☞ Graitec ☞ Axisvm ☞ Tricalc ☞ Structural Engineering [RIB] ☞ FEM-Design
Acústico		☞ EASE	☞ Odeón
Tecnología colaborativa	PLM	A360 Buzzsaw PLM 360	Vault
☞ Total software interoperable		35	

Fuente: Elaboración personal

3. 3. 2. Bentley Systems. Es fundada por Keith Bentley & Barry Bentley en 1984, su sede principal se localiza en el estado de Pensilvania de los Estados Unidos, su suite de BIM se presenta en la siguiente tabla 5.

Tabla 5. Suite de BIM de Bentley Systems

MODELOS		SOFTWARE	
Modelado solido	3D	AECOSim Building Designer	
Objetos AS paramétricos	3D	AECOSim Building Designer	
Objetos MEP paramétricos	3D	AECOSim Building Designer	
Detección de conflictos	3D	AECOSim Building Designer	
Modelizado	3D	Microstation Twinmotion	Lumium
Tiempo	4D	Constructsim	
Presupuestos	5D	Costx	
Operación	6D	Facility information management Assetwise	
Sostenibilidad	7D	AECOSim Energy Simulator	Hevacomp
Seguridad	8D		
Estructural		RAM STAAD Prosteel	RFEM [Dlupal] RSTAB [Dlupal]
Acústico		Odeón	
Tecnología colaborativa	PLM	Projectwise	
Total software interoperable		6	

Fuente: Elaboración personal

3. 3. 3. Nemetschek Group. Es fundada por Georg Nemetschek en 1963, su sede principal se localiza en la ciudad Alemana de Múnich, su suite de BIM se presenta en la siguiente tabla 6.

Tabla 6. *Suite* de BIM de Nemetschek Group

MODELOS		SOFTWARE	
Modelado solido	3D	Allplan Archicad *	Vectorworks
Objetos AS paramétricos	3D	Allplan Archicad	Vectorworks
Objetos MEP paramétricos	3D	Data design system	
Detección de conflictos	3D	Scia engineer Vico Constructability*	Solibri Model Checker *
Modelizado	3D	Cinema 4D Bodypaint 3D Lumium Vray	Artlantis Twinmotion Thea Render
Tiempo	4D	Vico LBS Manager *	
Presupuestos	5D	Design2cost Vico Cost Planner *	Costx * Cype
Operación	6D		
Sostenibilidad	7D	Ecodesigner star	IES *
Seguridad	8D		
Estructural		Frilo Scia engineer	Axisvm Cype
Acústico			
Tecnología colaborativa	PLM	BIMcloud	
Total software interoperable		14	

Fuente: Elaboración personal

3.3.4. Trimble. Es fundada por Charlie Trimble y otros en 1978, su sede principal se localiza en el estado de California de los Estados Unidos, su suite de BIM se presenta en la siguiente tabla 7. Es importante destacar que Trimble es líder en tecnologías innovadoras relacionadas con la topografía, la navegación en automóviles, el guiado de maquinaria, el seguimiento de elementos, las plataformas inalámbricas y la infraestructura de telecomunicaciones.

Tabla 7. Suite de BIM de Trimble

MODELOS		SOFTWARE	
Modelado solido	3D	DP Designer *	Sketchup pro
Objetos AS paramétricos	3D	DP Designer *	
Objetos MEP paramétricos	3D	DP Extensions * Trimble MEP designer	Planca nova 3skeng
Detección de conflictos	3D	Vico Constructability	
Modelizado	3D	 Lumium  Vray  Artlantis  Twinmotion	 Thea Render  Kerkythea  Twilight Render  Renderin
Tiempo	4D	Vico LBS Manager DP Manager	
Presupuestos	5D	Vico Cost Planner	 Costx
Operación	6D	Manhattan Proliance	CenterStone CAFM Atrium EAM
Sostenibilidad	7D	 IES	
Seguridad	8D		
Estructural		Tekla Structures  Axisvm  FEM-Design	 Midas gen  SAP2000  ETABS
Acústico		 EASE	 Odeón
Tecnología colaborativa	PLM	Tekla BIMsight	Trimble Connect
 Total software interoperable		17	

Fuente: Elaboración personal

Adicionalmente, en las tablas 8 y 9 se ordenan y resumen los programas interoperables más destacados de las cuatro suites de BIM presentadas anteriormente, señalando el modelo al que aplican, el *software* huésped, la *suite* anfitriona, el fabricante del *software*, la *web* en donde se encuentra más información y su certificación *OpenBIM*.

Tabla 8. *Software* interoperable de BIM

MODELO	HUESPED	ANFITRION	FABRICANTE	WEB	OPENBIM
Objetos MEP paramétricos	3D MagiCAD	Autodesk	Progman Oy	magicad.com	No
Objetos MEP paramétricos	3D 3skeng	Trimble	SHK Engineering and Consulting	3skeng.com	No
Detección de conflictos	3D Vico Constructability	Autodesk Nemetschek Group (archicad) Trimble	Trimbre	trimble.com	No
Detección de conflictos	3D RIB-iTWO	Autodesk	RIB	rib-software.com	Si
Detección de conflictos	3D Solibri Model Checker	Autodesk Nemetschek Group (archicad)	Solibri	solibri.com	Si
Modelizado	3D Artlantis	Autodesk Nemetschek Group (archicad) Trimble	Abvent	abvent.com	No
Modelizado	3D Kerkythea	Trimble	Solid Iris Tecnologías	kerkythea.net	No
Modelizado	3D Renderin	Trimble	Abvent	abvent.com	No
Modelizado	3D Thea Render	Autodesk Nemetschek Group (archicad) Trimble	Solid Iris Tecnologías	solidiris.com	No
Modelizado	3D Twinmotion	Autodesk Bentley Systems Nemetschek Group (archicad) Trimble	Abvent	abvent.com	No
Modelizado	3D Twilight Render	Trimble	Twilight Render	twilightrender.com	No
Modelizado	3D Vray	Autodesk Trimble	Chaosgroup	vray.com	No
Modelizado	3D Lumium	Autodesk Bentley Systems Nemetschek Group (archicad) Trimble	Lumium	lumium.com	No
Tiempo	4D RIB-iTWO	Autodesk	RIB	rib-software.com	Si
Tiempo	4D Innovaya	Autodesk	Innovaya	innovaya.com	No
Tiempo	4D Vico LBS Manager	Autodesk Nemetschek Group (archicad)	Trimbre	trimble.com	No
Tiempo	5D Vico Cost Planner	Autodesk Nemetschek Group (archicad)	Trimbre	trimble.com	No

Fuente: Elaboración personal

Tabla 9. *Software* interoperable de BIM

MODELO	SOFTWARE	ANFITRION	FABRICANTE	WEB	OPENBIM
Presupuestos	5D Costx	Autodesk	Exactal	exactal.com	No
		Bentley Systems			
		Nemetschek Group (archicad)			
		Trimble			
Presupuestos	5D Innovaya	Autodesk	Innovaya	innovaya.com	No
Presupuestos	5D Cost-It	Autodesk	Presto	presto.es	No
Presupuestos	5D Cype	Autodesk Nemetschek Group	Cype	cype.com	No
Presupuestos	5D RIB-iTWO	Autodesk	RIB	rib-software.com	Si
Presupuestos	5D TBQ	Autodesk	Glodon	glodon.com	Si
Operación	6D Fmsystems	Autodesk	FM Systems	fmsystems.com	No
Sostenibilidad	7D IES	Autodesk	IES Limited	iesve.com	No
		Nemetschek Group Trimble			
Estructural	Tekla Structures	Autodesk	Trimble	trimble.com	Si
Estructural	Midas gen	Autodesk Trimble	MIDASoft	midasuser.com	No
Estructural	RFEM - RSTAB	Autodesk Bentley Systems Trimble	Dlubal	dlubal.com	Si
Estructural	SDS/2	Autodesk	Dezing data	sds2.com	Si
Estructural	Cype	Autodesk Nemetschek Group	Cype	cype.com	No
Estructural	Grsitec	Autodesk	Grsitec	Grsitec.com	No
Estructural	Axisvm	Autodesk Trimble	InterCAD	axisvm.eu	No
Estructural	Tricalc	Autodesk	Arktec	arktec.com	No
Estructural	Structural Engineering	Autodesk	RIB	rib-software.com	Si
Estructural	SAP2000	Trimble	CSI	csiamerica.com	No
		Autodesk			
Estructural	ETABS	Trimble	CSI	csiamerica.com	No
		Autodesk			
Estructural	FEM-Design	Trimble	CSI	csiamerica.com	No
		Autodesk			
Acústico	EASE	Autodesk Trimble	AFMG Technologies	ease.afmg.eu	No
Acústico	Odeón	Autodesk	Odeón	odeon.dk	No
		Bentley Systems Trimble			

Fuente: Elaboración personal

Por otro lado, existen otros programas que permiten implementar las prácticas utilizadas en la administración de inmuebles [*facilities management*] conocidos como CMMS [gestión de mantenimiento asistido por computador] y CAFM [gestión de infraestructura asistida por computador]. En la tabla 10 se presentan las alternativas que facilitan la administración de inmuebles mediante *software* colaborativo.

Tabla 10. *Software* colaborativo de administración de inmuebles

SOFTWARE	FABRICANTE	WEB	ÉNFASIS		
			BIM	NUBE	ESPAÑOL
Accruent	accruent	accruent.com		x	
A-mantra	SatNav Technologies	a-mantra.com		x	
ARCHIBUS	ARCHIBUS	archibus.com	x	x	x
BookitWise	RIW Software Technology	bookitwise.com		x	
CAFM Explorer	CAFM Explorer	cafexplorer.com		x	
CommunityVibe	ComVibe	comvibe.com		x	
Cworks	CWorks Systems	cworkssystems.com		x	
Direct Line	Megamation Systems	megamation.com		x	
eMaint X3	eMaint Enterprises	emaint.com		x	
eSSETS	eSSETS	essets.com		x	
eXpress	FMX	gofmx.com		x	
facilicad	Facilicad	facilicad.com		x	
fieldaware	fieldaware	fieldaware.com		x	
FM Dashboard	Dashboard	fmdashboard.com		x	
FM: Interact	FM : Systems	fmsystems.com	x	x	
FTMaintenance	FasTrak SoftWorks	fast-soft.com		x	
Hippo CMMS	Hippo CMMS	hippocmms.com		x	
Infor EAM	Infor	es.infor.com		x	x
iOffice	iOffice	iofficecorp.com		x	
Landport	Landport	landport.net		x	
Maintenance Connection	Maintenance Connection	maintenanceconnection.com		x	
Maintenance EDGE	FacilityDude	facilitydude.com		x	
MaintiMizer	Ashcom Technologies	ashcomtech.com		x	
Mpulse	MPulse Maintenance	mpulsesoftware.com		x	
Net facilities	Net facilities	netfacilities.com		x	
Net-FM	INSITE	insite.org		x	
OfficeSpace	Instant	instantoffices.com		x	
Officetrax	Officetrax.com	officetrax.com		x	
planonsoftware	Planonsoftware	planonsoftware.com		x	
Poimapper	Pajat Solutions	poimapper.com		x	
ProLease	Link Systems	proleasesoftware.com		x	
Qwarecmms	Qwarecmms	qwarecmms.com		x	
rksolutions	R&K solutions	rksolutions.com		x	
Rosmiman IWMS	Rosmiman Software	rosmiman.com	x	x	x
ServiceChannel	ServiceChannel	servicechannel.com		x	
Skedda Bookings	Skedda	skedda.com		x	
The Service Program	Westrom Software	theserviceprogram.net		x	
Tririga	IBM	ibm.com		x	
Visual Asset Manager	E-Innovative Services Group	e-isg.com		x	
Visual Lease	Visual Lease	visuallease.com		x	
WOW! On the Web	Core 7 us	core7us.com		x	
YouBIM	youBIM	youbim.com	x	x	x

Fuente: Elaboración personal

Adicionalmente, existen también otros programas que permiten implementar las prácticas de trabajo colaborativo. En la tabla 11 se presentan las alternativas que facilitan el trabajo colaborativo para la gestión de proyectos mediante tecnología.

Tabla 11. *Software* colaborativo para la gestión de proyectos

SOFTWARE	FABRICANTE	WEB	ÉNFASIS		
			BIM	AEC/FM	ESPAÑOL
Aconex	Aconex	aconex.com	x	x	x
Aceproject	Aceproject	aceproject.com			
Asana	Asana	asana.com			
Basecamp	Basecamp	basecamp.com			
Binfire	Binfire	binfire.com			
Box	Box	box.com			x
BSCW	BSCW	bscw.de			
Celoxis	Celoxis	celoxis.com			
Clickhome	Qresponsive	clickhome.com.au		x	
clinked	clinked	clinked.com			
Collaboratecloud	Collaboratecloud	collaboratecloud.com			
DEXMA PLM	DEXMA Labs	dexma-plm.com			
Dropbox	Dropbox	dropbox.com			x
Eclipsemanager	Eclipsemanager	eclipsemanager.com			
Freedcamp	Freedcamp	freedcamp.com			
Godrive	Locaweb	locaweb.com.br			
Google Drive	Google	drive.google.com			x
Honey	Honey	honeysoftware.co.nz			
JIRA	Atlassian	atlassian.com			
Jonas	Jonas	jonasconstruction.com		x	
Latista	Latista	latista.com	x	x	
Leafcutter	Leafcutter	leafcutter.com			
Manageitapp	Manageitapp	manageitapp.com			
Mavenlink	Mavenlink	mavenlink.com			
Nutcache	Nutcache	nutcache.com			
Onedrive	Windows	onedrive.live.com			x
Paymo	Paymo	paymoapp.com			
Planbox	Planbox	planbox.com			
Podio	Podio	podio.com			x
Procore	Procore	procore.com		x	x
Project Bubble	Project Bubble	projectbubble.com			
Projectplace	Projectplace	projectplace.com			
Proworkflow	ProActive Software	proworkflow.com			
Smartsheet	Smartsheet	smartsheet.com			x
Solaborate	Solaborate	solaborate.com			
Synplicity	Synplicity	synplicity.com			
Workflowmax	Workflowmax	workflowmax.com		x	
Wrike	Wrike	wrike.com			
Zoho	Zoho	zoho.com			

Fuente: Elaboración personal

3. 4. Selección de Alternativas

La selección de las alternativas son las alternativas que las empresas y profesionales colombianos deben considerar para implementar el BIM, considerando el marco conceptual; la encuesta sobre el "Estado de la práctica del BIM - Colombia 2015"; la interoperabilidad de los datos entre los programas y el énfasis en BIM de las alternativas de tecnología colaborativa. Es importante dejar claro cómo se explicó anteriormente, que la presente investigación acepta como ciertas las características operacionales que ofrecen los fabricantes de *software* BIM, y consignadas en los medios electrónicos de cada fabricante. Las recomendaciones son las siguientes según cada modelo y concepto.

3. 4. 1. Los modelos de 3D. Permiten evaluar la geometría y especialmente la constructabilidad de los proyectos. El *software* de Autodesk conformado por Revit para el modelado (figura 53); Navisworks para la detección de conflictos (figura 54); y 3ds max para el modelizado (figura 55), es el más conveniente para las empresas y profesionales colombianos ya que tiene más posibilidades de facilitar el trabajo colaborativo por tener la mayor cantidad de usuarios (Revit 48%) y de programas interoperables (35). Esto obliga a considerar sólo el *software* propio y ajeno pero interoperable de la *suite* de Autodesk, como por ejemplo Vico Constructability de Trimble (figura 56) que es también una alternativa conveniente para la detección de conflictos.

Los otros programas para el modelado son prácticamente desconocidos en Colombia según la encuesta, excepto por Sketchup de Trimble que tiene también una cantidad importante de usuarios (42%); sin embargo carece hasta ahora de modelado paramétrico de objetos de arquitectura y de estructura, una de las características fundamentales del BIM. A continuación se presentan las interfaces mencionadas.

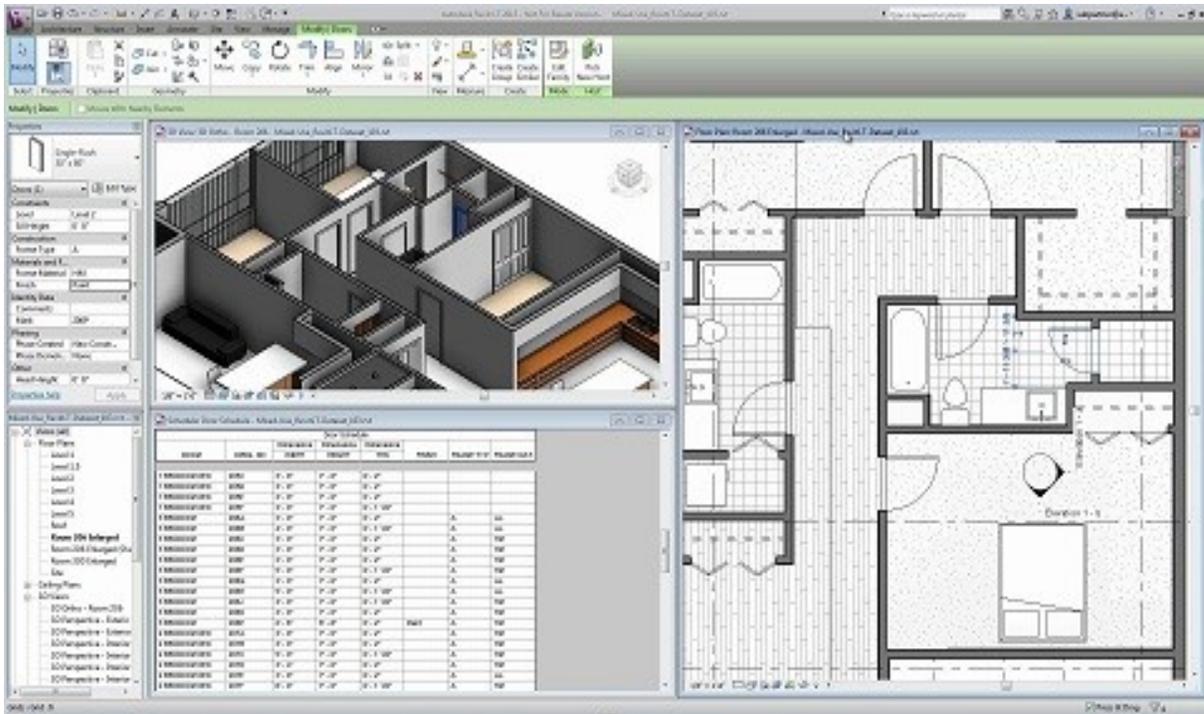


Figura 53. Interfaz de Revit, tomada de AMSCAD CAFM Solutions (2014)

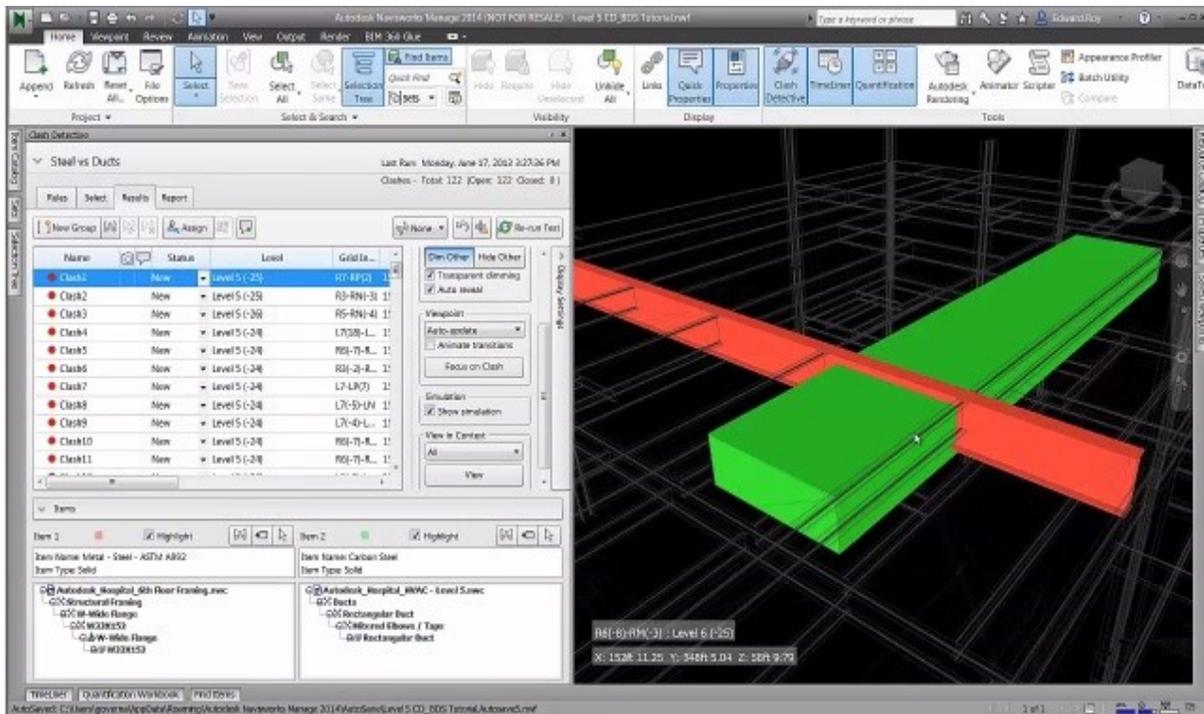


Figura 54. Interfaz de Navisworks, tomada de Autodesk Building Solutions (2013)

3. 4. 2. Los modelos de 4D. Permiten representar el tiempo en el proceso de construcción. El *software* Vico LBS Manager de Trimble (figura 57) es el más conveniente porque permite evaluar los proyectos mediante diagramas de Gantt y LBMS [*location based management system*: sistema de gestión mediante en línea de balance]; adicionalmente cuando se integra al modelo de 5D de Vico Cost Planner de Trimble permite evaluar el flujo de caja [*cash flow*] de los proyectos. El *software* Navisworks de Autodesk es también una alternativa conveniente sin embargo solo integra el modelo de 3D a los Diagramas de Gantt. A continuación se presenta la interfaz mencionada.

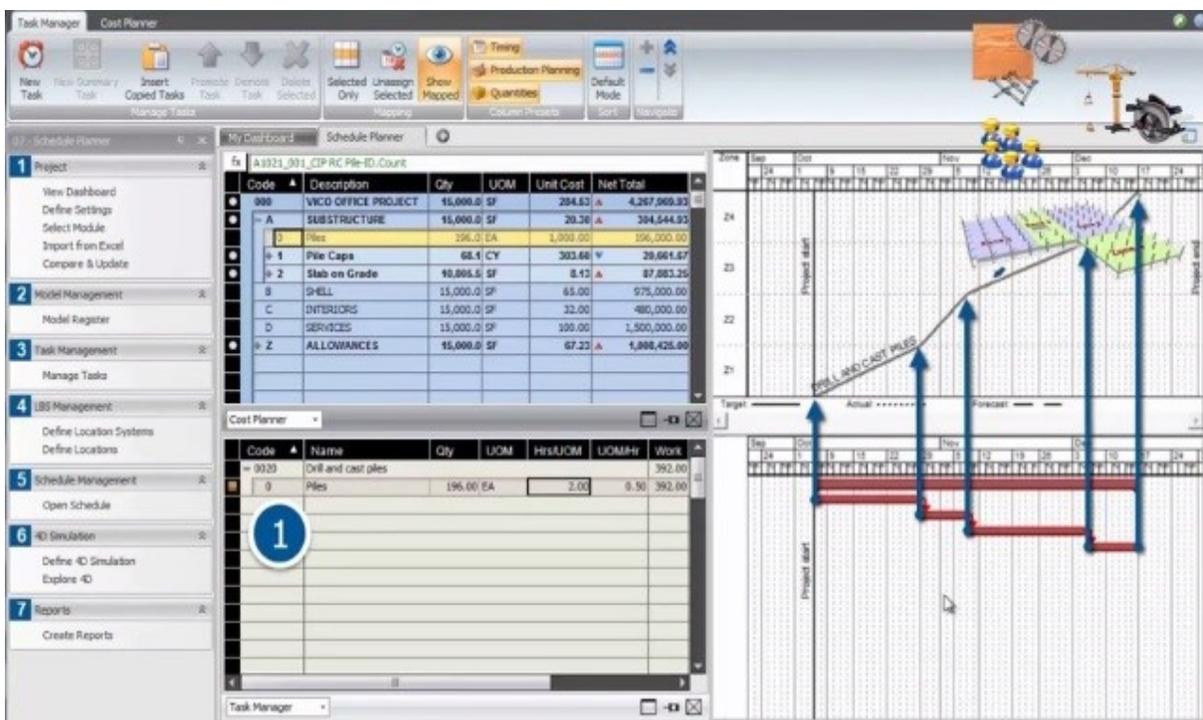


Figura 57. Interfaz de Vico LBS Manager, tomado FridaysWithVico (2013)

3. 4. 3. Los modelos de 5D. Permiten estimar las cantidades y los costos del modelo de 3D. El *software* Vico Cost Planner de Trimble (figura 58) es el más conveniente porque además de producir el modelo de 5D permite la interoperabilidad con el modelo de 4D. El *software* Costx es también una alternativa conveniente. A continuación se presentan las interfaces mencionadas.

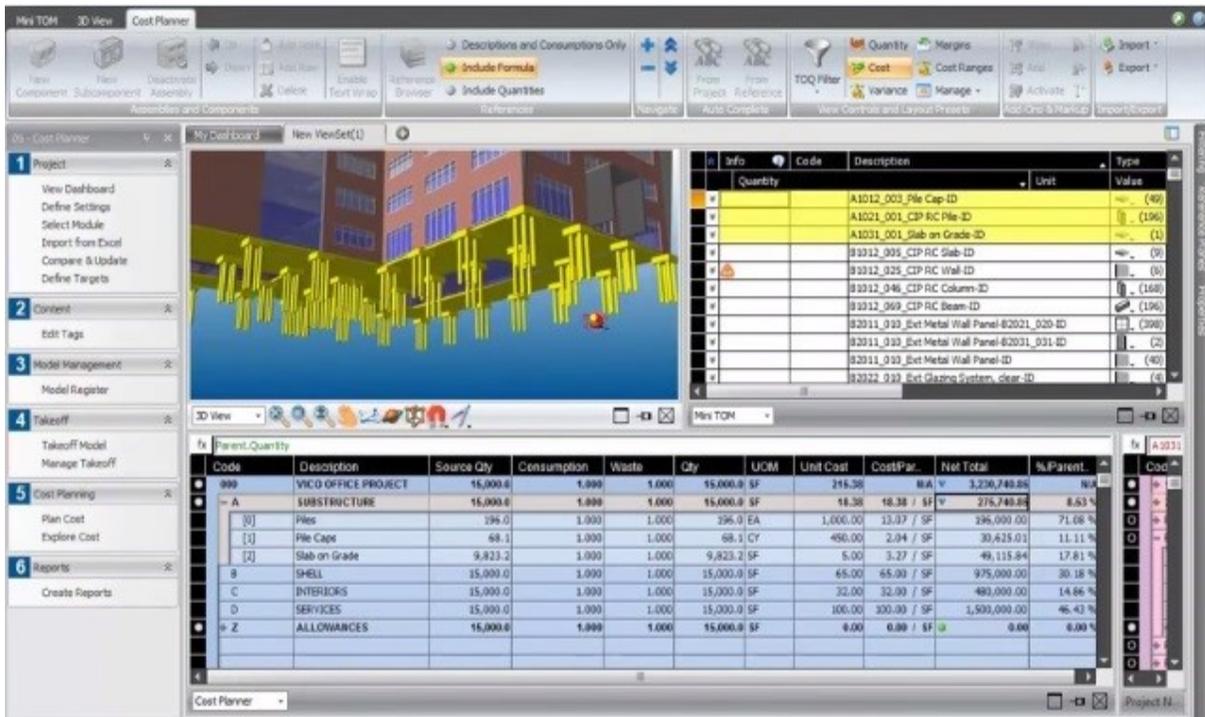


Figura 58. Interfaz de Vico Cost Planner, tomado FridaysWithVico (2013)

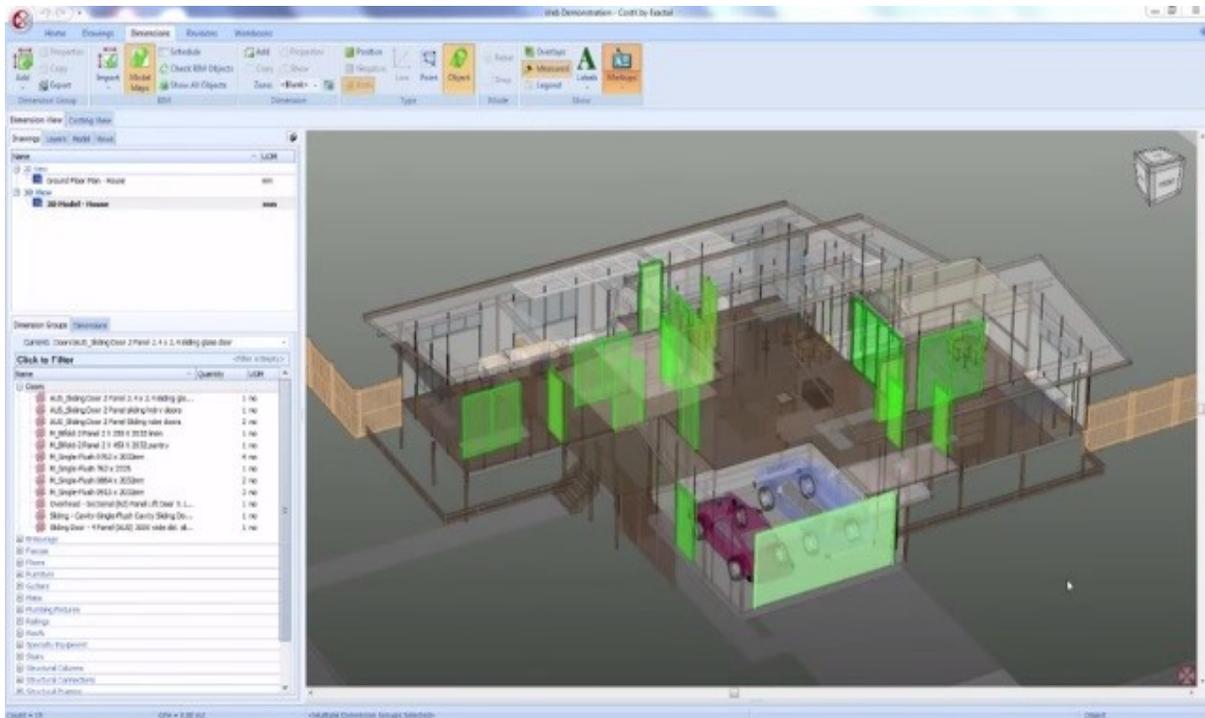


Figura 59. Interfaz de Costx, tomado de Exactal (2015)

3. 4. 4. Los modelos de 6D. Permiten implementar en la fase de operación las prácticas utilizadas en la administración de inmuebles [facilities management] y continuar en la fase de mantenimiento las prácticas de BIM utilizadas en las fases de diseño y construcción. El software Youbim de Engworks (figura 60) es el más conveniente porque integra programas de CMMS [gestión de mantenimiento asistido por computador] y de CAFM [gestión de infraestructura asistida por computador] como: Somax, Planon-FM, Maximo, Asset Works, Accruent, TMA, Archibus, Manhattan, Tririga, etc., (Youbim, 2015) al modelo BIM; adicionalmente, Youbim es con énfasis en BIM, en la nube y en español. Los programas Archibus y Rosmiman IWMS son también alternativas válidas, sin embargo es importante anotar que es clave que estos programas se adapten a las prácticas de administración de inmuebles realizadas en Colombia. A continuación se presenta la interfaz de Youbim en diferentes dispositivos.



Figura 60. Interfaz de Youbim en diferentes dispositivos, tomada de Youbim (2015)

3. 4. 5. Los modelos de 7D. Permiten analizar la sostenibilidad del modelo 3D. El *software* Green Building Studio de Autodesk (figura 61) es el más conveniente de la *suite* de Autodesk, otros programas presentan limitaciones de interoperabilidad, como se concluye del artículo *interoperability of building energy modeling with building information modeling* (Prada, 2015). Al respecto algunos fabricantes de *software* como *Design Builder Software* han decidido desarrollar sus propias suites de BIM, solo para modelos 3D y 7D, es de anotar que los programas que permiten los modelos de 7D de BIM se conocen también como BEM [building energy modeling: modelado de energía en construcción] A continuación se presenta la interfaz de Green Building Studio.

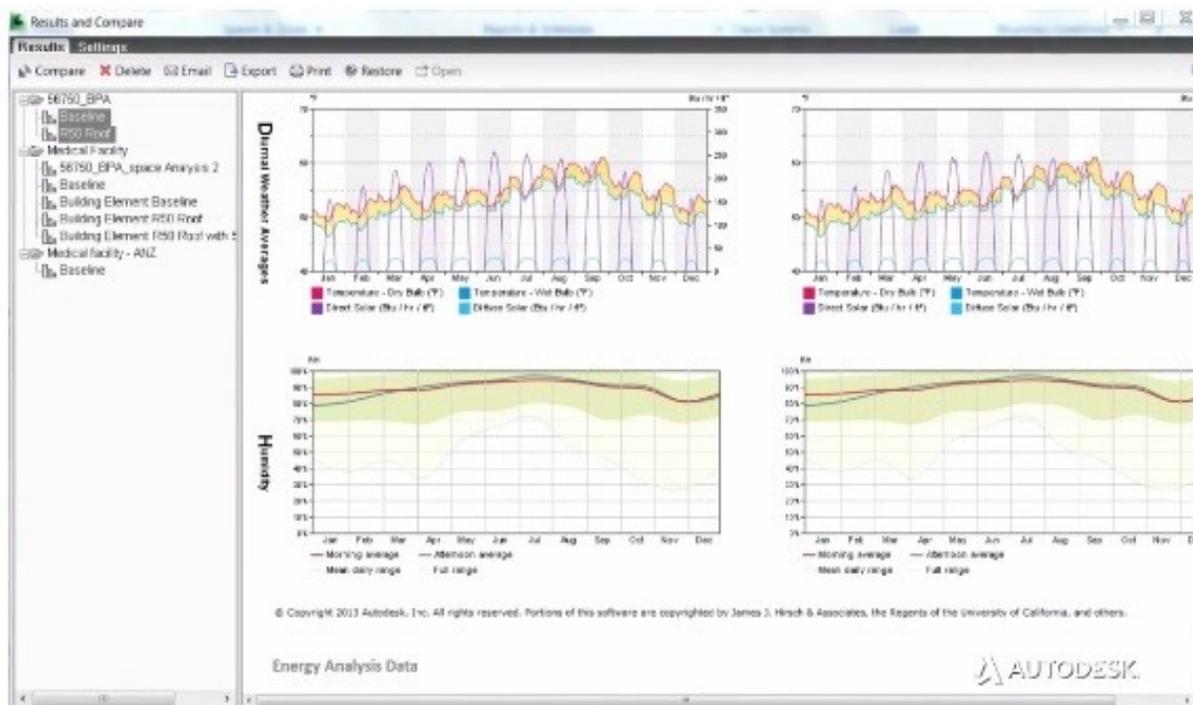


Figura 61. Interfaz de Green Building Studio, tomada de Autodesk (2015)

3. 4. 6. Los modelos de 8D. Permiten implementar los planes de seguridad en los modelos de 3D. Hasta la fecha no existe ningún software especializado en este concepto, sin embargo en los modelos de 3D, 4D y 5D se puede realizar lo pertinente a estas dimensiones.

3. 4. 7. Los modelos estructurales. Permiten el análisis estructural y cálculo de estructuras para diferentes materiales. El *software* Tekla Structures de Trimble (figura 62) se destaca entre los programas propios de las *suites*, sin embargo SAP2000 de CSI (figura 63), Midas Gen de MIDA-Soft (figura 64) y otros, son alternativas también convenientes. A continuación se presentan las interfaces mencionadas.

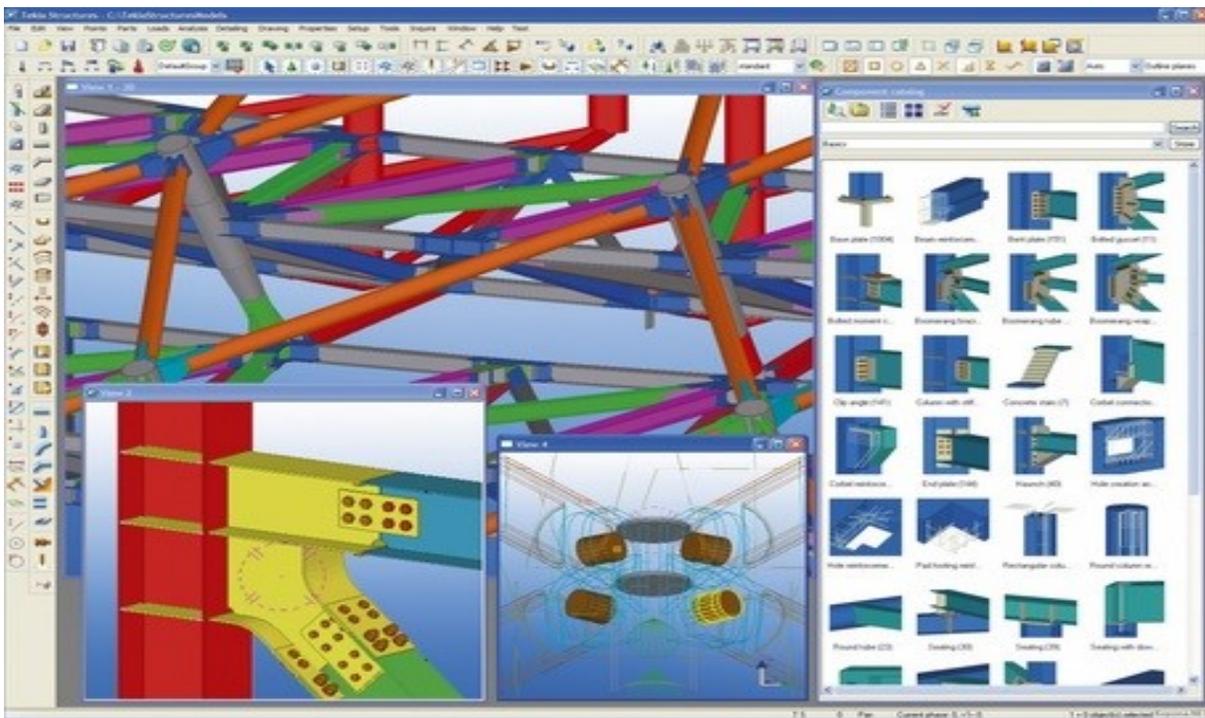


Figura 62. Interfaz de Tekla Structure, tomado de kopona (2015)

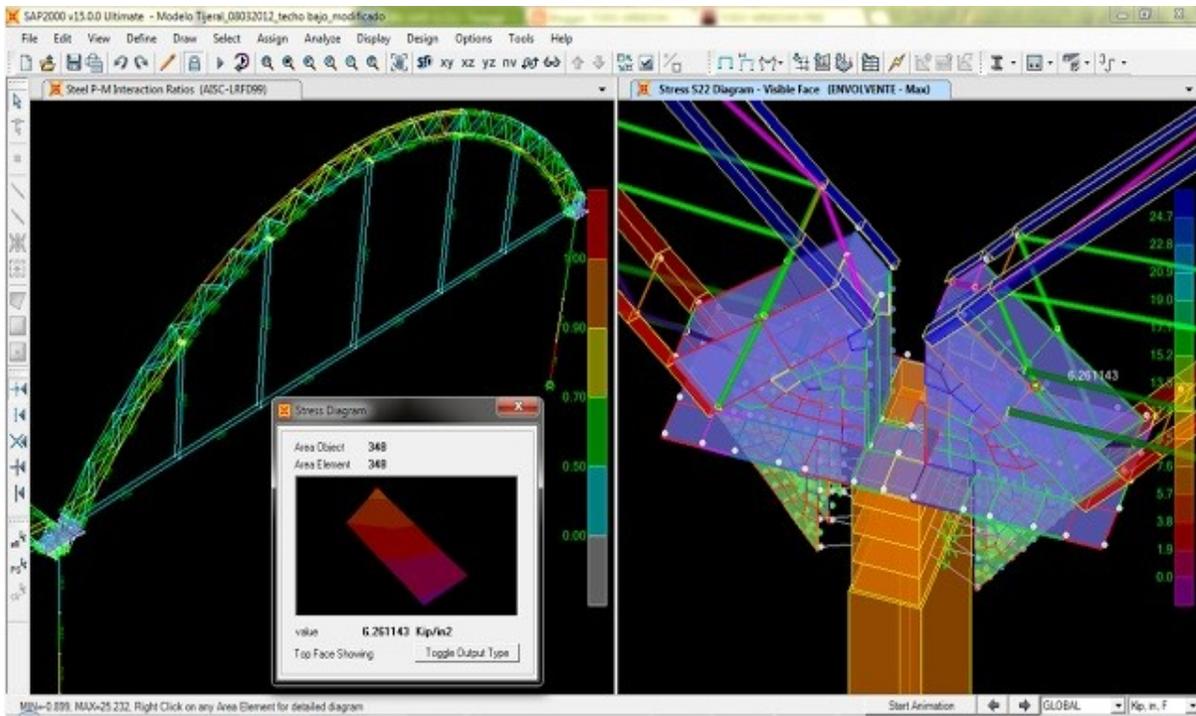


Figura 63. Interfaz de SAP2000, tomada de Fiuxy (2015)

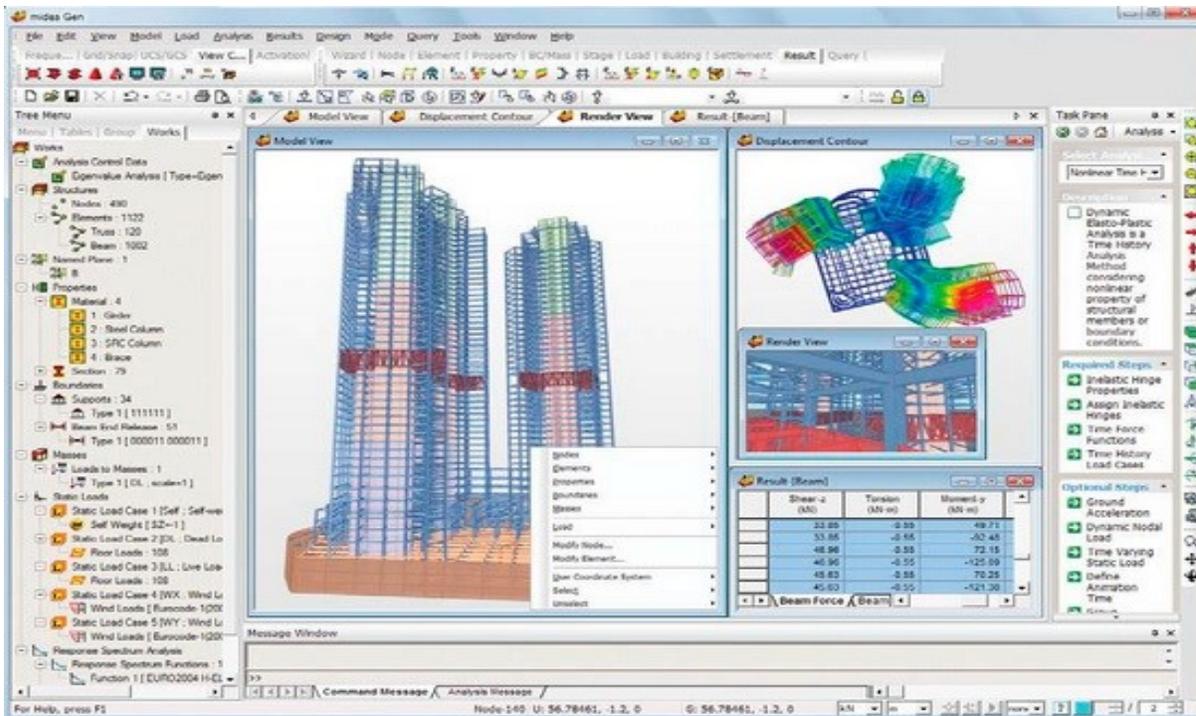


Figura 64. Interfaz de Midas Gen, tomado de Archile (2015)

3. 4. 8. Los modelos acústicos. Permiten evaluar la calidad del sonido, el control pasivo y activo del ruido y las vibraciones, la relación entre sonido y los materiales de construcción, y la aurilización. Los programas EASE de AFMG Technologies (figura 65) y Odeon de RASS³⁰ (figura 66), interoperables con Revit son alternativas convenientes para los proyectos de AEC/FM realizados mediante el BIM. A continuación se presentan las interfaces mencionadas.

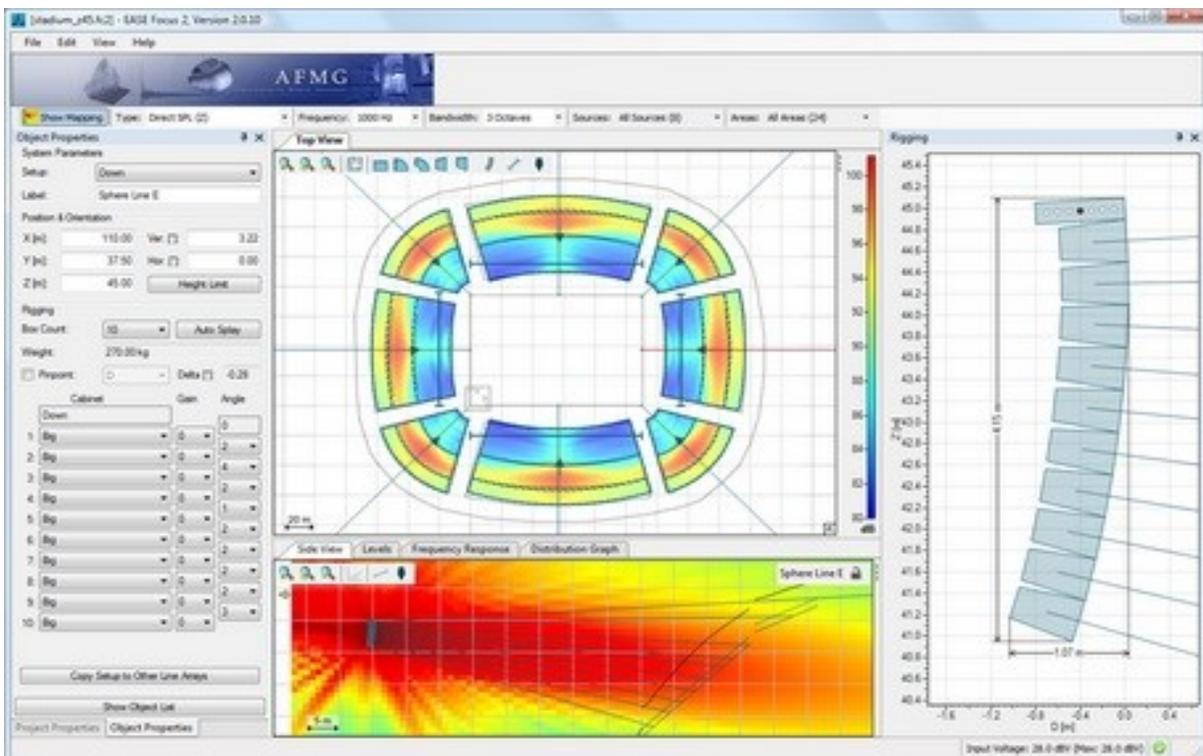


Figura 65. Interfaz de EASE, tomada de Focus (2015)

³⁰ RASS: room acoustic simulation software

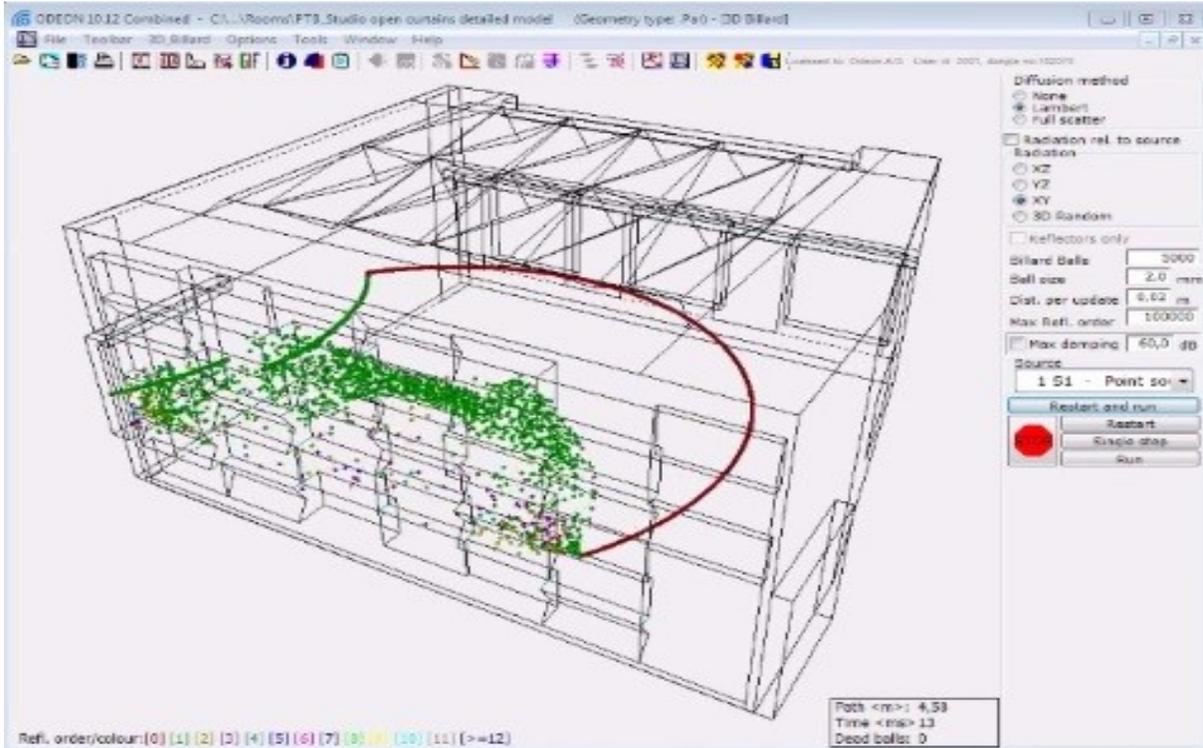


Figura 66. Interfaz de odeón, tomada de OdeonDK (2010)

3. 4. 9. La tecnología colaborativa. Permite a las personas compartir sus conocimientos en tiempo real mediante servicios, plataformas e infraestructuras en la nube. El *software* Aconex (figura 67) es conveniente porque permite la gestión de proyectos con énfasis en AEC/FM, BIM y en español, adicionalmente Aconex ha participado en la gestión de importantes proyectos de construcción internacionales, en la región se destaca por su participación en proyectos como la expansión del Canal de Panamá y del aeropuerto de Tocumen en Panamá y del Aeropuerto El Dorado en Bogotá - Colombia. A continuación se presenta su interfaz en diferentes dispositivos.

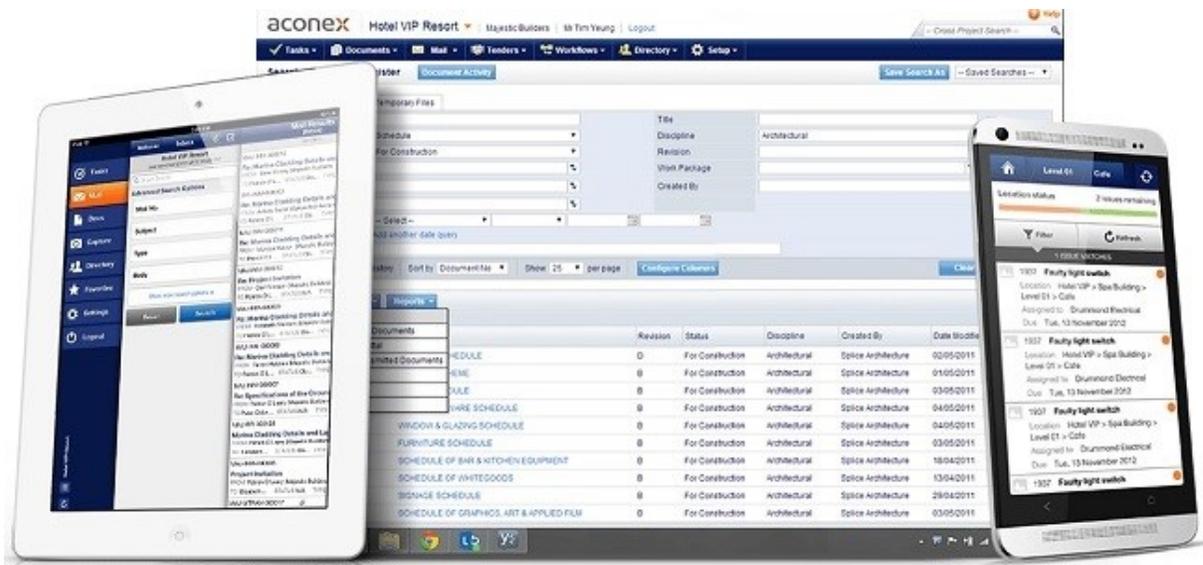


Figura 67. Interfaz de Aconex en diferentes dispositivos, tomada de Aconex (2015)

4. Conclusiones

La adopción de las alternativas de modelado y visualización para la construcción es para las empresas y profesionales colombianos de AEC/FM el camino seguro para mejorar la productividad en el sector de la construcción en Colombia y la capacidad de ofrecer servicios de diseño y construcción en el exterior; incluso promete llevar al sector de la construcción a los niveles de calidad de los sectores aeroespacial, automotriz e industrial. Sin embargo, implementar el BIM exige que diseñadores, constructores y propietarios pasen de las prácticas tradicionales a las prácticas colaborativas, con el objetivo de tomar las mejores decisiones a partir de los múltiples modelos que representan los procesos tradicionalmente críticos.

Las empresas y profesionales deben analizar detenidamente el perfil del personal informático, y las características de *hardware*; adicionalmente, se deben analizar los aspectos técnicos, legales y comerciales del *software*; Adicionalmente, es importante dejar claro que los estándares abiertos y neutrales que promete *Buildingsmart* van a permitir que más personas accedan a la tecnología de BIM; sin embargo, muchas barreras de interoperabilidad van a continuar más por razones comerciales y de propiedad intelectual, que por razones técnicas; en la actualidad incluso la interoperabilidad entre versiones del mismo *software* es limitada.

Los profesionales reconocen la necesidad de implementar el BIM en sus proyectos, sin embargo, a pesar de las ventajas que ofrece el BIM se aproximan tímidamente a su adopción en Colombia; los costos de la tecnología, la escases de tiempo y la falta de liderazgo son los motivos que

explican los encuestados en el "Estado de la práctica del BIM - Colombia 2015". Sin embargo los ejercicios prácticos realizados sobre algunas alternativas de modelado y visualización demostraron que se pueden aprovechar los programas gratuitos o *freemium* para aprender sin necesidad de capacitación formal, solo cuestión de tiempo y dedicación.

Los fabricantes de *software* han reconocido la creciente demanda por herramientas que permitan la gestión de los proyectos de AEC/FM; así, los últimos años fabricantes como Autodesk, Bentley Systems, Nemetschek Group y Trimble empezaron a ofrecer las *suites* de BIM; sin embargo, en la actualidad sólo el *software* de modelado 3D, conocido como Revit de Autodesk es considerado el más conveniente para el trabajo colaborativo por su cantidad de usuarios y sus características operacionales.

Por lo anterior, se considera que las alternativas de modelado y visualización para la construcción más convenientes para las empresas y profesionales colombianos deben ser interoperables con Revit de Autodesk; así, se realizó una selección de alternativas más detallada, buscando siempre las mejores alternativas en cada uno de los modelos y conceptos del BIM, los resultados se presentan en la siguiente tabla 12 a manera de conclusión.

Tabla 12. *Software* de BIM recomendado

MODELOS		SOFTWARE	FABRICANTE
Modelado sólido	3D	Revit	Autodesk
Detección de conflictos	3D	Navisworks 🔗 Vico Constructability *	Autodesk Trimble
Modelizado	3D	3ds max	Autodesk
Tiempo	4D	🔗 Vico LBS Manager Navisworks *	Trimble Autodesk
Presupuestos	5D	🔗 Vico Cost Planner 🔗 Costx *	Trimble Exactal
Operación	6D	🔗 Youbim 🔗 Manhattan	Engworks Trimble
Sostenibilidad	7D	Green building studio	Autodesk
Seguridad	8D		
Estructural		🔗 Tekla Structures 🔗 SAP2000 🔗 Midas Gen	Trimble CSI MIDASoft
Acústico		🔗 EASE 🔗 Odeón	AFMG Technologies RASS
Tecnología colaborativa	PLM	🔗 Aconex	Aconex
🔗 Software interoperable con Revit			
* Segunda opción			

Fuente: Elaboración personal

5. Recomendaciones

Las empresas y profesionales colombianos de AEC/FM deben considerar las siguientes recomendaciones:

1. Considerar la evaluación de las alternativas de modelado y visualización en la construcción, para definir su plan de implementación del BIM [*BIMXP* o *BEP: BIM execution plan*] con el *BIM manager*.
2. Los modelados y conceptos definidos en el marco conceptual, incluyendo por supuesto el trabajo colaborativo, deben ser objetivos en corto y mediano plazo.
3. La realidad virtual, la realidad aumentada, la identificación de objetos, el escaneo en 3D y la construcción automatizada deben ser objetivos de mediano y largo plazo.

Bibliografía

3D impresoras 3D. (1 de julio de 2015). 3D impresoras 3D. Obtenido de 3D impresoras 3D:

<http://www.3dimpresoras3d.com/que-es-un-escaner-3d/>

Aconex. (1 de julio de 2015). Aconex. Obtenido de Aconex: <http://www.aconex.com/>

AEC Magazine. (20 de julio de 2012). AEC Magazine. Obtenido de AEC Magazine:

<http://aecmag.com/technology-mainmenu-35/498-scan-to-bim-a-reality-check>

AIA. (2007). Integrated Project Delivery: a guide. The American Institute of Architects. Obtenido

de <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/document/aiab085539.pdf>

AIA. (1 de julio de 2015). AIA. Obtenido de AIA:

<http://network.aia.org/technologyinarchitecturalpractice/home/webinars>

Alarcón A., A., & Callejas C., M. (2009). Propiedad intelectual y derechos de autor en el

software libre. Revista Virtual Universidad Católica del Norte N°28, 5.

Alegsa. (12 de noviembre de 2008). Alegsa. Obtenido de Alegsa:

<http://www.alegsa.com.ar/Dic/suite.php>

Allen consulting group. (2010). Productivity in the buildings network. Sidney: Allen consulting

group.

Alves, H. (22 de Febrero de 2013). Sistemas de engenharia. Obtenido de Sistemas de

engenharia: <http://sistemasdeengenharia.com.br/2013/02/bim-bam-boom/>

AMSCAD CAFMSolutions. (10 de mayo de 2014). Youtube. Obtenido de Youtube:

https://www.youtube.com/watch?v=_kWqTIEhaeM

Archile. (1 de julio de 2015). Archile. Obtenido de Archile:

<http://www.archile.cl/estructuras.html>

Asamblea Nacional Constituyente. (1991). Constitución Política de Colombia. Bogotá.

- Asidek. (1 de julio de 2015). Asidek. Obtenido de Asidek: <http://www.asidek.es/asidek-le-ayuda-a-crear-catalogos-de-objetos-bim-para-su-negocio/>*
- Autodesk. (1 de julio de 2015). Autodesk. Obtenido de Autodesk: <http://www.autodesk.com/products/green-building-studio/overview>*
- Autodesk Building Solutions. (11 de julio de 2013). Yuotube. Obtenido de Yuotube: https://www.youtube.com/watch?v=o_9X3DM9t60*
- Barros, J., Carneiro, T., & Lins, D. (2012). Spread of BIM: a comparative analysis of scientific production in brazil and abroad.*
- Bentley. (1 de julio de 2015). Bentley. Obtenido de Bentley: <http://www.bentley.com/en-US/Products/Bentley+Facilities/>*
- Bergin, M. (1 de julio de 2015). Architecture Research Lab. Obtenido de Architecture Research Lab: <http://www.architectureresearchlab.com/arl/>*
- BIM freelance. (1 de julio de 2015). BIM freelance. Obtenido de BIM freelance: <http://bimfreelance.com/formacion-bim-manager/>*
- Bimetica. (1 de julio de 2015). Bimetica. Obtenido de Bimetica: <http://bimetica.com/>*
- BIMforum. (2015). Level of development specification. Obtenido de <https://bimforum.org/lod/>*
- BIMobject. (15 de diciembre de 2011). BIMobject. Obtenido de BIMobject: <http://www.mynewsdesk.com/uk/bimobject/pressreleases/bim-render-3d-rendering-solutions-for-manufacturers-is-released-715608>*
- Botero, L., Isaza, J., & Vasquez, A. (2015). Estado de la practica del BIM - Colombia 2015. Medellin.*

Building design & construction. (18 de mayo de 2015). Building design & construction.

Obtenido de Building design & construction: <http://www.bdcnetwork.com/5-smart-tech-trends-transforming-job-site>

Buildingsmart. (1 de julio de 2015). Buildingsmart. Obtenido de Buildingsmart:

<http://www.buildingsmart.org/>

Cabinet Office U.K. (2011). Government construction strategy. Londres: Cabinet Office U.K.

Cabrero, J. (16 de diciembre de 2014). Obtenido de

<http://prefabricar.org/2014/12/16/implantacion-del-ipd-bim-y-prefabricacion-ii/>

Cadalyst. (18 de noviembre de 2010). Cadalyst. Obtenido de Cadalyst:

<http://www.cadalyst.com/fullscaleviz>

CAMACOL. (2014). Prospectiva edificadora: una visión de corto y mediano plazo. Bogota:

CAMACOL. Obtenido de

<http://camacol.co/sites/default/files/Prospectiva/ProspectivaEdificadora.html#p=1>

Carlbon, I., Tsingos, N., Funkhouser, T., Elko, G., Sondhi, M., & West, J. (s.f.).

Cibersur. (3 de noviembre de 2011). Youtube. Obtenido de Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=iX3f8bsG53o&list=PLeFAv4MhQXz2tqXMdOuhvJ-Kq5Sgypgbn&index=61>

CMD group. (2 de octubre de 2010). CMD group. Obtenido de CMD group:

<http://www.cmdgroup.com/market-intelligence/articles/building-the-system-bim-hardware-and-software-requirements/>

College of the Desert. (2010). BIM guide protocols and project execution plan. Los Angeles:

College of the Desert. Obtenido de <http://codbond.eispro.com/uploads/2011-02-24%20College%20of%20the%20Desert%20BIM%20Guide.pdf>

Constructech. (1 de julio de 2015). Constructech. Obtenido de Constructech:

<http://constructech.com/defining-the-5d-of-bim/>

CRC - Cooperative Research Centre. (2007). Adopting BIM for facilities management.

Brisbane: CRC - Cooperative Research Centre. Obtenido de www.construction-innovation.info

Crotty, R. (2012). The impact of building information modelling: transforming construction.

London: Spon Press.

Dassault Systèmes. (2014). End-to-end collaboration enabled by BIM level 3. Dassault

Systèmes.

Department of labor - U.S. (junio de 2014). National Society of Professional Engineers.

Obtenido de National Society of Professional Engineers:

http://www.leanconstruction.org/media/docs/PEJune14_Construction.pdf

Design Builder Latinoamerica. (1 de julio de 2015). Design Builder Latinoamerica. Obtenido de

Design Builder Latinoamerica: <http://www.designbuilder-lat.com/>

Design connected. (1 de julio de 2015). Designconnected. Obtenido de Designconnected:

http://www.designconnected.com/Seating/Lounges/Swan_p1085

Dios, P., González, P., Lusquiños, D., Marín, D., & Regueiro, S. (1 de julio de 2015). Tecnicas

de iluminación. Obtenido de Tecnicas de iluminación:

<http://sabia.tic.udc.es/gc/Contenidos%20adicionales/trabajos/3D/modelosIlumionacion/index.html>

Dispenza , K. (28 de abril de 2011). Buildipedia. Obtenido de Buildipedia:

<http://buildipedia.com/aec-pros/facilities-ops-maintenance/bim-bridging-the-gap-between-aec-and-om>

Dlubal software. (1 de julio de 2015). Dlubal software. Obtenido de Dlubal software:

<https://www.dlubal.com/en/>

Dolar, D. (20 de marzo de 2015). Rudolph and Sletten Construction. Obtenido de Rudolph and

Sletten Construction: [http://blog.rsconstruction.com/blog/bid/361868/Exploring-Indoor-](http://blog.rsconstruction.com/blog/bid/361868/Exploring-Indoor-Positioning-Systems-for-Construction)

Positioning-Systems-for-Construction

Dream orange. (1 de julio de 2015). Dream orange. Obtenido de Dream orange:

<http://dream.orange.fr/doc/en-kiosque/133/ikea-en-realite-augmentee>

Dreamstime. (2015). Dreamstime. Obtenido de Dreamstime: <http://ru.dreamstime.com/>

Eastman, C. M., & Aram, S. (2013). IAARC. Georgia Institute of Technology, 1046-1055.

Obtenido de IAARC:

http://www.iaarc.org/publications/proceedings_of_the_30th_isarc/integration_of_plm_solutions_and_bim_systems_for_the_aec_industry.html

Eastman, C. M., Fisher, D., Lafue, G., Lividini, J., Stoker, D., & Yessios, C. (1974). An outline of the building description system. Institute of Physical Planning, 1-22.

Eastman, C. M., Liston, K., Teicholz, P., & Sacks, R. (2011). BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors - 2 ed. New Jersey: John Wiley & Sons.

Eastman, C. M., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). BIM handbook a guide to building for owners, manager, designerrs, engineers, and contractors - 1 Ed. New Jersey: Wiley & sons.

Eastman, C., & Henrion, M. (1977). GLIDE: a lenguaje for desing information systems.

Pittsburgh: Carnegiem Mellon University.

Egan, J. (1998). Rethinking construction. Londres: UK Department of Trade and Industry.

El Espectador. (8 de junio de 2015). El Espectador. Obtenido de El Espectador:

<http://www.elespectador.com/tecnologia/apple-aspira-cambiar-el-mercado-de-musica-articulo-565210>

Emprededores. (20 de febrero de 2013). Emprededores. Obtenido de Emprededores:

<http://www.emprededores.es/crear-una-empresa/modelos-de-negocio/modelo-freemium>

Engelbart, D. (octubre de 1962). Doug Engelbart institute. Obtenido de Doug Engelbart

institute: <http://www.dougenelbart.org/pubs/augment-3906.html>

Eurotekna. (1 de julio de 2015). Eurotekna. Obtenido de Eurotekna:

<http://www.eurotekna.net/estereoscopia.html>

Evans, M. (abril de 2001). The PLM Debate: Outsourcing upsets the IT Integration Pillars in the

Temple of Discrete Manufacturing. Cambashi. Obtenido de <http://www.cambashi.com/the-plm-debate---outsourcing-upsets-the-it-integration-pillars>

Exactal. (1 de febrero de 2015). Youtube. Obtenido de Youtube:

https://www.youtube.com/watch?v=tdAV2fP_KZ4

Faro. (1 de julio de 2015). Faro. Obtenido de Faro: <http://www.faro.com/es-es/inicio>

Fernández, M. (30 de julio de 2014). Lancetalent. Obtenido de Lancetalent:

<http://www.lancetalent.com/blog/los-4-plugins-de-wordpress-mas-utilizados-para-el-e-commerce/>

Fischer, M., & Koo, B. (1998). Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. CIFE

Technical Report #I18.

Fischer, M., & Mourgues, C. (2001). Investigaciones en tecnologías de información aplicadas a

la industria de AEC. CIFE Technical Report #124, 1-9.

Fiuxy. (1 de julio de 2015). Fiuxy. Obtenido de Fiuxy: <http://www.fiuxy.com/programas-gratis/2903824-csi-sap2000-v15-full-32-64-bits-ul-fs-bs-cl.html>

Focus. (1 de julio de 2015). Focus. Obtenido de Focus: <http://focus.afmg.eu/>

Fontela, C. (19 de septiembre de 2009). Cys Ingeniería de Software. Obtenido de Cys Ingeniería de Software: <https://cysingsoft.wordpress.com/>

Free Software Foundation. (1 de julio de 2015). Free Software Foundation. Obtenido de Free Software Foundation: <http://www.fsf.org/>

Freemium. (1 de julio de 2015). Freemium. Obtenido de Freemium: <http://www.freemium.org/>

FridaysWithVico. (20 de agosto de 2010). Youtube. Obtenido de Youtube:

https://www.youtube.com/watch?v=Otfh2_4lxLE#t=463

FridaysWithVico. (18 de abril de 2013). Youtube. Obtenido de Youtube:

https://www.youtube.com/watch?v=qcepd_AJANo&list=PLeFAv4MhQXz2tqXMdOuhvJ-Kq5Sgypgbn&index=56

Gambau, J. (2005). Colegio Oficial Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación. Obtenido de

http://www.coit.es/foro/pub/ficheros/historia_de_la_invencion_del_triodo_1331e4aa.pdf

Hilario, P. (mayo de 2011). All roads BIM. Obtenido de All roads BIM:

<http://allroadsbim.com/organizational-change-part-i-the-catalyst/>

Hochtief. (2013). Hochtief. Obtenido de Hochtief: [http://www.hochtief-](http://www.hochtief-vicon.com/vicon_en/46.jhtml?n=1)

[vicon.com/vicon_en/46.jhtml?n=1](http://www.hochtief-vicon.com/vicon_en/46.jhtml?n=1)

IEEE. (1 de julio de 2015). Institute of Electrical and Electronics Engineers. Obtenido de

Institute of Electrical and Electronics Engineers: <https://www.ieee.org/index.html>

Info-Aprende. (1 de julio de 2015). Info-Aprende. Obtenido de Info-Aprende:

<http://infoaprende.web44.net/infoaprende/arquitectura-de-la-computadora/>

Isaza, J. (1 de julio de 2015). Formularios Google. Obtenido de Formularios Google:

https://docs.google.com/forms/d/1UGsL6wncoQBAwhSCFphFnMlJFqXw91FEXA3RV81GC_M/viewform

Isaza, J., & Ignacia, A. (2014). Modelos de 3D. Ejercicio practico. EAFIT, Medellin.

Kamardeen, I. (2010). 8D BIM modelling tool for accident prevention through design.

Proceedings 26th Annual ARCOM Conference (págs. 281-289). Leeds: Association of Researchers in Construction Management. Obtenido de <http://www.arcom.ac.uk/abstracts-results.php?s=26th%20Annual%20ARCOM%20Conference&b=b>

Kim, S., Coffeen, R., & Sanguinetti, P. (2013). Interoperability Building Information Modeling and acoustical analysis software - A demonstration of a performing arts hall design process.

Acoustical Society of America. Obtenido de

http://www.ica2013montreal.org/Proceedings/mss/015136_1.pdf

Kopona. (1 de julio de 2015). Kopona. Obtenido de Kopona: <http://www.kopona.net/soft/22679-tekla-structures-v15-sr2.html>

Laconoscenzatirendel. (10 de mayo de 2014). Youtube. Obtenido de Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=IIFrIUsVUKg&index=49&list=PLeFAv4MhQXz2tqXMdOuhvJ-Kq5Sgypgbn>

Latham, M. (1994). Constructing the team. Londres: UK Department of the Environment.

Liébana, Ó., & Gómez, M. (2013). BIM en la docencia de estructuras para edificación. III

Jornadas internacionales de enseñanza de la ingeniería estructural. Valencia.

- López, A., Ramos, D., & Torre, I. (2009). Las exportaciones de servicios de América Latina y su integración en las cadenas globales de valor. *Santiago de Chile: Naciones Unidas.*
- Maher, K. (23 de junio de 2013). Graphic Speak. *Obtenido de Graphic Speak:*
<http://gfxspeak.com/2013/06/06/does-the-cad-world-need-another-geometry-kernel/>
- Malleson, A. (febrero de 2014). NBS. *Obtenido de NBS:*
<http://www.thenbs.com/topics/BIM/articles/Failure-to-adopt-BIM-could-affect-consultants-ability-to-work-internationally.asp>
- Max fordham. (2015). Max fordham. *Obtenido de Max fordham:*
<http://www.maxfordham.com/services/acoustics/details/>
- Mcgraw-hill construction. (2012). Smartmarket report. *Bedfort: McGraw-Hill Construction.*
- Meadati, P., Irizarry, J., & Akhnoukh, A. (2010). *BIM and RFID Integration: A Pilot Study.* Second International Conference on Construction in Developing Countries, (págs. 570-578). *Cairo.*
- Mossack, P. (2013). Foro Tekla BIM Central Europeo 2013. *Obtenido de Foro Tekla BIM Central Europeo 2013:* <http://www.tekla.com/de/bim-forum-2013/presentations/peter-mossack.pdf>
- National BIM Library. (14 de febrero de 2014). National BIM Library. *Obtenido de National BIM Library:* <http://www.nationalbimlibrary.com>
- National Building Specification. (2015). NBS national BIM report 2015. *Londres: NBS.*
- NBIMS-US. (1 de julio de 2015). National BIM Standard - United States. *Obtenido de National BIM Standard - United States:* <http://www.nationalbimstandard.org/about.php>

NBS. (1 de julio de 2015). NBS. Obtenido de NBS:

<http://www.thenbs.com/topics/bim/articles/understanding-bim-in-a-project-management-environment.asp>

Nemetschek. (1 de julio de 2015). Nemetschek. Obtenido de Nemetschek:

<http://www.nemetschek.com>

Nosolousabilidad. (1 de julio de 2015). Nosolousabilidad. Obtenido de Nosolousabilidad:

<http://www.nosolousabilidad.com/articulos/comunicabilidad.htm>

OdeonDK. (18 de junio de 2010). Youtube. Obtenido de Youtube:

https://www.youtube.com/watch?v=_bymZkisMWM

OMPI. (1 de julio de 2015). OMPI. Obtenido de OMPI: <http://www.wipo.int/portal/en/index.html>

Open Source Initiative. (1 de julio de 2015). Open Source Initiative. Obtenido de Open Source

Initiative: <http://opensource.org/>

Pavonleo. (1 de julio de 2015). Pavonleo. Obtenido de Pavonleo: <http://www.pavonleo.com/>

Pelsmakers , S. (1 de julio de 2015). NBS. Obtenido de NBS:

<http://www.thenbs.com/topics/bim/articles/bimPotentialSupportSustainableBuilding.asp>

People Daily. (11 de julio de 2015). People Daily. Obtenido de People Daily:

<http://spanish.peopledaily.com.cn/n/2015/0711/c92121-8919144.html>

Perlberg, E. (15 de abril de 2014). Youtube. Obtenido de Youtube:

<https://www.youtube.com/watch?v=mZukTmiq4LA>

Portafolio. (2014). Portafolio. Obtenido de Portafolio: <http://www.portafolio.co/economia/pib-colombia-2013>

Portafolio. (2015). Portafolio. Obtenido de Portafolio: <http://www.portafolio.co/economia/pib-colombia-2014-3>

Post, N. (2 de agosto de 2014). ENR magazine. Obtenido de ENR magazine:

<https://enr.construction.com/engineering/subscription/LoginSubscribe.aspx?cid=28322>

Prada Hernandez, A., Rojas Quintero, J., Vallejo Borda, J., & Ponz Tienda, J. (2015).

Interoperability of building energy modeling (BEM) with building information modeling (BIM). Bogota.

Proyecto BIMpulso. (29 de abril de 2015). Proyecto BIMpulso. Obtenido de Proyecto BIMpulso:

<http://spiningenieros.com/blogs/desafio21/>

PSFK. (1 de octubre de 2013). PSFK. Obtenido de PSFK:

<http://www.psfk.com/2013/10/augmented-reality-car-repair-manual.html>

PTC. (1 de julio de 2015). PTC. Obtenido de PTC: <http://es.ptc.com/product-lifecycle-management>

RAE. (1 de julio de 2015). Real Academia Española. Obtenido de <http://www.rae.es>

Ramos M., R. (2011). Introducción al Modelado Sólido. En R. Ramos M., & I. Fernández L., Informática Gráfica. Gijón, España: Universidad de Oviedo.

Romero, F. (2005). Técnicas para la simulación de objetos deformables. Málaga: Universidad de Málaga.

Rsantos. (1 de julio de 2015). Rsantos. Obtenido de Rsantos: <http://www.rsantos.eti.br/>

Sagan, C. (27 de mayo de 1996). El mundo y sus demonios. (C. Rose, Entrevistador)

SEYS. (2014). SEYS. Obtenido de SEYS: <http://seystic.com/la-transicion-del-bim/>

Sinnexus. (2015). Sinnexus. Obtenido de Sinnexus:

http://www.sinnexus.com/business_intelligence/ventaja_competitiva.aspx

Smith, M. (13 de febrero de 2014). NBS. Obtenido de NBS:

<http://www.thenbs.com/topics/BIM/articles/BIM-and-project-management.asp>

Smith, P. (2014). BIM & the 5D Project Cost Manager. 27th International Project Management Association World Congress, 475-484.

Structure magazine. (agosto de 2013). Structure magazine. Obtenido de Structure magazine: <http://www.structuremag.org/?p=558>

Sullivan, C. (1 de junio de 2007). Continuing Education Center. Obtenido de Continuing Education Center: <http://continuingeducation.construction.com/article.php?L=19&C=213&P=2>

Superior equipment & supplies. (1 de julio de 2015). Superior equipment & supplies. Obtenido de Superior equipment & supplies: <http://www.superiorequipmentsupplies.com/project-management/>

Techviz. (1 de julio de 2015). Techviz. Obtenido de Techviz: <http://www.techviz.net/construction-architecture>

Tecnato. (29 de marzo de 2013). Tecnato. Obtenido de Tecnato: <http://tecnato.com/computacion-en-la-nube-que-es-y-como-funciona/>

Tecnología BIM. (1 de julio de 2015). Tecnología BIM. Obtenido de Tecnología BIM: <http://www.tecnologiabim.es/el-modelado-de-construccion-parametrico-la-base-de-bim/>

The unicode consortium. (1 de julio de 2015). Unicode. Obtenido de Unicode: <http://www.unicode.org/>

Thomas, D. (8 de agosto de 2014). BBC. Obtenido de BBC: http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/08/140808_realidad_aumentada_aplicaciones_am

Trimble. (8 de septiembre de 2014). Trimble. Obtenido de Trimble: <http://www.trimble.com/news/release.aspx?id=090814a>

UC3M. (1 de julio de 2015). Universidad Carlos III de Madrid. *Obtenido de Universidad Carlos III de Madrid:*

http://portal.uc3m.es/portal/page/portal/actualidad_cientifica/noticias/robots_construccion

UNAD. (1 de julio de 2015). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. *Obtenido de Universidad Nacional Abierta y a Distancia:*

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208042/Contenido_en_linea/index.html

Universidad de Chile. (2013). Encuesta nacional BIM 2013. *Santiago: Universidad de Chile.*

Universidad de Colima. (1 de julio de 2015). Universidad de Colima. *Obtenido de Universidad de Colima:* <http://www.ucol.mx/>

Universidad Politecnica de Madrid. (1 de julio de 2015). Universidad Politécnica de Madrid. *Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid:*

http://www.dia.eui.upm.es/asignatu/arq_com/Paco/1-Introduccion.pdf

Ushakov, D. (2 de mayo de 2012). Isicad. *Obtenido de Isicad:*

http://isicad.net/articles.php?article_num=15255

Valero, E. (2013). Generación automática de modelos 3D con escáneres y tecnologías inteligentes. *Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.*

Wen, T. (14 de octubre de 2014). BBC Mundo. *Obtenido de BBC Mundo:*

http://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/10/141007_vert_fut_tecnologia_realidad_virtual_usos_ig?ocid=socialflow_facebook

Youbim. (1 de julio de 2015). Youbim. *Obtenido de Youbim:* youbim.com

Yunis, N. (8 de agosto de 2015). ArchDaily. *Obtenido de ArchDaily:*

<http://www.archdaily.co/co/771417/el-brazo-robotico-de-gramazio-kohler-crea-una-elegante-fachada-de-ladrillo>

Zafra, M. (18 de octubre de 2013). El país. Obtenido de El país:

http://elpais.com/elpais/2013/10/17/media/1382025104_269169.html

Anexo

Estado de la Práctica del BIM - Colombia 2015.

Cuestionario de preguntas del formulario electrónico

Introducción

Los modelos digitales realizados mediante *software* BIM (acrónimo inglés de modelado de información en construcción) son utilizados cada vez con mayor frecuencia en los proyectos de arquitectura, ingeniería, construcción y administración de inmuebles, al respecto el grupo de investigación en gestión de la construcción de la Universidad EAFIT lo considera un líder de opinión [Leadership] en estos proyectos, motivo por el cual nos interesa conocer su opinión mediante el desarrollo de la siguiente encuesta orientada a usuarios y no usuarios del software BIM. Las preguntas señaladas con asterisco (*) son obligatorias, adicionalmente en las preguntas de selección múltiple con varias columnas se debe seleccionar alguna respuesta en cada fila.

Información Personal

Nombres y apellidos* _____

Correo electrónico* _____

Celular _____

Empresa* _____

Cargo en la empresa* _____

1. Ciudad de residencia* _____

2. Edad* (Selección única. Marca solo un óvalo)

- Entre 20 y 30 años
- Entre 30 y 40 años
- Entre 40 y 50 años
- Entre 50 y 60 años
- Más de 60 años

3. Profesión afín* (Selección única. Marca solo un óvalo)

- Arquitectura
- Ingeniería Civil
- Ingeniería Eléctrica
- Ingeniería Sanitaria
- Ingeniería Mecánica
- Ingeniería Ambiental
- Construcción
- Administración
- Otros: _____

4. ¿Cuáles han sido sus experiencias profesionales más destacadas?* (Selección múltiple. Selecciona todas las opciones que correspondan)

- Cliente o inversionista
- Estructurador de Proyectos
- Gerencia
- Coordinación
- Supervisión
- Consultoría
- Comercial
- Avaluador
- Academia
- Licitaciones
- Diseño
- Construcción
- Mantenimiento
- Interventoría
- Presupuesto
- Programación
- Otros: _____

5. ¿Cuáles prácticas de representación gráfica se utilizaron en los proyectos en donde ha participado?* (Selección múltiple. Selecciona todas las opciones que correspondan)

- Planos a mano
- Videos
- Planos mediante software CAD
- Modelos BIM
- Imágenes 3D
- Otros: _____

6. ¿Considera que los planos realizados mediante Software CAD son suficientes para el desarrollo de proyectos? * (Selección única. Marca solo un óvalo)

- Si
- No

7. ¿En los proyectos en donde ha participado se exigen Modelos BIM?* (Selección única. Marca solo un óvalo)

- Siempre
- Casi nunca
- Frecuentemente
- Nunca
- Algunas veces

8. ¿En cuál de las siguientes opciones se clasifica de usuario de software BIM?* (Selección única. Selecciona todas las opciones que correspondan)

- Conoce Modelos BIM para la toma de decisiones importantes
- Utiliza Modelos BIM para presentar Diseños Técnicos de terceros
- Utiliza Modelos BIM para presentar Diseños Técnicos propios
- No usuario de Modelos BIM
- Otros: _____

9. ¿En los proyectos en donde ha participado directamente cuales etapas se desarrollaron mediante de Modelos BIM?* (Selección múltiple. Selecciona todas las opciones que correspondan)

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Diseño | <input type="checkbox"/> Operación |
| <input type="checkbox"/> Comercial y ventas | <input type="checkbox"/> Mantenimiento |
| <input type="checkbox"/> Provisionales de construcción | <input type="checkbox"/> Ninguna de las anteriores |
| <input type="checkbox"/> Construcción | <input type="checkbox"/> Otros: _____ |
| <input type="checkbox"/> Entrega y postventas | |

10. ¿Cuáles de los siguientes diseños técnicos se incluyen en los Modelos BIM en los proyectos en donde ha participado?* (Selección múltiple. Selecciona todas las opciones que correspondan)

- Arquitectónico
- Estructural
- Eléctrico, incluye sonido, voz, datos, seguridad y control
- Hidrosanitario, incluye redes contra incendio y gas
- Instalaciones mecánicas, incluye aire acondicionado y transporte V/H
- Bioclimáticos
- Provisionales y logística de construcción
- Operación y mantenimiento
- Ninguna de las anteriores
- Otros: _____

11. ¿Del siguiente listado de Software BIM cuales ha conocido y cuales ha utilizado?* (Selección múltiple. Marca solo un óvalo por fila)

	Conoce	Utiliza	No conoce
Allplan de Nemetschek	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Arrip de Sigma Desing	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Revit de Autodesk	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vectorworks de Nemetschek	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
YouBIM	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Archicad de Graphisoft	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Edificius de Acca	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SDS/2 de Design Data	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Strucad de Acecad	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
AECOSim de Bentley	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Vico software	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Catia de Dassault Systèmes Digital Project Gehry	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Technologies	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
iTWO de RIP	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Seokyoung System	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
RhinoBIM de Virtual Build Technologies	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Solibri	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
TEKLA BIMsight	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SketchUp	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
SolidWorks	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. ¿Cuáles son las ventajas que ha identificado al utilizar Modelos BIM?* (Selección múltiple.

Selecciona todas las opciones que correspondan)

- La calidad aumenta
- La rentabilidad aumenta
- Los riesgos disminuyen
- El tiempo de diseño disminuye
- El tiempo de construcción disminuye
- Las interferencias y reprocesos se disminuyen significativamente
- El trabajo colaborativo entre diseñadores técnicos se facilita
- El trabajo colaborativo entre los encargados de las etapas del proyecto se facilita
- Ninguna de las anteriores
- Otros: _____

13. ¿Cuáles son las principales barreras que ha identificado al adoptar la práctica de realizar Modelos BIM en los proyectos en los que ha participado?* (Selección múltiple. Selecciona todas las opciones que correspondan)

- BIM es complejo
- Los líderes de la organización no reconocen las ventajas de utilizar Modelos BIM
- Los cambios internos que debe realizar nuestra organización
- Los cambios que deben realizar nuestros proveedores externos
- El tiempo de aprendizaje
- El costo asociado al cambio de tecnología

- La incompatibilidad entre Software
- Ninguna de las anteriores
- Otros: _____

14. ¿Cuáles son los mayores costos asociados al cambio de tecnología que permite realizar directamente Modelos BIM?* (Selección múltiple. Selecciona todas las opciones que correspondan)

- El Equipo Informático
- El Software Licenciado
- La Capacitación formal
- El tiempo para convertirse en Usuario Avanzado
- Ninguna de las anteriores
- Otros: _____

15. ¿En los proyectos en donde ha participado, el desarrollo de Modelos BIM permitieron la toma decisiones importantes que incidieron significativamente en el resultado final del proyecto?* (Selección única. Marca solo un óvalo)

- Siempre
- Frecuentemente
- Algunas veces
- Casi nunca
- Nunca

16. ¿Cómo califica la importancia de las siguientes características del Software BIM en el resultado final de los proyectos en donde ha participado?*(Selección múltiple. Marca solo un óvalo por fila)

	Alta	Media	Baja	No califica
Las interfaces gráficas son amigables e intuitivas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite el desarrollo y la entrega integrada de proyectos (IPD) mediante el trabajo colaborativo entre diseñadores técnicos de las diferentes disciplinas	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Dispone de bibliotecas o clases predeterminadas de objetos de AEC/FM	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite actualizaciones automáticas del Modelo BIM y sus planes asociados al modificar cualquier objeto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite la introducción de objetos entre otros objetos del Modelo BIM	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite la identificación de interferencias entre objetos del Modelo BIM	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite la representación de los objetos del Modelo BIM de manera precisa	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite la representación de los objetos del Modelo BIM a diferentes niveles de desarrollo o detalle (LOD)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite la representación de los objetos del Modelo BIM en dos y tres dimensiones (2D) y (3D)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite la representación de los objetos del Modelo BIM asociados al cronograma (4D)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite la representación de los objetos del Modelo BIM asociados al presupuesto (5D)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite la representación de los objetos del Modelo BIM asociados al plan de operación y mantenimiento (6D)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Permite el análisis bioclimático del proyecto	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

19. ¿Considera que tarde o temprano los Modelos BIM serán una práctica generalizada en los proyectos de Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Administración de Inmuebles?*. Selección única. Marca solo un óvalo.

- Si No

20. ¿Alguna opinión adicional acerca del Software BIM? _____

El cuestionario incluyó 23 preguntas, de las cuales se publicaron 20 resultados, los numerales anteriores corresponden al orden presentado en el título sobre los resultados (página 88) de la encuesta del capítulo sobre la evaluación de alternativas. Al respecto, los resultados 17 y 18 son resultados indirectos y parte de la información personal por obvias razones no se publicó. El cuestionario electrónico permanece alojado en la siguiente dirección para su consulta.

https://docs.google.com/forms/d/1UGsL6wncoQBAwhSCFphFnMIJFqXw91FEXA3RV81GC_M/viewform

