



**UNIVERSIDAD
DE PIURA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Building Information Modeling (BIM) y su desarrollo en la
industria de la construcción**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

**Amy Sofia Arevalo Pizarro
José Ricardo Soto Arrieta**

**Asesor(es):
MSc. Ing. Luis Gerardo Chang Recavarren**

Piura, agosto de 2022



Dedico este proyecto, a mis papás, Francklin e Ivis, por su sacrificio y apoyo incondicional, por la libertad y la confianza que me brindaron desde el inicio y especialmente por su amor. A mis hermanas, Ana y Annel, por enseñarme cada día algo nuevo, por ser fuente de inspiración y superación. A mi papito Pepe, por creer siempre en mí y por sus palabras de aliento sobre perseverar. A Pepe, por ser un gran amigo y compañero, por la paciencia y la lucha constante que le puso a este proyecto. A mis amigos, por su tiempo, sus palabras de motivación y sus valiosos consejos.

Dedico esta investigación de todo corazón a mis padres, Elliot y Gertrudis, por todo el apoyo, paciencia y sobre todo tiempo que me brindaron. Les agradezco por la educación que me dieron, me formaron la persona que soy en la actualidad, la cual espero enorgullecer. A mis hermanos, Ale, Elliot y Sofía, por su alegría, locuras y buenos deseos brindados. A mis abuelas, Luja y Celia, por su bondad, amor y enseñanzas que siempre me brindaron. A mi compañera y amiga, Amy, por su sensatez y esfuerzos dedicados a la tesis. Y a Gianella, por ser una compañera de vida, ser parte de mi familia y por siempre creer en mí.

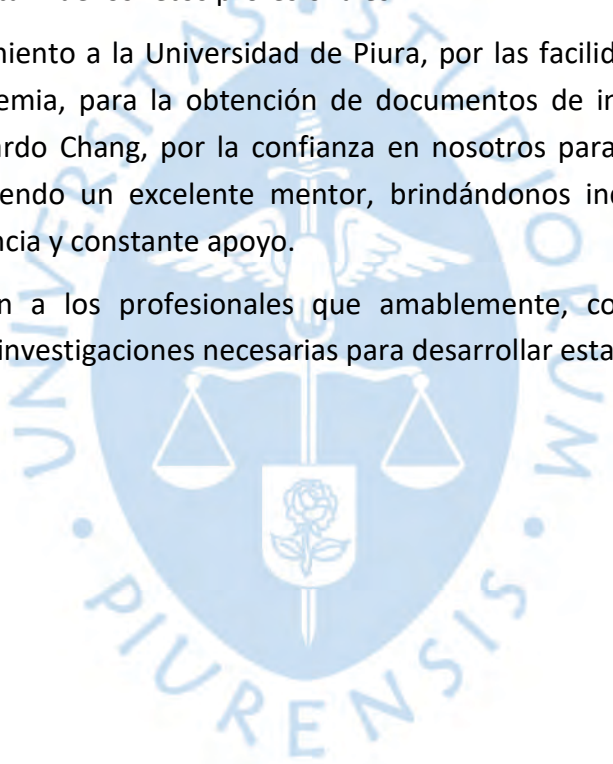


Agradecimientos

Agradecemos a Dios y a la Virgen María Auxiliadora, por guiarnos en el camino correcto, por sus dones de sabiduría y entendimiento. Por mantenernos con salud a nosotros y a nuestra familia en estos tiempos tan difíciles y por siempre brindarnos la inteligencia y fortaleza que se necesita para afrontar nuevos retos profesionales.

Un especial agradecimiento a la Universidad de Piura, por las facilidades brindadas en una época difícil de pandemia, para la obtención de documentos de investigación. A nuestro asesor MSc. Ing. Gerardo Chang, por la confianza en nosotros para realizar este proyecto juntos desde cero, siendo un excelente mentor, brindándonos indicaciones puntuales y certeras, por su paciencia y constante apoyo.

Agradecemos también a los profesionales que amablemente, contribuyeron de forma desinteresada con las investigaciones necesarias para desarrollar esta tesis.





Resumen

La industria de la construcción es uno de los sectores más grandes de la economía mundial pero el crecimiento global de su productividad ha sido solo del 1% anual durante las últimas dos décadas, una de las formas de solucionarlo es mediante el uso de BIM (McKinsey Global Institute, 2017). Su evolución en varias áreas de desarrollo y su adopción por diferentes organizaciones ha dejado como resultado una serie de definiciones que ocasionan confusión en los profesionales y no permite una exitosa adopción, asimismo en Perú, está en curso el plan de implementación que requerirá el uso de BIM obligatorio para el año 2030.

El presente trabajo tiene como objetivo proporcionar una referencia consolidada y actualizada sobre BIM. Para ello se realizó una revisión literaria que incluyó publicaciones académicas, actas de conferencia, libros; y publicaciones no académicas como guías, páginas web, videos, etc. La revisión constó de tres pasos fundamentales en cuanto a las publicaciones académicas: primero se identificó las bases de datos, estas fueron de acceso libre y tenían una amplia cobertura en los temas de ingeniería y tecnología de la construcción. Lo segundo fue la selección de las palabras claves (BIM application, BIM requirements, BIM development y BIM AEC). El último paso incluyó la recolección, almacenamiento y filtración de la información. El periodo de investigación fue entre los años 2010 y 2020.

El documento desarrollado expone la historia de BIM, presentado definiciones, así como ideas equivocadas que se tiene sobre este concepto y su diferencia con CAD. Se describen las plataformas y herramientas tecnológicas BIM más populares en el mercado y los diferentes métodos de intercambio de datos. Se incluye también las diferentes aplicaciones de BIM en distintas etapas de un proyecto, así como el desarrollo, implementación, y planes de implementación de BIM en varios países. Finalmente, se expone el proceso de adopción de BIM en el Perú.

La investigación concluyó que BIM es un concepto amplio que seguirá en constante evolución en distintas áreas de desarrollo. No se debe limitar el BIM solo al uso de un software, sino que se debe ver como un proceso colaborativo que abarca las etapas de diseño, construcción y mantenimiento, proporcionando un estándar de información abierto para todas las partes involucradas en un proyecto. En un futuro previsible, es probable que una gran parte de la industria de la construcción sea “consciente de BIM” y “competente en BIM”, sin la necesidad de ser un “experto en BIM”, debido al aumento de su uso en la construcción.



Tabla de contenido

Introducción	17
Capítulo 1 <i>Building Information Modeling</i>: origen y concepto.....	19
1.1 Historia de la metodología <i>Building Information Modeling</i>	19
1.1.1 Origen del CAD	19
1.1.2 Modelos en 3D.....	20
1.1.3 Un nuevo concepto llamado BIM.....	20
1.2 Definición BIM.....	21
1.2.1 Modeling o Management.....	24
1.2.2 ¿Qué no es BIM?.....	25
1.2.3 Definición del CAD y sus diferencias con BIM.....	25
1.3 Dimensiones de BIM	26
Capítulo 2 Plataformas y herramientas tecnológicas.....	29
2.1 Plataformas BIM.....	29
2.1.1 ¿Qué son los objetos paramétricos?.....	30
2.1.2 Objetos BIM.....	30
2.1.3 Definición de LOD (Level of Development)	31
2.1.3.1 Breve historia.	31
2.1.3.2 Definición.	32
2.1.4 Listado de plataformas BIM.....	38
2.1.4.1 Revit.	38
2.1.4.2 ArchiCAD.	41
2.1.4.3 AllPlan.	43
2.1.4.4 OpenBuilding Designer.	46

2.1.4.5 VectorWorks.	48
2.1.4.6 EDIFICIUS.	51
2.2 Herramientas BIM	56
2.2.1 Herramientas para BIM 3D.....	56
2.2.1.1 Herramientas para renderizado.....	56
2.2.1.2 Herramientas para el análisis estructural y de instalaciones MEP.....	57
2.2.1.3 Herramientas para visualizar y revisar modelos BIM.	58
2.2.1.4 Herramientas para detección de interferencias.....	58
2.2.2 Herramientas para BIM 4D-5D	59
2.2.2.1 Simuladores 4D-Planificación.	59
2.2.2.2 Simulación 5D-Estimación de costos.	60
2.2.3 Herramientas para BIM 6D-Eficiencia energética	60
2.2.4 Herramientas para BIM 7D-Facility management.....	61
2.2.5 Herramientas para modelado de obras civiles.....	62
Capítulo 3 Interoperabilidad y colaboración	65
3.1 Interoperabilidad.....	65
3.1.1 Industry Foundation Classes (IFC)	66
3.1.1.1 Usos y ventajas del IFC.....	67
3.1.1.2 Versiones y certificaciones.....	69
3.1.1.3 Formatos de IFC.	72
3.1.1.4 Estructuras del IFC.	73
3.1.2 CIS/2.....	73
3.1.3 COBie (Construction Operations Buildings Information Exchange).....	74
3.2 Entorno de Datos Comunes - Common Data Environment (CDE)	75
3.2.1 Procesos CDE	77
3.2.2 Soluciones CDE	78
Capítulo 4 Aplicaciones y proyección en BIM.....	79
4.1 BIM en el ciclo de vida de un proyecto	79
4.1.1 Detección de interferencias	79
4.1.2 Rendimiento energético	79

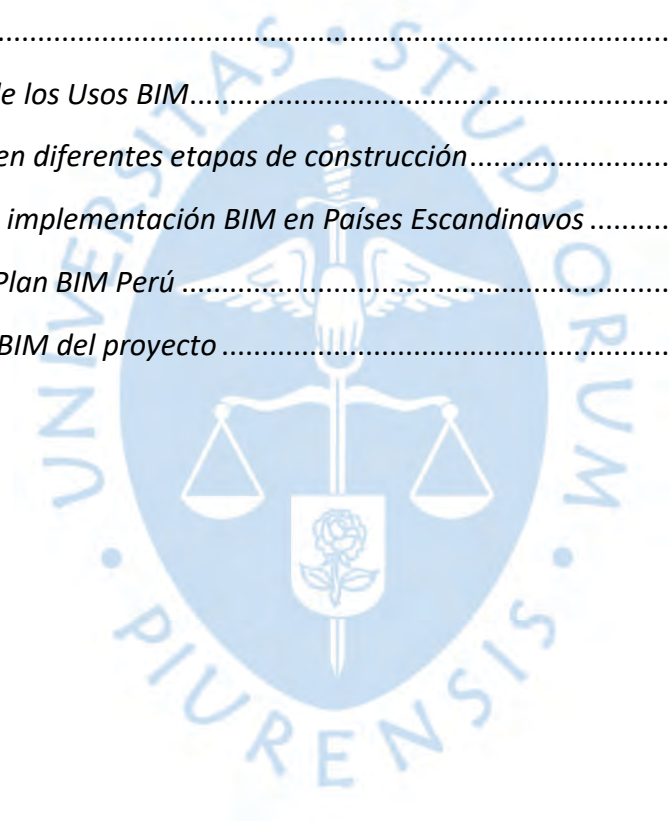
4.1.3 Gestión de proyectos-Programación de obra	80
4.1.4 Estimación de costos y presupuesto	81
4.1.5 Cadena de suministros	82
4.1.5.1 Consumo de materiales temporales.....	82
4.1.6 Gestión de residuos	82
4.1.6.1 Algunas aplicaciones.....	83
4.1.7 Gestión de seguridad.....	83
4.1.8 Operación y mantenimiento	85
4.1.9 Reconstrucción del proyecto.....	86
4.2 BIM en el sector de transportes.....	86
4.3 BIM para obras subterráneas.....	90
4.4 BIM en proyectos sostenibles	90
4.4.1 BIM en los tres aspectos de sostenibilidad	92
4.4.1.1 BIM en el aspecto social.	92
4.4.1.2 BIM en el aspecto económico.....	92
4.4.1.3 BIM en el aspecto ambiental.....	92
4.5 Casos de éxitos	94
4.6 Nuevas tecnologías en el uso de BIM.....	95
4.6.1 Impresión 3D	95
4.6.2 Realidad extendida	96
4.6.3 Geographical Information System (GIS)-Sistema de información geográfica (SIG) ...	98
4.6.3.1 Aplicaciones BIM-GIS en el ciclo de vida de un proyecto.....	99
4.6.3.2 Ventajas del uso de GIS con BIM.	100
4.6.3.3 Tendencias de desarrollo.....	100
4.6.4 Internet of things - Internet de las cosas (IoT)	101
4.6.4.1 Desarrollo con BIM.	101
4.6.4.2 Tendencias a futuro.	102
4.6.5 Desarrollo robótico.....	104
4.6.6 Smarts cities.....	105
Capítulo 5 Desarrollo e Implementación de BIM.....	109

5.1 Estándares BIM.....	109
5.1.1 ISO 19650.....	109
5.1.2 ISO 12006.....	110
5.2 Proceso de implementación.....	111
5.2.1 Usos BIM.....	111
5.2.2 Plan de ejecución BIM	115
5.2.3 Etapas de un proyecto con BIM.....	116
5.2.4 Roles BIM.....	117
5.2.5 Niveles de madurez	118
5.2.6 Beneficios con el uso de BIM.....	120
5.2.7 Soluciones a las barreras de implementación.....	120
5.3 Adopción BIM en el mundo.....	121
5.3.1 BIM en Estados Unidos.....	123
5.3.2 BIM en Reino Unido.....	124
5.3.3 BIM en los Países Escandinavos	125
5.3.4 BIM en Latinoamérica.....	125
5.3.4.1 BIM en Brasil.....	128
5.3.4.2 BIM en Chile.....	130
5.3.4.3 BIM en Colombia.....	132
5.4 Desarrollo de BIM en Perú	134
5.4.1 Aplicaciones BIM en Perú	137
5.4.1.1 Colegio de alto rendimiento de Ica.....	137
5.4.1.2 Nueva sede del Banco De la Nación.	140
5.4.1.3 Prefabricados en Perú.....	141
Conclusiones.....	143
Recomendaciones.....	145
Glosario.....	147
Referencias bibliográficas	149

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Conceptos equivocados sobre BIM</i>	25
Tabla 2 <i>Diferencias entre BIM y CAD</i>	26
Tabla 3 <i>Definición de los niveles de desarrollo</i>	34
Tabla 4 <i>Representación de los niveles de desarrollo</i>	36
Tabla 5 <i>Fortalezas y debilidades de Revit</i>	39
Tabla 6 <i>Requerimientos de hardware para obtener Revit</i>	40
Tabla 7 <i>Fortalezas y debilidades de ArchiCAD</i>	42
Tabla 8 <i>Requerimientos de hardware para obtener ArchiCAD</i>	43
Tabla 9 <i>Fortalezas y Debilidades de Allplan</i>	45
Tabla 10 <i>Requerimientos de hardware para obtener Allplan</i>	45
Tabla 11 <i>Fortalezas y Debilidades de OpenBuilding Designer</i>	47
Tabla 12 <i>Requerimientos de hardware de OpenBuilding Designer</i>	48
Tabla 13 <i>Fortalezas y Debilidades de VectorWorks</i>	49
Tabla 14 <i>Requerimientos de hardware para obtener VectorWorks</i>	50
Tabla 15 <i>Fortalezas y Debilidades de Edificius</i>	52
Tabla 16 <i>Requerimientos de hardware para obtener Edificius</i>	52
Tabla 17 <i>Otras plataformas BIM</i>	53
Tabla 18 <i>Comparación de Plataformas BIM</i>	54
Tabla 19 <i>Softwares para renderizar modelos BIM</i>	56
Tabla 20 <i>Softwares para análisis estructural y MEP</i>	57
Tabla 21 <i>Softwares para visualizar modelos BIM</i>	58
Tabla 22 <i>Softwares para la detección de interferencias en modelos BIM</i>	58
Tabla 23 <i>Softwares BIM 4D</i>	59

Tabla 24 <i>Softwares BIM 5D</i>	60
Tabla 25 <i>Softwares BIM 6D</i>	61
Tabla 26 <i>Softwares BIM 7D</i>	62
Tabla 27 <i>Softwares BIM para obras civiles</i>	62
Tabla 28 <i>Otras herramientas BIM</i>	63
Tabla 29 <i>Formatos de Industry Foundation Classes</i>	73
Tabla 30 <i>Software que proveen un entorno común de datos</i>	78
Tabla 31 <i>Casos de éxito con la aplicación de BIM</i>	94
Tabla 32 <i>Flujo de trabajo entre BIM con Realidad Virtual y Realidad Mixta en el Proyecto de hábitat NASA-Mars</i>	97
Tabla 33 <i>Objetivos de los Usos BIM</i>	112
Tabla 34 <i>Beneficios en diferentes etapas de construcción</i>	120
Tabla 35 <i>Adopción e implementación BIM en Países Escandinavos</i>	126
Tabla 36 <i>Metas del Plan BIM Perú</i>	134
Tabla 37 <i>Desarrollo BIM del proyecto</i>	139



Lista de figuras

Figura 1. Representación de un dibujo en 2D.....	20
Figura 2. Línea de tiempo de la historia de BIM.....	22
Figura 3. Ciclo de vida de un modelo BIM.....	23
Figura 4. Dimensiones de BIM.....	28
Figura 5. Comparación de la variedad de sistema LOx de varias guías en distintos países.....	33
Figura 6. Interfaz de Revit.....	39
Figura 7. Interfaz de ArchiCAD.....	42
Figura 8. Interfaz de Allplan.....	44
Figura 9. Interfaz de OpenBuilding Designer.....	47
Figura 10. Interfaz de VectorWorks.....	49
Figura 11. Interfaz de Edificius.....	52
Figura 12. Modelo vial 3D generado por Infracworks.....	69
Figura 13. Notación de las versiones IFC.....	70
Figura 14. Esquema IFC y MVD.....	71
Figura 15. Significado de la notación de certificación.....	72
Figura 16. Ejemplo de hoja de cálculo tipo COBie.....	74
Figura 17. Diferencia entre los esquemas de los stakeholders con y sin CDE.....	76
Figura 18. Procesos en un CDE.....	77
Figura 19. Desarrollo de la gestión de residuos en Naviswork.....	83
Figura 20. Configuración del entorno de simulación y la asignación de agentes.....	84
Figura 21. Ilustraciones de los escenarios de simulación.....	85
Figura 22. Resultados del análisis del riesgo de asentamiento de la superficie tras la construcción de la alcantarilla, en el entorno de visualización SketchUp.....	91

Figura 23. <i>Comparación de la evolución de GIS, BIM y su integración BIM-GIS</i>	99
Figura 24. <i>Integración de la nube con IoT</i>	103
Figura 25. <i>Desarrollo a futuro de BIM</i>	107
Figura 26. <i>Normas ISO ligadas a BIM en el mundo</i>	109
Figura 27. <i>Partes ISO 19650</i>	110
Figura 28. <i>Sistemas de clasificación basados en la ISO 12006</i>	111
Figura 29. <i>Guías y estándares BIM en el mundo</i>	111
Figura 30. <i>Usos BIM</i>	114
Figura 31. <i>Etapas BIM</i>	116
Figura 32. <i>Roles BIM</i>	117
Figura 33. <i>Niveles de Madurez BIM</i>	119
Figura 34. <i>Adopción Global BIM</i>	122
Figura 35. <i>Niveles de adopción BIM en Norte América</i>	123
Figura 36. <i>Porcentaje de adopción BIM a través de los años en Reino Unido</i>	125
Figura 37. <i>Programas Nacionales de los países de la RED BIM GOB LATAM</i>	127
Figura 38. <i>Fechas de la Estrategia Nacional BIM por cada país</i>	127
Figura 39. <i>Metas BIM por cada país</i>	128
Figura 40. <i>Comparación del porcentaje de enseñanza de BIM en Chile en 2016 y 2020</i>	131
Figura 41. <i>Niveles de adopción BIM a través de los años en Chile</i>	131
Figura 42. <i>Porcentaje de aplicación de mejores prácticas en Colombia frente a los resultados internacionales</i>	132
Figura 43. <i>Pilares de la Estrategia BIM en Colombia</i>	133
Figura 44. <i>Líneas Estratégicas del Plan BIM Perú</i>	135
Figura 45. <i>Incorporación de BIM en instituciones privadas peruanas</i>	137
Figura 46. <i>Incorporación de BIM en instituciones públicas peruanas</i>	137
Figura 47. <i>Proyecto real y modelo 3D</i>	138
Figura 48. <i>Proceso de elaboración y revisión del expediente técnico</i>	139
Figura 49. <i>Proyecto real y modelo 3D</i>	140
Figura 50. <i>Resultados de Interferencias obtenidas en fase de diseño y ejecución</i>	141
Figura 51. <i>Modelado 3D de acero del puente Nanay</i>	142

Introducción

Building information modeling (BIM), ha sido un término usado en la industria AEC por más de una década. Al ser una tecnología revolucionaria, ha atraído cada vez más la atención de investigadores y profesionales en el campo de la ingeniería y arquitectura. Se han publicado varios estudios de casos que muestran implementaciones BIM útiles en proyectos de construcción reales, convirtiéndose en un referente para el desarrollo de mejora en la ejecución de proyectos, donde muchos profesionales han reconocido los beneficios potenciales de esta nueva tecnología, como Sacks et al., Hardin & McCool, Pramod Reddy, etc.

En ocasiones BIM ha hecho referencia solo al uso de herramientas tecnológicas, cuando su principal propósito es otro. Asimismo, sus beneficios se han visto distorsionados por los retos que implica su implementación. Algunos profesionales del sector han tenido experiencias decepcionantes luego de intentar adoptar BIM ya que sus esfuerzos y expectativas estaban basadas en conceptos erróneos y una planificación inadecuada (Sacks et al., 2018).

Su adopción internacional por distintos países y organizaciones y su constante evolución en nuevas áreas de conocimiento ha dejado como resultado una gran variedad de definiciones que se presentan en los textos académicos, páginas web, etc. Lamentablemente, se ha generado en muchas oportunidades, confusiones de lo que verdaderamente implica el uso de BIM.

A partir de la revisión de la investigación en este tema, se observa que la utilización de BIM en la industria de la construcción puede ayudar a los profesionales a mejorar la visualización, comunicación e integración en las operaciones de construcción. Sin embargo, algunos profesionales aun dudan en adoptar estas herramientas innovadoras, debido a sus diversos conceptos.

El extraordinario y progresivo incremento en el número de publicaciones científicas sobre BIM, ha planteado desde hace ya algún tiempo la necesidad de realizar revisiones sistemáticas en un intento de sintetizar los resultados alcanzados en relación con este tema. Los diversos estudios muestran la necesidad de dar una guía sobre el concepto y desarrollo de BIM, debidamente sustentada para evitar transmitir conceptos erróneos y diversos.

Teniendo en cuenta, que cada cierto tiempo surge nueva información sobre BIM que no se encuentra consolidada, el presente trabajo busca sintetizar el conocimiento de BIM hasta la actualidad, intentando cubrir aquellos vacíos que otras investigaciones no abordan, de una manera sencilla y concisa.

Este trabajo de investigación nace con el objetivo de proporcionar una referencia general pero bien consolidada sobre BIM. Existen muchas percepciones erróneas y verdades entorno a BIM, esta revisión busca identificar estas verdades y eliminar aquellas ideas falsas para ayudar a su implementación exitosa.

Se introducen las plataformas tecnológicas relacionadas y sus formatos de intercambio de información. Se discuten sus beneficios potenciales y se explica la variedad de aplicaciones de BIM. Del mismo modo, se expone cómo se ha ido desarrollando BIM en los países y la normativa en la que se basa.

BIM representa un cambio de paradigma y que seguirá evolucionando. Este cambio tendrá consecuencias y muchos beneficios no solo para el sector de la construcción, sino para la sociedad en general.



Capítulo 1

Building Information Modeling: origen y concepto

1.1 Historia de la metodología *Building Information Modeling*

1.1.1 Origen del CAD

Según Barnes & Davies (2015), para entender cómo nació BIM, es necesario conocer cómo se originó "*Computer Aided Design*" o comúnmente conocido como CAD.

CAD nace entre los años 1950 y 1960, con algunas de las industrias más grandes de fabricación que podían permitirse tener una unidad central de informática, algo muy raro que ocurriera en esos tiempos. Estas organizaciones creaban su propio software para producir sus dibujos 2D en computadora y el retorno de dicha inversión se veía plasmado en el tiempo ahorrado comparado con hacer los mismos dibujos a mano (manera tradicional) (Barnes & Davies, BIM in Principle and in Practice, 2015).

Conforme pasó el tiempo, se fue incrementado el uso de CAD y en consecuencia hubo un desarrollo del software en el que estaba basado, el cuál llegó a evolucionar a tal punto que permitió que los productos se pudieran fabricar directamente desde la computadora sin pasar por ninguna etapa posterior de preproducción. Sin embargo, CAD se siguió utilizando principalmente para realizar dibujos en 2D (Barnes & Davies, BIM in Principle and in Practice, 2015).

El primer software CAD se desarrolló durante los años 1960 y a principios de los 1970s. Su uso se volvió más accesible en las computadoras pequeñas porque el proceso era más económico, sin embargo, el costo del uso del CAD seguía siendo relativamente alto y en muchos casos hasta se llegó a prohibir. A finales de la década de los setenta, la industria del CAD tuvo un crecimiento rápido y a eso se le sumó el incremento en la disponibilidad en mejorar y disminuir el costo de la tecnología hardware junto a los avances en el desarrollo del software (Barnes & Davies, BIM in Principle and in Practice, 2015).

La evolución del CAD siguió incrementando durante la década de 1980 debido a la llegada de miniestaciones de computadoras mucho más baratas, y luego por el incremento del uso de computadoras personales (PC), este último factor fue determinante en el

crecimiento de CAD (Barnes & Davies, *BIM in Principle and in Practice*, 2015). La figura 1 muestra una representación de un dibujo en 2D.

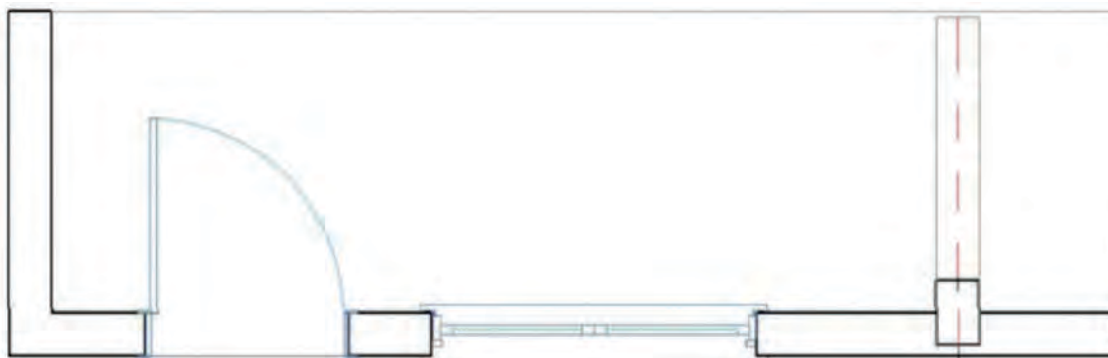


Figura 1. *Representación de un dibujo en 2D*

Fuente: Adaptado de *Building Information Models and Model Views* (p.20), por R. See, 2007, *Journal of Building Information Modeling*.

1.1.2 Modelos en 3D

El siguiente paso fue la transición de los dibujos en 2D al modelado en 3D, el cual se vio obstaculizado principalmente por la dificultad en la representación matemática de objetos y superficies en la computadora con el fin de que fuera reconocidos por el software. Fue con el desarrollo de una versión electrónica de “*splines*¹” y “*lofting*²” que se utilizó en los sistemas CAD para lograr el modelado en 3D, a diferencia de las líneas rectas y las formas cónicas, las superficies de la mayoría de los productos manufacturados son en realidad el resultado de una fórmula matemática enormemente compleja, y era el problema que el software necesitaba resolver (Barnes & Davies, *BIM in Principle and in Practice*, 2015).

1.1.3 Un nuevo concepto llamado BIM

Aunque existen varios puntos de vista de cómo se originó el concepto de BIM, se presentan a continuación algunos acontecimientos importantes:

En 1975, Chuck Eastman publicó un artículo en la revista *AIA (American Institute of Architects)* describiendo un concepto al que llamó *Building Description System (BDS)*, un sistema donde diseñar implicaba definir elementos de manera interactiva, esto significaba que sería posible obtener secciones, plantas, isométricos desde un mismo modelo 3D y cualquier cambio que se hiciese en alguno de los dibujos, se iba a actualizar automáticamente en el resto de las vistas (Sacks et al., 2018).

Además, comentó que BDS actuaría como un coordinador y analista de diseño, y se podía concebir como un soporte para la construcción automatizada. Finalmente, los contratistas de grandes proyectos podían encontrar esta representación como una ventaja

¹ *Splines* es una curva que conecta puntos particulares (Cambridge Dictionary, s.f.).

² *Lofting* es una técnica utilizada en programas de modelado 3D (Autodesk Help, 2017).

para planificar y hacer órdenes de compras (Sacks et al., 2018). Este hecho llevo a considerar a Chuck Eastman como el padre del BIM al ser el primero en difundir el concepto BDS, como un sinónimo de BIM (Villa, 2017).

Años más tarde, en los inicios del desarrollo de los primeros productos de softwares para el diseño de edificios, se propone el concepto "*Computer Modeling for Buildings*" (Bijl y Shawcross, 1975; Eastman, 1975; Yaski, 1981, citado por Sacks et al., 2018).

En ese mismo sentido, aparecen una serie de términos similares: Jerry Laiserin de la empresa Graphisoft con "*Virtual Modeling*", la compañía Bentley Systems también se suma con el concepto "*Integrated Project Models*" pero fue Phil Bernestin, que para promover el programa Vectorworks, introdujo el acrónimo BIM para referirse a *Building Information Modeling* (Phiri, 2016).

En 1989, Paul Teicholz hizo alrededor de 92 predicciones acerca de las tendencias de tecnología y su impacto en la industria de AEC. En una de ellas hace referencia al concepto de BIM señalando que el resultado de la etapa de diseño detallado será una base de datos gráfica 3D con los datos acerca de la estructura como material, tamaño, peso, etc. y la base de conocimientos como las especificaciones, con esa afirmación describe alguno de los aspectos más importantes de BIM (Sacks et al., 2018).

Aunque se desarrolló varios softwares, el progreso de BIM se vio restringido primero por el costo del poder computacional y luego por la gran acogida que tuvo CAD. Aun así, los intentos por hacer practico el BIM no cesaron, y es así como en la década de los 90 se desarrollan las bases para el modelado de edificios. El modelado paramétrico 3D se desarrolló tanto en investigación como en software para sectores específicos del mercado como el de acero estructural (Sacks et al., 2018).

El término se hizo popular y se comenzó a utilizar cuando Autodesk compra la compañía texana *Revit Technology Corporation* en el año 2002 (Xu, 2017). Desde entonces, han ido apareciendo más plataformas tecnológicas para distintos objetivos y conveniencias del usuario.

La transición de CAD a BIM no es un proceso natural sino un cambio de paradigma del dibujo al modelado y se evidencia además que el concepto de BIM se formuló y se entendió hace 15 años, antes de que el hardware y software permitieran implementarlo (Sacks et al., 2018).

En la figura 2 se resume la historia de BIM donde se resaltan los eventos más importantes.

1.2 Definición BIM

El acrónimo BIM en inglés significa *Building Information Modeling*, aunque algunas veces se le menciona como *Building Information Management* (Barnes & Davies, BIM in

Principle and in Practice, 2015). Su creciente desarrollo en la industria AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción), ha generado múltiples definiciones que aparecen en varias publicaciones académicas, por tanto, brindar una definición única se vuelve una tarea compleja (Phiri, 2016).

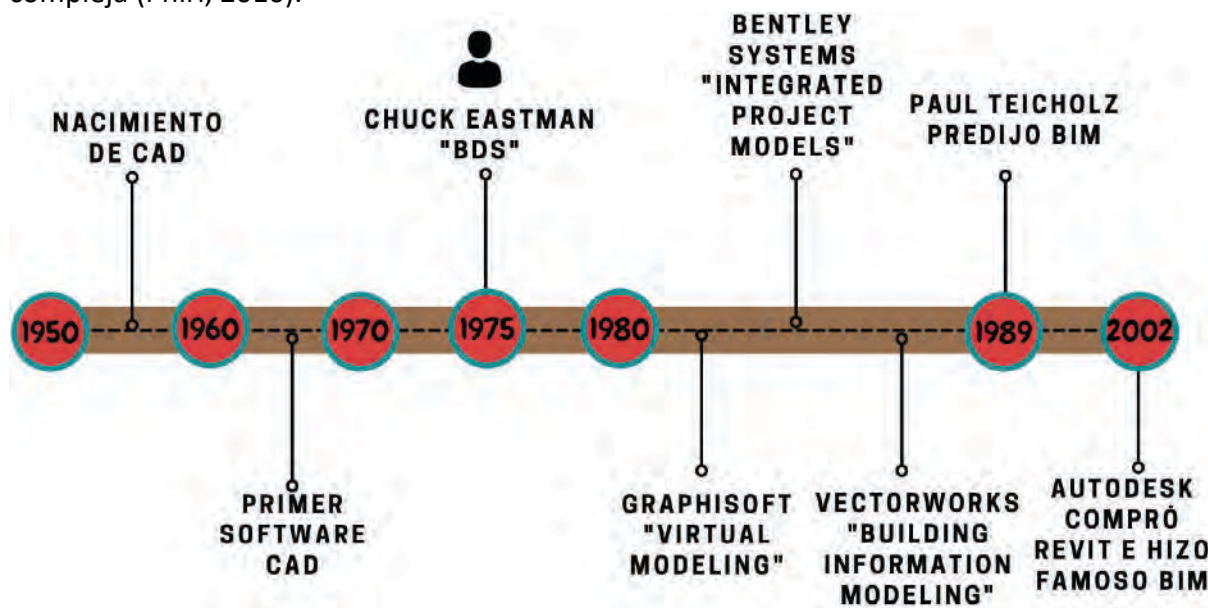


Figura 2. Línea de tiempo de la historia de BIM

A pesar de ello, se han recogido una serie de definiciones de autores y organizaciones relevantes en la adopción de BIM, con el propósito de brindar un alcance del significado del término.

Según Barnes & Davies (2015), BIM es un proceso basado en un modelo virtual computarizado en 3D de un objeto construido, que es capaz de reaccionar en el mundo "virtual" de la misma manera que un objeto construido físicamente reaccionaría cuando se construye realmente.

En ese mismo sentido, Phiri (2016) menciona que BIM es un proceso de gestión y generación de características digitales de un edificio para producir modelos BIM, los cuales se convierten en un recurso compartido con todas las partes interesadas para mejorar en la toma de decisiones en todo el ciclo de vida del proyecto, desde la concepción del diseño, la construcción, mantenimiento y finalmente demolición. En la figura 3 se representa el ciclo de vida de BIM.

En esa misma línea, el plan BIM de Reino Unido, por medio del NBS (*National Building Specification*), menciona que BIM es un proceso para crear y administrar información acerca de un proyecto de construcción en todo su ciclo de vida. En este proceso, se realiza una descripción digital coordinada de todos los aspectos de un objeto construido utilizando un conjunto apropiado de técnicas. Esta descripción digital puede contener una combinación de modelos 3D ricos en información y datos estructurados relacionados, como información sobre el producto, la ejecución y la entrega (Hamil, NBS, 2021).

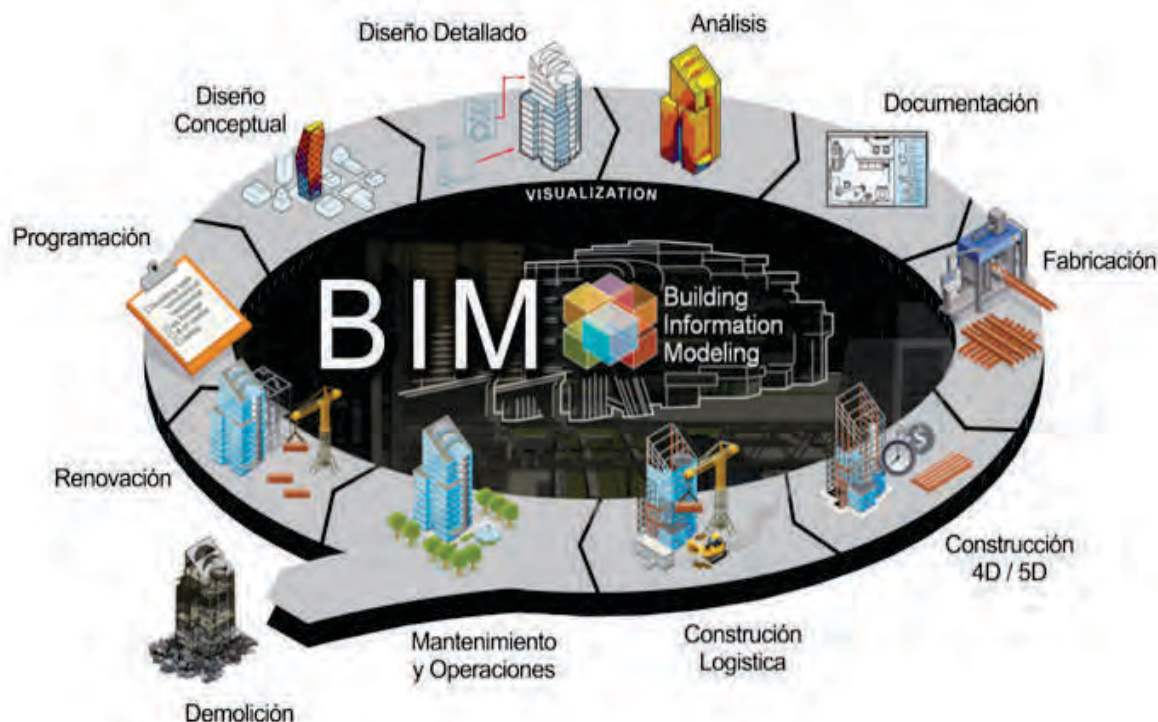


Figura 3. Ciclo de vida de un modelo BIM

Fuente: Adaptado de *¿Qué es BIM?*, por DCVconsultores, 2017, DCVconsultores (<https://www.dcvconsultores.com/que-es-bim/>).

Por otro lado, la organización buildingSMART, define a BIM como una metodología de trabajo colaborativo para la gestión y creación de proyectos de construcción. Además, BIM es la evolución de los sistemas de diseño tradicionales basados en planos, debido a que incorpora información geométrica (3D), de tiempos (4D), de costos (5D), de sostenibilidad (6D) y de mantenimiento (7D) (buildingSMART-España, 2016).

Otro punto de vista lo da el Comité de Proyectos del Estándar Nacional BIM-Estados Unidos (NBIMS-US) el cual define a BIM como una representación digital de las características funcionales y físicas de un proyecto. BIM es un recurso de conocimiento compartido para conseguir información sobre una instalación que forma una base confiable para la toma de decisiones durante su ciclo de vida (NBIMS-US, 2016).

Asimismo, en el 2011, Eastman afirma que BIM incluye la generación, almacenamiento y gestión de la información digital de todos los objetos y elementos de un edificio o estructura a lo largo de su vida (Sacks et al., 2018).

En cambio, el Plan BIM Chile (s.f.), basa su definición en la desarrollada por Bilal Succar y menciona que BIM es el un conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual.

Por el contrario, para Fischer & Kunz (2020), BIM es una de las herramientas de apoyo de la metodología de gestión colaborativa llamada VDC (*Virtual Design Construction*), la cual facilita la colaboración entre diseño, construcción y operación, logrando los objetivos del cliente y de la empresa, en función a sus métricas de rendimiento.

Finalmente, existen autores que no definen a BIM explícitamente, sino explican cuál es su objetivo, tal como Preidel & Borrmann (2015), quien sostiene que BIM ayuda a todas las partes implicadas a entender, participar, comunicarse y colaborar entre sí para obtener un resultado de alta calidad en todas las fases de un proyecto.

Como se aprecia, BIM ha sido definido de formas distintas, ya sea como metodología, proceso, herramienta, conjunto o representación digital, Independientemente de sus distintos enfoques, todas tienen cuatro puntos en común:

- BIM utiliza herramientas tecnológicas que le permiten crear modelos 3D parametrizados.
- BIM facilita la comunicación entre todos los participantes de un proyecto permitiendo el trabajo colaborativo.
- BIM está presente en todas las etapas de un proyecto.
- BIM integra todo lo anteriormente mencionado para lograr proyectos de mejor calidad.

1.2.1 Modeling o Management

BIM cuenta con muchas definiciones desde su creación, eso ha generado que su acrónimo tenga diferentes interpretaciones, pero las más comunes entre los artículos de investigación son: *Building Information Modeling* que su significado en español es Modelado de Información de Edificios y *Building Information Management* con su significado en español Gestión de la información de Edificios.

Algunos autores que utilizan el término *Management*, son Barnes & Davies (2019), McArthur (2015), Phiri (2016), Fazli, Fathi, Hadi, Fazli, & Fathi (2014), entre otros, quienes mencionan que el uso de BIM no se limita a un modelado en 3D del proyecto, sino a la gestión de activos o información paramétrica aprovechando estas propiedades para mejorar el proceso de construcción, siendo la palabra más adecuada "*Management*" por la utilidad de gestión de información y no "*Modeling*" debido a que BIM no solo es un modelo 3D.

Debemos considerar que el nombre más comercial, conocido y usado de BIM es *Building Information Modeling*, esta diferencia de acrónimos solo resalta la necesidad de una revisión de literatura que agrupe conceptos BIM para evitar desorientar al lector. Ambas terminologías son correctas, mientras se tenga claro cuál es la principal función de BIM.

1.2.2 ¿Qué no es BIM?

Por lo general, el público que desconoce o recién se está familiarizando con BIM, relaciona este término con el uso de un software para el modelado o a la visualización 3D de planos. En muchas ocasiones, se tiende a relacionar a BIM con Revit, el cual es un software de modelado 3D. Esto no es del todo equivocado, ya que BIM se emplea en un entorno computarizado que utiliza geometría tridimensional que contiene datos inteligentes o parametrizados, y que permiten cambios conforme se desarrolle el proyecto, por ende, BIM si genera un modelo virtual mediante softwares como Revit o ArchiCAD, pero no es su único enfoque (Lévy & Ouellette, 2019).

Para comprender mejor la definición de BIM se mencionan algunas ideas equivocadas de lo que es, teniendo en cuenta lo mencionado (Lévy & Ouellette, 2019). En la tabla 1 mencionamos que no es BIM y cuál es su correcta interpretación.

Tabla 1

Conceptos equivocados sobre BIM

Idea equivocada	Interpretación correcta
	BIM se apoya del uso software para optimizar el tiempo de trabajo y aumentar la participación de los interesados en un proyecto. No se debe confundir con el uso de una herramienta con el verdadero comportamiento de BIM.
BIM es un visualizador 3D de infraestructuras o un modelo 3D	La capacidad de visualizar o diseñar un modelo, es netamente del software, y como se menciona anteriormente, BIM se apoya en ellos, para el desarrollo de este.
BIM es Revit	Existe una relación entre BIM y Revit de Autodesk. Pero está afirmación viene siendo un grave error ya que Revit, es una plataforma que permite el desarrollo de BIM, y BIM se apoya de esta. Es el mismo error que compararlo a BIM con el uso de un software.
BIM es un nuevo requerimiento de obras	En la actualidad, se cree que los nuevos requisitos que se vienen empleando en la contratación de obras públicas o privadas, implica BIM. No obstante, BIM no es un método de contratación, ni de ejecución, ni de mantenimiento, se solicita su uso por los beneficios que genera.
BIM solo es una nueva forma de trabajo	BIM es más que un método de trabajo, ya que tiene dos aspectos esenciales, la generación de modelos 3D y el uso de datos para comunicar todas las partes interesadas de un proyecto en todo su ciclo de vida.

1.2.3 Definición del CAD y sus diferencias con BIM

Para una mejor comprensión de la transición de CAD hacia BIM, se hará una comparación de lo que implica cada concepto (ver tabla 2):

Tabla 2*Diferencias entre BIM y CAD*

BIM (Building Information Modeling)	CAD (Computer Aided Design)
BIM es el conjunto de metodologías, tecnologías y estándares que permiten diseñar, construir y operar una edificación o infraestructura de forma colaborativa en un espacio virtual (Plan BIM Chile, s.f.).	Es el uso de programas de computadoras para crear representaciones gráficas de objetos físicos, en 2D o 3D (Siemens, s.f.).
Ejemplos de softwares en las que se apoya BIM: Revit, ArchiCAD, etc. (Sacks et al., 2018).	Ejemplo de softwares CAD: AutoCAD (Aouad et al., 2012)
Las modificaciones están automatizadas en un modelo BIM, si se cambia algo en algún plano o vista del modelo, inmediatamente ese cambio aparece en el resto de las vistas y secciones, reduciendo tiempos, eliminado el retrabajo y minimizando errores (Sacks et al., 2018).	En caso de corregir algún detalle en uno de los planos, este debe modificarse manualmente en cada uno de los planos, no es un proceso automatizado (Aouad et al., 2012).
Permite hacer un seguimiento durante todo el ciclo de vida de un proyecto, el modelo utilizado para las fases de diseño y construcción sirve para el seguimiento en las fases de operación y mantenimiento (Sacks et al., 2018).	Los softwares CAD se utilizan para las etapas de diseño y documentación técnica (Autodesk, s.f.)
Los modelos 3D contienen información gráfica y no gráfica, están compuestos de objetos paramétricos (Sacks et al., 2018).	Los programas CAD imitan los procesos antiguos donde los dibujos se hacían con lápiz y papel, solo que, en menor tiempo y mayor precisión, sin embargo, sus objetos no contienen ninguna información, son solo líneas, tramas y arcos para dibujos 2D y esferas, primas o cilindros para dibujos 3D (Aouad et al., 2012).

1.3 Dimensiones de BIM

Se mencionó que uno de los puntos importantes de BIM, es su desarrollo a lo largo de todo el ciclo de vida de cualquier proyecto, generando distintas fases que en BIM se conocen como dimensiones, dando inicio por un concepto (idea) y finalizando con la demolición del edificio. Estas dimensiones seccionan al proyecto en etapas que están inmersas en una dinámica de trabajo, siendo importante la coordinación de equipo en las distintas especialidades, evitando interpretaciones incorrectas y omisiones de información, retrasos e incompatibilidades entre disciplinas (Sampaio & Berdeja, 2017).

El modelo BIM cuenta con las siguientes dimensiones o nD:

- Modelo BIM 3D (Representación), representa el conjunto 3D de objetos paramétricos para todas las especialidades del proyecto (arquitectura, estructuras, sanitarias, eléctricas, etc.) que se visualiza a partir del desarrollo de un plano en los diferentes softwares. Además, permite incorporar información o datos al modelo, como su geometría, estructura de componentes, propiedades físicas de los materiales, texturas e identificar cada elemento. Es la base de todo proyecto BIM (Sacks et al., 2018).
- Modelo BIM 4D (Control de Planificación), en esta dimensión se permite la simulación visual del proceso de construcción. Requiere de una planificación previa de las actividades de trabajo que debe ser asociada a un modelo 3D generado. La visualización de la secuencia de actividades posibilita identificar errores que producirían sobretiempos, tener un mayor control cronológico para el suministro de materiales, así como reconocer posibles problemas de seguridad en obra (Sampaio & Berdeja, 2017).
- El modelo BIM 5D (Control de Costos), en esta dimensión se relaciona los costos del proyecto con respecto a la planificación realizada en la anterior etapa permitiendo estimación de costos y cantidades de materiales en las diferentes etapas del proyecto. Los costos del proyecto están relacionados al modelo 3D, al encontrarse sincronizados el modelo con la planificación y costos, un cambio sencillo se verá reflejado en el costo del proyecto (Sacks et al., 2018).
- El modelo BIM 6D (Sostenibilidad), es la dimensión post-construcción, donde se evalúa la implementación de energía y los estudios de sostenibilidad. Permite la estimación de consumo de energético de la construcción y el seguimiento, medición y verificación posteriores de consumo durante la ocupación del edificio (Sacks et al., 2018).
- El modelo BIM 7D (Gestión de Operaciones), en esta dimensión es donde se introduce el termino Facility Management, en el cual se considera la gestión y mantenimiento del edificio a lo largo del post-período de ocupación. En esta dimensión hay un control de la información del estado del proyecto, un control logístico y un control del mantenimiento (Sampaio & Berdeja, 2017).

Kamardeen (2010), afirma que el número de dimensiones aún se encuentran en aumento conforme pasa el tiempo. Existen propuestas de tres nuevas dimensiones, siendo ellas:

- El modelo BIM 8D (Seguridad y Salud), en esta dimensión se busca la prevención de accidentes por medio del diseño (Kamardeen, 2010).
- El modelo BIM 9D (*Lean Construction*), abarca la integración de la filosofía Lean Construction con BIM como parte de la estructura productiva en el sector de la construcción y el uso de la digitalización (Hassan, 2017).

- El modelo BIM 10D (Industrialización de la construcción), se refiere al beneficio de lograr la industrialización, buscando mejorar la productividad de cada fase del ciclo de vida de la construcción: diseño, implementación y gestión de la infraestructura o equipamiento (Hassan, 2017).

Pérez Arnal (2018) apoya estas nuevas dimensiones, mencionando que estas tienen como objetivo en común la décima dimensión, transformando la construcción en un sector más productivo. En la figura 4 se representa las nD.

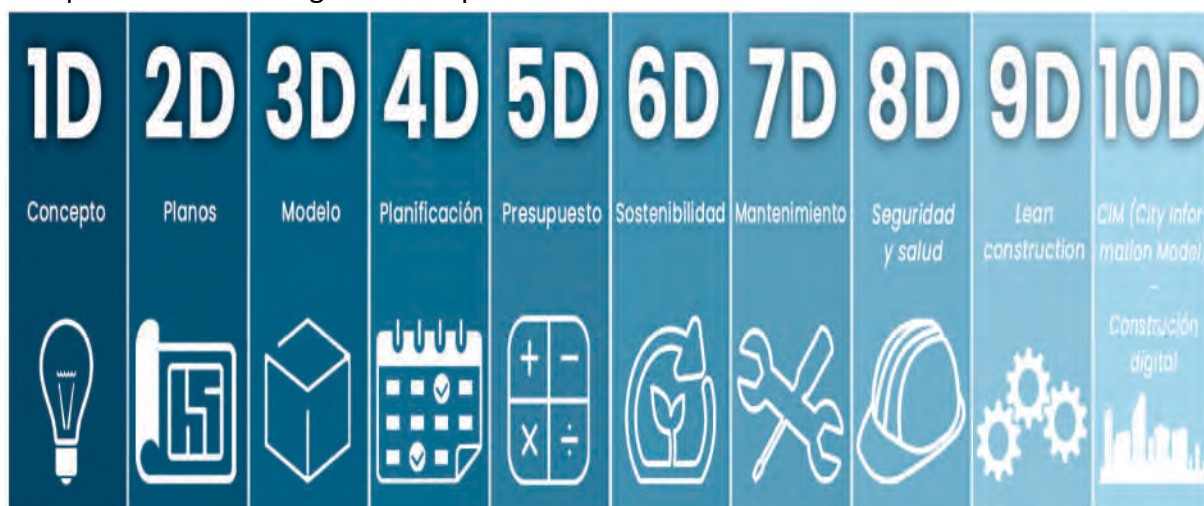


Figura 4. Dimensiones de BIM

Fuente: Adaptado de *Píldoras de Revit*, por S. Moret, 2020, LinkedIn (<https://cutt.ly/NGfsaFP>).

Capítulo 2

Plataformas y herramientas tecnológicas

Este capítulo tiene como propósito hacer una recopilación de las plataformas y herramientas BIM más conocidas que existen en el mercado, describiendo sus características más resaltantes junto a los requisitos del hardware que permitirán obtener cualquiera de ellas, asimismo se ha introducido el término LOD o nivel de desarrollo, un concepto muy importante de los modelos BIM.

2.1 Plataformas BIM

Una plataforma BIM según Sacks et al. (2018), es el núcleo donde se genera toda la información BIM y tiene funciones para mantener la integridad del modelo basado en objetos paramétricos.

Tiene gran capacidad de interoperabilidad y típicamente incorpora interfaces con múltiples herramientas BIM en varios niveles de integración como herramientas de renderizado, producción de dibujo y detección de interferencias. En resumen, una plataforma BIM es aquel software cuyo fin es el modelado paramétrico 3D, en donde los elementos que lo conforman se relacionan entre todos permitiendo la coordinación y gestión de cambios. Estas relaciones pueden ser creadas automáticamente por el software o por el usuario. Una característica muy resaltante de esta relación es cuando se modifica algo en cualquier momento y ubicación dentro del proyecto, la plataforma coordinará el cambio en todo el proyecto (Sacks et al., 2018).

Es muy común que se genere una confusión entre los softwares que son plataformas BIM, y lo que no, estos últimos son aquellos que generan (Sacks et al., 2018):

- Modelos que solo contienen información 3D y poco o nada de atributos de los objetos: Es decir son aquellos modelos que se utilizan únicamente para visualizar gráficos y no tienen inteligencia a nivel de objeto. Tampoco integran la data ni permiten el análisis. Ejemplo de ellos sería: Sketch Up y Rhino 3D, las cuales vendrían a ser herramientas BIM, siempre y cuando se utilicen en un contexto BIM.
- Modelos que no admiten “comportamiento”: Se refiere a aquellos modelos donde se pueden definir los objetos, pero estos no tienen un comportamiento paramétrico, por lo tanto, no tienen características implícitas ni ninguna restricción

con otros elementos. Ejemplo: Una columna en una plataforma BIM, se comporta como una columna al mantener sus dimensiones y especialmente sus propiedades, no es un objeto de 4 caras y de altura definida.

- Modelos que están compuestos de múltiples documentos 2D CAD que deben ser combinados para definir el modelo.
- Modelos que permiten cambios en las dimensiones de una vista, pero este cambio no se refleja de forma automática en otra vista.

2.1.1 ¿Qué son los objetos paramétricos?

Como se ha mencionado anteriormente, las plataformas BIM se caracterizan por generar modelos con objetos paramétricos, cuyo comportamiento es paramétrico también. Sacks et al. (2018), nos explica que características tienen los objetos de este tipo:

- Tienen definiciones geométricas con información y reglas asociadas.
- Estas reglas paramétricas modifican automáticamente la geometría asociada. Ejemplo: Una puerta automáticamente se inserta en una pared o el interruptor se aloja al lado de la puerta.
- Los objetos pueden definirse en distintos niveles de agregación, es decir se puede definir una pared mediante sus componentes, al cambiar el peso del material de la puerta, el peso total de la puerta también cambiará.
- Los objetos también tienen la capacidad de enlazar, recibir, transmitir o exportar distintas propiedades, así como sus componentes estructurales, data acústica, data energética a otras aplicaciones y/o modelos.

2.1.2 Objetos BIM

Los objetos BIM, son representaciones digitales de productos y equipos que los clientes pueden colocar en sus modelos BIM (Weber Saint-Gobain, s.f.).

Estas réplicas virtuales contienen toda la información y geometría detallada que representa las características físicas de ese producto, también, incluye los datos de comportamiento como las zonas de detección permitiendo que el objeto se posicione o se comporte exactamente igual que el producto (McPartland, NBS, 2017) .

Existen dos tipos principales de objetos (McPartland, NBS, 2017):

- Los objetos componentes: Son productos de construcción que tienen formas geométricas fijas como ventanas, puertas, etc.
- Los componentes estratificados: Son productos de construcción que no tienen una forma o tamaño fijo como las alfombras, cubiertas, paredes y los techos.

También se puede decir que los objetos son (McPartland, NBS, 2017):

- Los objetos genéricos, a menudo llamados objetos de biblioteca, se utilizan durante la fase inicial de diseño como marcadores de posición como expresión

visual de la necesidad de un objeto específico que se seleccionará en una etapa posterior.

- Los objetos específicos, a menudo llamados objetos del fabricante, son los que representan los productos específicos de un fabricante.

La forma de conseguir los objetos BIM es a través de lo que se conoce como Bibliotecas o Librerías de Objetos BIM. Estas bibliotecas pueden estar integradas en el mismo software, que contiene objetos precargados, listos para usarse, o pueden obtenerse de forma online en donde los objetos están disponibles en una serie de formatos de archivos adecuados para distintos softwares, o en formatos de intercambio abierto y neutro, como es el caso de IFC. En este último tipo de librería, se encuentran los objetos de fabricantes (McPartland, NBS, 2017; BIM MIND MAP, s.f.).

Es muy importante que los objetos BIM tengan toda información relevante, tanto gráfica como no gráfica, y estas se combinen entre sí para representar de la forma más eficaz el producto y sea útil para los diseñadores al momento de comparar los objetos BIM. De igual forma, es fundamental que se incluya la información del fabricante para que sea utilizable en la etapa de mantenimiento (McPartland, NBS, 2017).

En Perú, cada vez más proveedores locales de materiales y equipos se suman a las librerías de objetos BIM Online, entre ellos se tiene: Pavco Wavin con sus accesorios y tuberías con las medidas y atributos reales; Sika con su serie de componentes BIM para Pisos, Cubiertas e impermeabilización; ACH con su gama de paneles para techos y muros; Grupsa con objetos BIM sobre puertas y sistemas de puertas, Italsan con su familia BIM sobre tuberías, accesorios y válvulas, etc. (Pavco Wavin, s.f.; Sika, s.f.; ACH, s.f.; Grupsa, s.f.).

2.1.3 Definición de LOD (Level of Development)

Antes de introducir el listado de las plataformas BIM, se ha creído conveniente presentar el concepto *Level of development* o nivel de desarrollo, más conocido como LOD, ya que es una característica importante de los objetos paramétricos que componen los modelos obtenidos por las plataformas.

2.1.3.1 Breve historia. Las raíces de LOD remontan al año 2006, cuando se publica un documento llamado *3D Working Method* que mencionaba el concepto *Level of information* o nivel de información y lo dividía en 7 niveles (0-6). Estos niveles correspondían a las fases tradicionales de construcción, aunque podían personalizarse para fases de otros procesos. (BIPS, 2007, como se citó en van Berlo & Bomhof, 2014).

El término LOD aparece por primera vez en el año 2004 por la empresa Vico Software que en ese entonces pertenecía a Graphisof (Van Berlo & Bomhof, 2014), aunque para otros autores fue en el año 2008 (Sacks et al., 2018). LOD se introdujo para hacer referencia al concepto *Level of detail* o nivel de detalle. Estos niveles eran descripciones de los pasos a través de los cuales un elemento BIM puede progresar lógicamente desde el nivel más bajo

de aproximación conceptual al nivel más alto de precisión representacional (Van Berlo & Bomhof, 2014).

El concepto de LOD evolucionó a *Level of development* (nivel de desarrollo), en el 2018, después de que el Instituto Americano de Arquitectos (AIA), presentará este concepto como parte principal de su documento "E202-2008 *Building Information Modeling Protocol Exhibit*", donde describe las definiciones de los primeros niveles de desarrollo. En el 2013, este documento se actualizó y se acompañó de otros dos documentos y una guía con los que se complementó (Van Berlo & Bomhof, 2014).

Para promover el uso y estandarización de los niveles de desarrollo, AIA autoriza a BIMforum, un grupo de experimentados profesionales BIM, a utilizar sus definiciones LOD. Ellos forman el grupo "*LOD working*" en el año 2011, donde interpretaron dichas definiciones y armaron un documento llamado *LOD Specification*, que ha sido actualizado desde 2013 y el contenido presenta con ejemplos, las características de los diferentes elementos de un modelo de diferentes sistemas constructivos en diferentes niveles de desarrollo (Van Berlo & Bomhof, 2014).

Tal como se explica, LOD, en principio hacía referencia a *Level of detail*, sin embargo, las definiciones dadas por AIA y su posterior divulgación mediante el BIMforum, ha hecho que LOD se convierta principalmente, en el término para referirse a *Level of development*.

Cabe resaltar que, a partir de las guías brindadas por AIA, se han ido creando más términos que se basan en ellas, ejemplo de ello es Nueva Zelanda en donde LOD es la combinación de varios conceptos como LOd (*Level of detail* o nivel de detalle), LOa (*Level of accuracy* o nivel de precisión), LOi (*Level of information* o nivel de información) y LOc (*Level of coordination* o nivel de coordinación) (Sacks et al., 2018).

En la figura 5 se muestran los diferentes LoX, donde la X hace referencia a las variaciones establecidas en cada país u organización.

2.1.3.2 Definición. Tal como se menciona a lo largo de la historia, LOD se utilizó en un inicio para hacer referencia al concepto de nivel de detalle, pero finalmente es adoptado como el término para hacer alusión al concepto de nivel de desarrollo. Este cambio generó confusiones, es por ello por lo que, para entender esta diferencia, muchas organizaciones y autores explican la definición que implica cada concepto.

BIMforum, precisa la diferencia entre ambos conceptos, señalando que el nivel de detalle es esencialmente cuanto detalle está incluido en un elemento del modelo y el nivel de desarrollo es el grado en el que se ha pensado detenidamente la geometría del elemento y la información que contiene. El nivel de detalle viene a ser la entrada del elemento y el nivel de desarrollo, la salida confiable. (BIM FORUM, 2020).





























Fuente	Sistema LoX	Sistema	Elemento del modelo	Inf. Geométrica	Inf. No Geométrica
 BIPS 2007	Information Levels	x	x	x	x
 CRC 2009	Object Data Levels/Level of Detail		x	x	x
 Department of VA 2010	Level of Development (LoD/LOD)		x	x	x
 Vico Software 2011	Level of Detail (LOD)	x	x	x	x
 NATSPEC 2011	Level of Development (LOD)		x	x	x
 HKIBIM 2011	Level of Detail		x	x	x
 NYC DDC 2012	Model Level of Development/ Level of Development (LOD)	x	x	x	x
	Model Granularity		x	x	x
 PennState University (PSU) 2012	Level of Development (LOD)		x	x	x
 USC 2012	Level of Detail (LOD)		x	x	
 US Army Corps of Engineers (USACE) 2012	Level of Development (LOD)		x	x	x
	Element Grade/Grade		x	x	x
 AIA E203™ 2013	Level of Development (LOD)		x	x	x
 BCA 2013	Level of Detail		x	x	x
 PAS 1192-2 2013	Level of model Definition		x	x	x
	Level of model Detail (LOD)		x	x	
	Level of model Information (LOI)		x		x
 CIC BIM Protocol 2013	Level of Detail (LOD)	x		-	-
 BMVBS 2013	Level of Development		x	x	x
 BIM 2014	Information Level	x	x	x	x
 AEC (CAN) 2014	Level of Development	x	x		
 Le Moniteur 2014	Level of Detail/ Level of Development (LOD)		x	x	x
 BCPP 2014	Level of Development (LOD)		x	x	x
	Level of detail (LOd)		x	x	
	Level of accuracy (LOa)		x	x	x
	Level of information (LOi)		x		x
	Level of coordination (LOc)	-	-	-	-
 CBC 2014	Level of Detail (LOD)	x	x	x	x
 BIM Taiwan 2014	Level of Development	x	x	x	x
	Level of Completeness	x	x	x	x
	Level of Detail	x	x	x	x
 ABEB-VBA 2015	Level of Development (LOD)		x	x	x
 D&R 2015	Level of Development (LOD)	x		x	
 BIMForum 2015	Level of Development		x	x	x
	Element Geometry		x	x	
	Associated Attribute Information		x		x
 NBS BIM Toolkit 2015	Level of Detail (LOD)		x	x	
	Level of Information (LOI)		x		x
 AEC (UK) 2015	Level of Definition		x	x	x
	Level of Information (LOI)		x		x
	Grade/Level of Detail (LOD)		x	x	
 SZGWS 2015	LOD	x		x	x
 USIBD 2016	Level of Development				
	Level of Accuracy	x	x	x	

Figura 5. Comparación de la variedad de sistema LOx de varias guías en distintos países

Fuente: Adaptado de *The many faces of "LOD,"* por M. Bolpagni, 2016, BIM THINK SPACE (<https://www.bimthinkspace.com/information-management/>).

En relación con ese tema, Barnes (2019) también considera que nivel de desarrollo no es lo mismo que nivel de detalle, ya que este último se relaciona solo al contenido gráfico y junto al nivel de información, relacionado al contenido no gráfico, forman el nivel de desarrollo.

El documento *AIA E202-2008* describe a LOD, como nivel de desarrollo, al grado de integridad con el que un elemento del modelo es desarrollado. Esta definición se amplía en la actualización de dicho documento, *AIA E203-2013*, donde indica que LOD describe los mínimos dimensionales, espaciales, cuantitativos, cualitativos y otros datos incluidos en un elemento del modelo para sostener los usos autorizados asociados con ese mismo LOD.

Hardin & McCool (2015), interpreta esta información señalando que LOD como nivel de desarrollo, define la precisión de los elementos 3D y la cantidad de información que contiene dentro de cada elemento.

LOD es una referencia que le permite a las personas involucradas en la industria AEC especificar y articular con mayor grado de claridad el contenido y confianza de los modelos BIM en varias etapas en el diseño y el proceso de construcción (BIM FORUM, 2013). LOD tampoco es un set de requerimientos, sino un lenguaje y una herramienta de comunicación para los autores que modelan elementos permitiendo así que participantes de otro proyecto comprendan cuanto puedan confiar en dicha información (Lévy & Ouellette, 2019).

A continuación, se mostrarán los niveles que señala la versión 2020 del documento *LOD Specification* del *BIMForum*. AIA, por un lado, mencionaba 5 niveles: LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400 y LOD 500. BIMforum interpretó cada uno de estos niveles y considero que hacía falta un nivel, cuyo objetivo fuera facilitar la coordinación entre disciplinas, los requerimientos para que un elemento tuviera un LOD con esas características debía ser mayor que el LOD 300 pero no tanto como un LOD 400, es así como se creó el LOD 350, el cual no está incluido en las definiciones de los documentos del AIA, pero su guía sí los referencia. Además, considera que no se debe definir ni ilustrar más allá el LOD 500 por ser una verificación de campo (Van Berlo & Bomhof, 2014). Todos los detalles se muestran en la tabla 3:

Tabla 3

Definición de los niveles de desarrollo

LOD #	Contenido Gráfico	Contenido No-Gráfico	Interpretación de <i>BIMForum</i>
LOD 100	Puede estar representado con un símbolo o una representación genérica.	Información relacionada al elemento puede ser derivada de otros elementos.	No son representaciones geométricas. La información de estos elementos puede ser considerada aproximada.

LOD #	Contenido Gráfico	Contenido No-Gráfico	Interpretación de <i>BIMForum</i>
LOD 200	Se representa gráficamente como un sistema genérico, objeto o montaje con cantidades, tamaño, forma, ubicación y orientación aproximada.	Los elementos pueden contener información.	Los elementos son marcadores de posición genéricos. Pueden ser reconocibles como los componentes que representan, o pueden ser volúmenes para reserva de espacio. La información de estos elementos debe ser considerada aproximada.
LOD 300	Se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema específico, objeto o montaje en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación.	Los elementos pueden contener información.	Las cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación de los elementos se puede obtener directamente del modelo. El proyecto original está definido y los elementos se pueden ubicar con precisión con respecto al proyecto original.
LOD 350	El elemento se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema específico, objeto o montaje en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación, orientación e interfaz con otros sistemas de construcción, que sirve para la colisión de interferencias.	Los elementos pueden contener información.	Se modelan las piezas necesarias para la coordinación del elemento con elementos cercanos o adjuntos. Es decir, existe una relación de asociación entre elementos. Las cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación de los elementos se puede obtener directamente del modelo.
LOD 400	El elemento se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema específico, objeto o montaje en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación con detallado completo, información de fabricación específica para el proyecto, puesta en obra/montaje e instalación.	Los elementos pueden contener información.	Un elemento con este nivel de LOD se ha modelado con suficiente detalle y precisión para su fabricación. Las cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación de los elementos se puede obtener directamente del modelo.

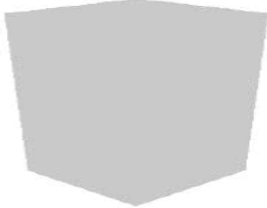
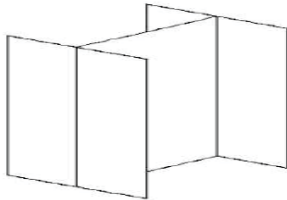

LOD #	Contenido Gráfico	Contenido No-Gráfico	Interpretación de <i>BIMForum</i>
LOD 500	El elemento modelado es una verificación de la información relacionada al proceso constructivo finalizado (“as built”) en términos de dimensiones, forma, ubicación, cantidades y orientación.	Los elementos pueden contener información.	Ya que este nivel está relacionado a la verificación en campo y no es un indicador de progreso a un nivel superior de la geometría del elemento de modelo o información no gráfica, esta especificación no se ilustra.



Nota. BIM forum (2020).

Para mayor claridad, en la tabla 4, donde se representa los distintos LOD en un elemento de columna de acero.

Tabla 4

Representación de los niveles de desarrollo

Nivel de desarrollo	Representación
<p>LOD 100: No se distingue ni material ni tipo.</p>	
<p>LOD 200 El elemento modelado incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dimensiones aproximadas. • Miembros de encuadre de apoyo. • Grillas estructurales definidas. 	
<p>LOD 300 El elemento modelado incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las medidas específicas de sus piezas verticales estructurales con la correcta orientación. <p>Su información no gráfica incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiales de acero definidos. • Detalles de las conexiones. • Acabados finales como pintura, galvanizado, etc. 	

Nivel de desarrollo	Representación
<p>LOD 350</p> <p>El elemento modelado incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elevaciones y ubicación de las conexiones actuales. • Se ha aplicado grandes elementos de conexiones típicas a los soportes de conexión de acero estructural como placas de base, cartelas, varillas de anclaje, etc. • Cualquier miembro de acero misceláneo con la orientación correcta. • Cualquier refuerzo de estructura de acero como refuerzos del alma. 	
<p>LOD 400</p> <p>El elemento modelado incluye:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Soldaduras • Afrontamiento de miembros • Arandelas • Todos los elementos de montaje 	

Nota. BIM Forum (2013).

La importancia de definir un LOD, se presenta al momento de coordinar modelos de distintas disciplinas y enlazarlos para encontrar interferencias. El resultado nos puede dar cero interferencias cuando en realidad si existen, pero el software no podrá visualizarlas por el nivel de desarrollo que tengan algunos elementos críticos, por ello es muy importante ponerle mucha atención durante las fases de diseño y construcción (Hardin & Mccool, 2015). Cabe destacar que LOD no se refiere a la totalidad del proyecto, sino a cada elemento que contiene el modelo del proyecto (Lévy & Ouellette, 2019).

Además, definir un LOD es un factor clave para eliminar problemas de interoperabilidad, ya que un modelo con diferentes LODS requiere ajustes adicionales para facilitar el flujo de trabajo en el intercambio de información (Sacks et al., 2018). La definición de LOD varía entre cada organización y va a depender mucho del uso que se le dará al modelo. El documento *LOD Specification* busca ayudar a las compañías a que tengan una base a modo de guía más no prescribe que nivel de desarrollo debe alcanzarse en un punto específico del proyecto.

No obstante, proporciona al usuario, como puede progresar un elemento del modelo, contribuyendo en los equipos de trabajo a mejorar sus entregas, ayudando a los jefes de oficinas técnicas para explicar con más claridad la información del modelo, y otorgando un estándar que puede adecuarse a las necesidades de las empresas, reflejándose en los contratos y planes de ejecución BIM (BIM FORUM, 2013).

2.1.4 Listado de plataformas BIM

Entre las plataformas más populares se encuentran las siguientes:

2.1.4.1 Revit. Desarrollado por Autodesk en el año 2002, luego de adquirirlo de la empresa *Revit Technology Corporation* (Sacks et al., 2018). Es la plataforma más utilizada en varios países como Chile (Universidad de Chile, 2019), Reino Unido (NBS, 2020) y Estados Unidos (Lévy & Ouellette, 2019).

Es un programa para el modelamiento de edificios en 3D con funciones para el diseño arquitectónico, estructural y MEP (Mecánico, Eléctrico y Plomería), por lo tanto, puede ser utilizada por varias disciplinas. Para la formación académica, Autodesk ofrece descargar el programa en una versión estudiantil que dura 1 año (Autodesk, 2021).

Sus características principales son:

- Revit posee una interfaz fácil de utilizar donde sus menús están bien organizados de acuerdo con el flujo de trabajo (ver figura 6) (Autodesk, 2021).
- Su soporte de sistema de generación de dibujos es muy bueno y su producción de dibujo es altamente asociativa por lo tanto los dibujos se pueden manejar fácilmente. (Sacks et al., 2018), además de generar alternativas de diseño dependiendo de los que se está buscando (Autodesk, 2021).
- Los colaboradores de múltiples disciplinas pueden compartir y guardar su trabajo en el mismo archivo (Autodesk, 2021).
- Se puede extraer la información de los elementos (propiedades) en una muestra tabular. La base de datos se puede visualizar en diferentes modos, ya sea como modelo, una serie de vistas en 2D y en formato de programación manteniendo relación una con otra cuando hay un cambio en una de las vistas (Autodesk, 2021); (Lévy & Ouellette, 2019).
- Se puede importar y exportar documentos en 2D y 3D en los distintos formatos de Autodesk, incluyendo IFC y otros formatos de intercambio como DWG, DWF DGN, SKP, BMP, JPG, etc. (Autodesk, 2021). Todos los formatos de exportación e importación que se permiten se pueden encontrar en su página web.
- Expande su funcionalidad al permitir el acceso a la API (*Application Programming Interface*), a las aplicaciones de terceros para intercambiar geometría e información y al uso de complementos o llamados plugins (Autodesk, 2021).

Ejemplo de ellos es su compatibilidad con el software Dynamo, que permite la ampliación de sus capacidades paramétricas al automatizar muchos procesos.

- Revit utiliza conceptos comunes como puertas, muros, losas, etc., como elementos básicos para ensamblar el diseño de los edificios. Estos conceptos se les conoce como “familia” con diseños y parámetros definidos por el usuario (Autodesk, 2021); (Lévy & Ouellette, 2019).

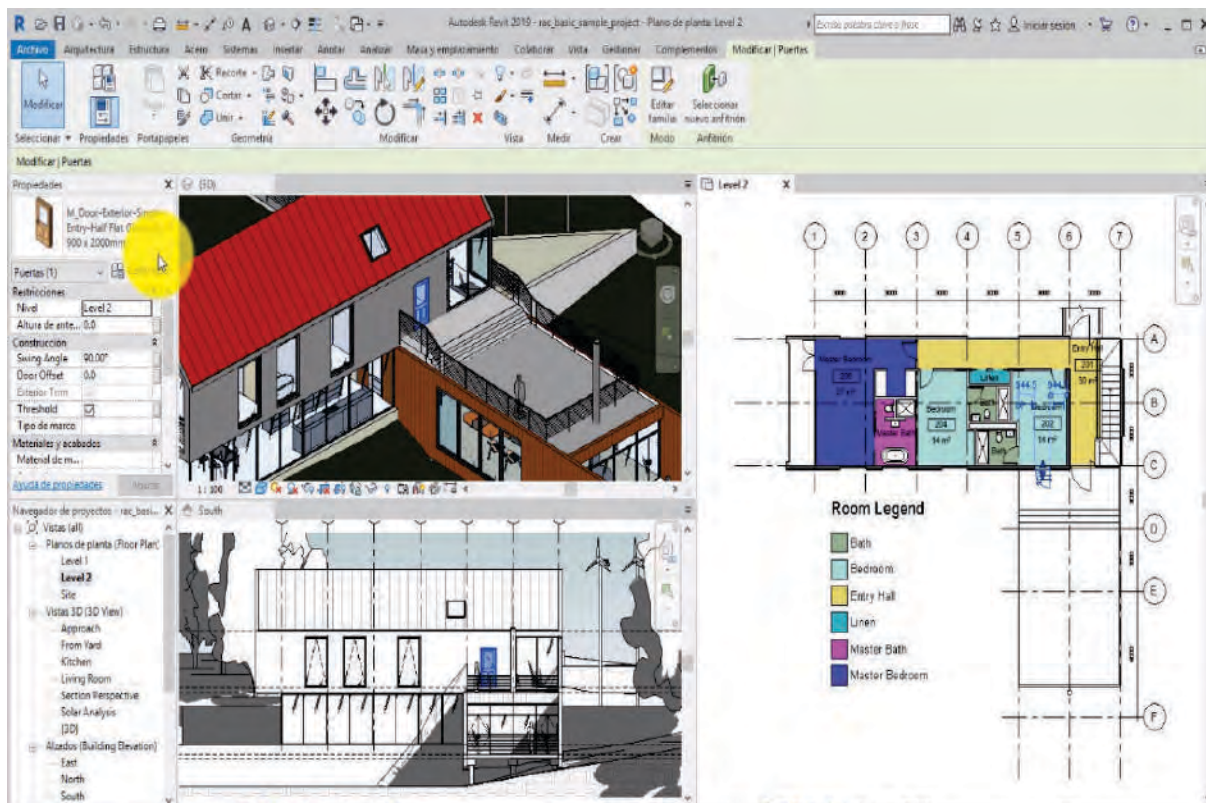


Figura 6. Interfaz de Revit

Fuente: Adaptado de Revit, por Autodesk, 2019, Autodesk (<https://cutt.ly/tvKY9w7>).

En la tabla 5, se muestran las fortalezas y debilidades de Revit:

Tabla 5

Fortalezas y debilidades de Revit

Fortalezas	Debilidades
Su plataforma es bastante intuitiva, está bien diseñada y es amigable con el usuario por lo que es fácil de aprender, además notifica al usuario cuando identifica un valor errado.	A pesar de tener herramientas excelentes de dibujo, tiene un limitado soporte para superficies con curvas complejas, por lo tanto, muchos diseñadores con el deseo de ir más allá de las limitaciones de los objetos incorporados utilizan otras herramientas para diseñar y luego importar los resultados en REVIT para producir el modelo.

Fortalezas	Debilidades
<p>Revit permite el desarrollo de la personalización nueva de los objetos paramétricos y la personalización de los objetos predefinidos.</p> <p>Tiene un conjunto muy amplio de bibliotecas de objetos, desarrollada tanto para sí mismos como para terceros.</p> <p>Debido a su dominio en el mercado, es la plataforma preferida para compartir información a través de los enlaces directos con otras herramientas de BIM.</p>	<p>Revit utiliza una estructura de base de datos de un solo archivo para almacenar y conectar información. Cuando los proyectos se hacen muy grandes, su desempeño puede verse afectado, especialmente cuando hay varios usuarios manejando el modelo.</p>

Nota. Sacks et al. (2018).

La siguiente tabla 6 resume los requerimientos para el uso de Revit. Los requisitos se dividen para tres tipos de usos: configuración básica, rendimientos equilibrados y modelos complejos.

Tabla 6

Requerimientos de hardware para obtener Revit

Características de Hardware	Para configuración básica	Rentabilidad: precio y rendimientos equilibrados	Rendimiento: modelos complejos de gran tamaño
Sistema Operativo	WINDOWS 10 de 64-bit	WINDOWS 10 de 64-bit	WINDOWS 10 de 64-bit
Tipo de CPU	Procesador Intel®, Xeon® o i-Series de uno o varios núcleos, o AMD® equivalente, con tecnología SSE2. Se recomienda adquirir un procesador con la máxima velocidad posible.	Procesador Intel®, Xeon® o i-Series de uno o varios núcleos, o AMD® equivalente, con tecnología SSE2. Se recomienda adquirir un procesador con la máxima velocidad posible.	Procesador Intel®, Xeon® o i-Series de uno o varios núcleos, o AMD® equivalente, con tecnología SSE2. Se recomienda adquirir un procesador con la máxima velocidad posible.
Memoria	8 GB de RAM	16 GB de RAM	32 GB de RAM
Resoluciones de vídeo	Mínimo: 1280 x 1024 con color verdadero. Máximo: Pantalla de ultra definición (4K).	Mínimo: 1680 x 1050 con color verdadero. Máximo: Pantalla de ultra definición (4K).	Mínimo: 1920 x 1200 con color verdadero. Máximo: Pantalla de ultra definición (4K).

Características de Hardware	Para configuración básica	Rentabilidad: precio y rendimientos equilibrados	Rendimiento: modelos complejos de gran tamaño
Adaptador de vídeo	Gráficos básicos: Adaptador de pantalla compatible con color de 24 bits. Gráficos avanzados: Tarjeta gráfica compatible con DirectX® 11 con Shader Model 5 y 4 GB de memoria de vídeo como mínimo.	Tarjeta gráfica compatible con DirectX 11 con Shader Model 5 y 4 GB de memoria de vídeo como mínimo.	Tarjeta gráfica compatible con DirectX 11 con Shader Model 5 y 4 GB de memoria de vídeo como mínimo.
Espacio en disco	30 GB de espacio libre en disco.	30 GB de espacio libre en disco.	30 GB de espacio libre en disco, de más de 10.000 rpm.

Nota. Autodesk (2021).

2.1.4.2 ArchiCAD. Desarrollado por Graphisoft (pertenece a la compañía Nemetschek) y lanzada a inicios de 1980, es la plataforma BIM más antigua (Sacks et al., 2018). Prevalece principalmente en Europa (Lévy & Ouellette, 2019), es un software dirigido para arquitectos. Graphisoft ofrece también una versión estudiantil para la descarga (Graphisoft, 2021).

Entre sus características principales se tiene:

- Tiene una interfaz bien diseñada, con cursos inteligentes que arrastran sugerencias para el operador (ver figura 7) (Sacks et al., 2018).
- Contiene una extensa librería de objetos para los usuarios organizada por sistemas: concreto prefabricado, metales, albañilería, etc. (Sacks et al., 2018).
- Permite a los usuarios trabajar con objetos paramétricos y se apoya de un Lenguaje Descriptivo Geométrico (GDL) para la generación de componentes personalizados (Sacks et al., 2018).
- La información de ArchiCAD se maneja por una base de datos centralizada (similar a Revit), y permite importar y exportar documentos en formatos como DWG, DXF, DGN, DWF y PDF. También permite exportar data del modelo a fbXML, DOE-2, RIUSKA, ARCHIPHISK, OBDC e IFC. Además, se puede automatizar procesos a través de su API (Lévy & Ouellette, 2019).
- ArchiCAD permite colaboración en la nube donde se puede guardar y compartir el trabajo permitiendo que otras personas puedan colaborar en tiempo real desde cualquier lugar (Graphisoft, 2021).

- ArchiCAD también extiende sus funciones más allá del diseño arquitectónico al admitir varios *Add ons* (también llamado plugins) de terceros incluyendo un modelador MEP, un explorador visual, para presentaciones 3D interactivas, EcoDesigner, para análisis energético, y Artlantis, un complemento para renderizado de alta calidad (Graphisoft, 2021).

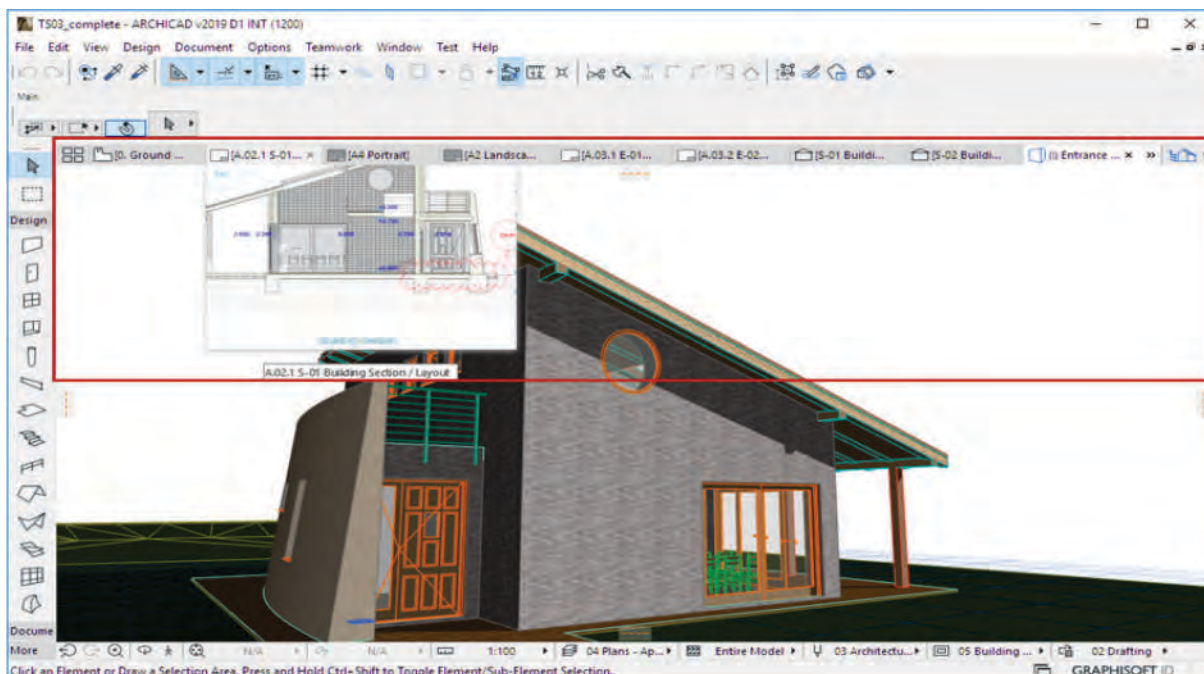


Figura 7. Interfaz de ArchiCAD

Fuente: Adaptado de Archicad, por Graphisoft, 2021, Graphisoft (<https://cutt.ly/SvKOWK5>).

En la tabla 7, se muestran las fortalezas y debilidades de ArchiCAD:

Tabla 7

Fortalezas y debilidades de ArchiCAD

Fortalezas	Debilidades
<p>Su interfaz es intuitiva y relativamente simple de usar.</p> <p>Tiene una extensa librería de objetos y una gran suite de aplicaciones de apoyo para el diseño, sistemas de construcción y administración de instalaciones (<i>Facility Management</i>).</p> <p>Es del poco software disponible en dos sistemas operativos.</p>	<p>ArchiCAD tiene ciertas limitaciones paramétricas del modelado en términos de actualización automática entre objetos. También carece de restricciones de modelado y no apoya la asociación entre elementos de modelo que puede ser problemáticos para otras herramientas de análisis.</p> <p>ArchiCAD utiliza un sistema “en memoria” (similar a Revit), que presenta problemas con las escalas para grandes proyectos, pero los modelos pueden ser partidos en módulos más pequeños para hacerlos manejables.</p>

Nota. Sacks et al. (2018); Lévy & Ouellette (2019).

Así como Revit, ArchiCAD también basa sus requerimientos de hardware dependiendo el uso que desea el usuario (ver tabla 8).

Tabla 8

Requerimientos de hardware para obtener ArchiCAD

Características de Hardware	Requerimientos Mínimos	Configuración recomendada		
		Nivel Inicial: Viviendas Residenciales	Nivel Medio: Apartamentos y Oficinas Edificios	Nivel Alto: Rascacielos, Hospitales
Sistema Operativo	Windows 10 64-bit MacOS 10.14	Windows 10 64-bit MacOS 10.15	Windows 10 64-bit MacOS 10.15	Windows 10 64-bit MacOS 10.15
Tipo de CPU	Inter de 64 bits o Procesador Multinúcleo AMD	Intel Core I5 AMD Ryzen 5	Intel Core I7 AMD Ryzen 7	Intel Core I9 AMD Ryzen 9
Memoria	-	+8 GB de RAM	+16 GB de RAM	+32 GB de RAM
Resoluciones de vídeo	1440 x 900	FHD+ (1920 x 1080)	2K (2560 x 1600)	5K (5120 x 2880)
Adaptador de vídeo	Tarjeta Compatible con OpenGL 4.0	Tarjeta Gráfica compatible con VRAM OpenGL 4.0 +2 GB	Tarjeta Gráfica compatible con VRAM OpenGL 4.0 +4 GB	Tarjeta Gráfica compatible con VRAM OpenGL 4.0 +6 GB
Espacio en disco	+5 GB de espacio libre	SSD	NVMe SSD	NVMe SSD

Nota. Graphisoft (s.f.).

2.1.4.3 AllPlan. Desarrollado por la empresa alemana Nemetscheck, su primera versión apareció en 1984 (Sacks et al., 2018). Se utiliza principalmente en Alemania, aunque su uso se ha extendido a otros países europeos (Zigurat Global Institute of Technology, 2018).

Es una familia de módulos de softwares para la arquitectura, ingeniería y administración de instalaciones y otras soluciones que permiten gestionar un proyecto en todo su ciclo de vida (Sacks et al., 2018; AllPlan, 2021). Además de presentar soluciones dirigidas al sector de la construcción de edificios, también ofrece un software para ingeniería de puentes. En cuanto a formación académica, proporciona una versión estudiantil para su descarga (AllPlan, 2021).

Entre sus características principales se tiene:

- Su enfoque difiere del resto de las plataformas BIM, ya que utiliza dibujos en 2D, modelos en 3D y combina los elementos 2D y 3D en una estructura única del proyecto que facilita la creación de información combinada 2D y 3D que es muy conveniente para principiantes en plataformas BIM (Sacks et al., 2018).
- Tiene una interfaz visual clara (Ver figura 8), que permite trabajar en 2D, 3D o en vistas mixtas (Sacks et al., 2018).
- AllPlan incorpora desde su versión del 2016, un núcleo de modelado 3D Parasolid con el fin de hacerle frente a modelos complejos, y sus objetos paramétricos se llaman *Smart Parts* o partes inteligentes; el software tiene una larga librería de *Smart Parts* estándares (Sacks et al., 2018).
- AllPlan tiene también una API, basada en Python, que permite una personalización más profunda y el acceso a las funciones del modelado 3D Parasolid (Sacks et al., 2018).
- AllPlan se usa comúnmente en combinación con otros softwares, ya que provee muchas posibilidades de exportación tanto para los documentos en 2D como en 3D, también incluye formatos DWG, DXF, DGN, PDF e IFC (AllPlan, 2021).
- AllPlan también contribuye al trabajo colaborativo en la nube con su herramienta BIMplus (AllPlan, 2021).
- Su módulo de ingeniería es muy útil, ya que es apto para todo tipo de proyecto de construcción, desde edificios hasta proyectos complejos de ingeniería civil (AllPlan, 2021).

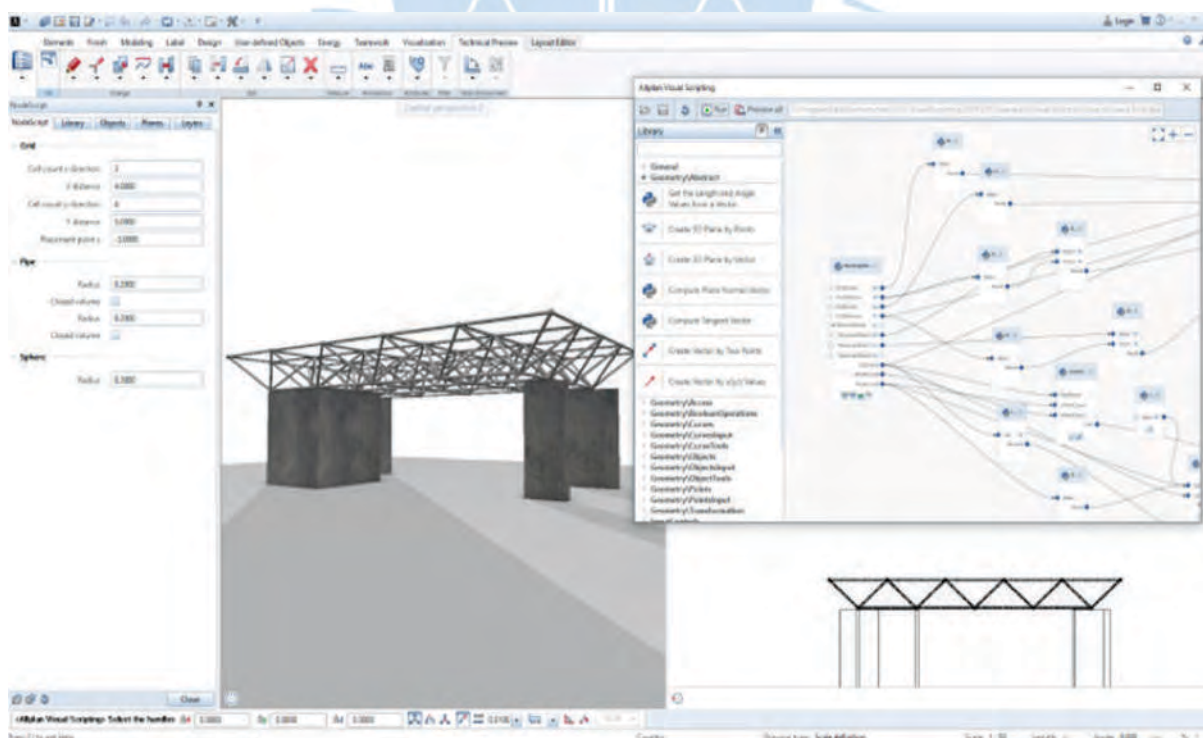


Figura 8. Interfaz de Allplan

Fuente: Adaptado de Allplan, por Allplan, 2020, AllPlan (<https://cutt.ly/bvKOKTO>).

La siguiente tabla 9 muestra las fortalezas y debilidades de AllPlan:

Tabla 9

Fortalezas y Debilidades de Allplan

Fortalezas	Debilidades
Es un software de modelado completamente paramétrico que puede hacer frente a cualquier geometría compleja.	Su interfaz es compleja, por lo que se necesita una configuración manual significativa para generar elementos correctamente.
El detalle en el diseño estructural es particularmente su mejor característica incluyendo el cálculo de la cantidad y el costo.	Los elementos de los modelos son menos asociativos que en otros softwares, es decir si un elemento de alojamiento se elimina o mueve, los cambios no se propagan a los elementos que contiene, ejemplo de ellos son las barras de refuerzo en un muro de concreto.
Los reportes, cálculos de presupuestos, calendarios son fácilmente exportados sin necesidad de personalizarlos mucho y son de máxima fiabilidad.	
Es muy útil en prácticas europeas.	
Permite compartir en la nube los trabajos tanto en su formato original como en IFC.	

Fuente: Sacks et al. (2018).

Los requerimientos de hardware para de AllPlan se muestran en la tabla 10:

Tabla 10

Requerimientos de hardware para obtener Allplan

Características de Hardware	Requisitos Mínimos	Configuración Recomendada
Sistema Operativo	Windows 10 64-bit, versión 1909 Windows 8.1 64 bit Windows Server 2019, Edición Estándar (para-Citrix) Windows Server 2016, Edición Estándar (para Citrix) Windows Server 2012 R2, Edición Estándar (para Citrix)	Windows 10 64-bit, versión 1909
Tipo de CPU	Procesador Intel o compatible con soporte AVX.	Procesador Intel Core i5, i7, i9 o compatible con soporte AVX.
Memoria	4 GB de RAM	16 GB de RAM

Características de Hardware	Requisitos Mínimos	Configuración Recomendada
Adaptador de vídeo	Tarjeta gráfica compatible con OpenGL 4.2 con 2 GB de RAM.	Tarjeta gráfica compatible con Vulkan 1.1 o OpenGL 4.2 y 8 GB RAM; tarjeta gráfica certificada.
Resoluciones de vídeo	1280 x 1024	2560 x 1600 (para resoluciones mayores como 4K, puede utilizarse la adaptación de pantalla del sistema operativo; debe utilizarse una misma resolución de pantalla para el trabajo con varios monitores).
Espacio en disco	10 GB de espacio libre	10 GB de espacio libre

Nota. Allplan (2021).

2.1.4.4 OpenBuilding Designer. Desarrollado por Bentley Systems, ha pasado por varias versiones, y hace algunos años se llamaba *AECOSim Building Designer*. Es un software para diseñar, analizar, documentar y visualizar edificios de cualquier tamaño, forma y complejidad y tiene funciones de diseño para los arquitectos, ingenieros mecánicos, eléctricos y civiles (Bentley, 2021).

Entre sus características principales, se tiene:

- OpenBuilding Designer también tiene un estándar de paramétricos predefinidos, los cuales se relacionan entre sí. El modelado paramétrico en este caso se apoya en un concepto llamado componentes genéricos (*Generative Components*) (Sacks et al., 2018).
- Permite obtener documentos fiables y de gran calidad directamente desde el modelo, además se puede vincular especificaciones, cálculos de ingeniería y documentación sobre los equipos a los modelos y diseños (Bentley, 2021).
- Presenta alternativas de diseño ya que sugiere nuevas posibilidades que pueden ser simuladas en menor tiempo (Bentley, 2021).
- Con OpenBuilding Design también se pueden visualizar los modelos y generar imágenes, animaciones y renderizados de alta calidad sin necesidad de un software adicional (Bentley, 2021).
- OpenBuilding Designer tiene varias interfaces como DWG, DXF, 3DS, Google Earth KML, Rhino 3DM, OBJ, CIS/2, IFC, etc. Todos sus formatos de exportación e importación se pueden encontrar en su página web (Sacks et al., 2018).
- Este software también presenta herramientas para simular el rendimiento de los edificios, obtener análisis energético y para detectar interferencias (Bentley, 2021).

- Las aplicaciones o herramientas de este software están basada en un sistema de documentos, que significa que todas las acciones se escriben inmediatamente en un documento y resulta en menores cargas de memoria (Sacks et al., 2018).
- Su interfaz se muestra en la figura 9.

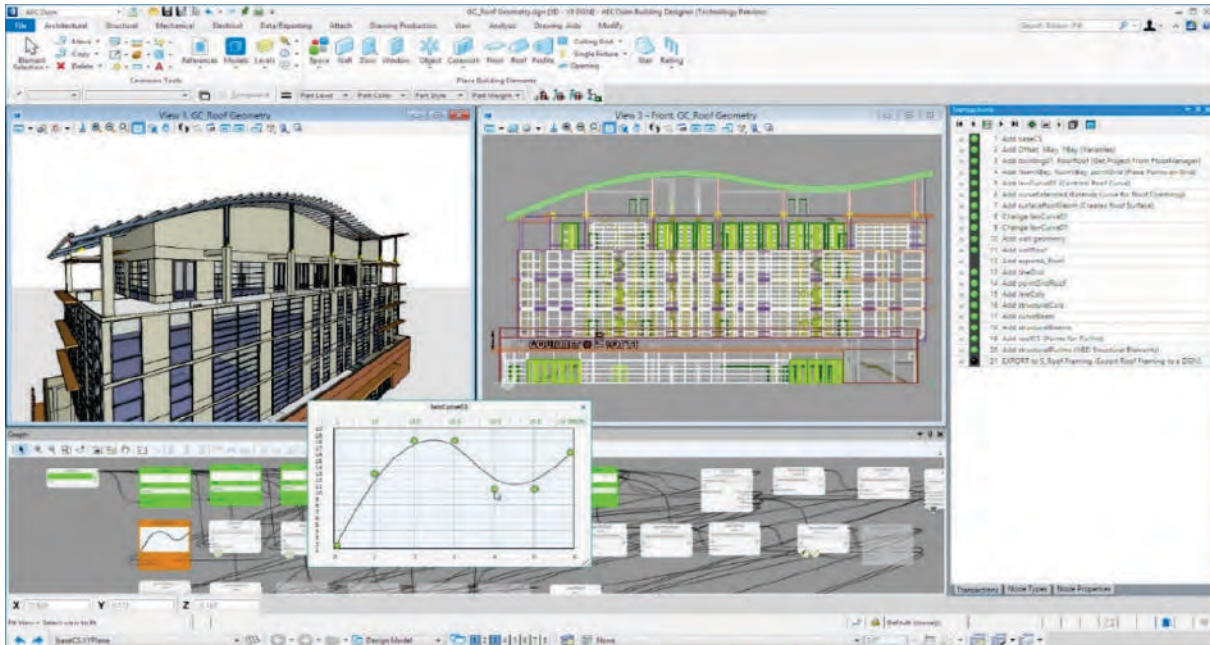


Figura 9. Interfaz de OpenBuilding

Fuente: Adaptado de *OpenBuilding Designer*, por Bentley Systems, s.f., Bentley Systems (<https://cutt.ly/KGjK40m>).

En la tabla 11, se presentan las fortalezas y debilidades de este software:

Tabla 11

Fortalezas y Debilidades de OpenBuilding Designer

Fortalezas	Debilidades
<p>OpenBuilding Designer es muy conocido porque permite modelar geometrías complejas que han resultado ganadoras en muchos concursos.</p> <p>Bentley como tal tienen una gran gama de productos para la industria AEC en donde es el protagonista en el mercado de la ingeniería civil y la infraestructura.</p> <p>Es un software con funciones muy variadas que abarcan desde el modelado lo que le da la característica para ser una plataforma, pero a la vez posee distintas herramientas que permite alcanzar otras dimensiones sin necesidad de otro software.</p>	<p>Todos los productos de Bentley no están totalmente integrados por lo que toma mucho tiempo aprender a navegar entre todos los productos que ofrece.</p>

Nota. Sacks et al. (2018).

A diferencia de otras plataformas, OpenBuilding Designer no divide sus requerimientos de acuerdo con un uso específico (ver tabla 12):

Tabla 12

Requerimientos de hardware de OpenBuilding Designer

Características de Hardware	Única Configuración
Sistema Operativo	Windows 10 64-bit Windows 8 y 8.1 64-bit Windows 7 64-bit (Solo si se tiene su SPI instalado)
Tipo de CPU	Procesador Intel o AMD 1.0 GHz o mayor, con tecnología SSE2.
Memoria	16 GB de RAM (Mínimo) 32 GB de RAM (Recomendado)
Resoluciones de vídeo	1024 x 768 o más
Adaptador de vídeo	512 Mb de video RAM o más
Espacio en disco	24 GB de espacio libre

Nota. Bentley Systems (s.f.).

2.1.4.5 VectorWorks. Empezó como un MiniCAD, un sistema CAD en una computadora Apple desarrollado por Diehl Graphisoft en 1985 y se adaptó para Windows en 1996. En el año 2000, Diehls Graphisoft fue adquirido por Nemetschek. Previamente, las capacidades paramétricas de Vectorworks eran parecidas a AutoCAD y en 2009, adopto un modelado paramétrico parecido a las plataformas que ahora se conocen (Sacks et al., 2018). También brinda una versión estudiantil (Vectorworks, 2021).

Entre sus características principales se tiene:

- La versión 2021 de Vectorworks brinda una lista de soluciones que comprenden:
 - ❖ *Architect*: para aplicaciones BIM arquitectónicas y de interiores.
 - ❖ *Landmark*: para aplicaciones de paisajismo, incluye diseño y planificación. Tiene una gran biblioteca de plantas, irrigaciones, etc., así como capacidades GIS.
 - ❖ *Entertainment/Spotlight*: Para trabajos de iluminación, escenario, cine, eventos o diseño de exhibiciones. Esta solución tiene dos productos *Vision* (para la simulación y una interfaz para el control de luz) y *Braceworks* (para análisis estático de estructuras temporales).
 - ❖ *Fundamentals*: Para fines generales de modelado e integrado renderizado 2D/3D. Se caracteriza por no tener ajustes preestablecidos y parámetros estrictos, por lo que se tiene mucha flexibilidad para diseñar lo que se desee.
 - ❖ *Designer*: Incluye todas las soluciones anteriormente mencionadas en un solo interfaz de trabajo.
- También admite la colaboración de multiusuarios contribuyendo al trabajo colaborativa (Lévy & Ouellette, 2019).

- Estos diferentes productos proveen de una amplia gama de funcionalidad, todos con un interfaz de usuario con un estilo muy amigable (ver figura 10) (Sacks et al., 2018) y con un entorno mixto de 2D/3D, que es beneficioso para adaptarlo en varios estilos de diseño y flujos de trabajo (Lévy & Ouellette, 2019).
- Vectorworks tiene una librería de objetos bastante razonable para importar y usar, además posee una superficie llamada NURBS de modelado que es muy buena (Sacks et al., 2018).
- Admite la personalización de sus modelos de objetos predefinidos y también la definición de nuevos objetos complejos usando cualquiera de sus cuatro API: SDK, Python, VectorScript, Marionette (Sacks et al., 2018).
- Sus formatos para exportación e importación incluyen DXF/DWG, Rhino 3D, IGS, PDF, JPG, KML, IFC y muchas más (Lévy & Ouellette, 2019).
- Así como Revit y ArchiCAD, Vectorworks tiene una estructura centralizada donde almacena y enlaza la información (Lévy & Ouellette, 2019).

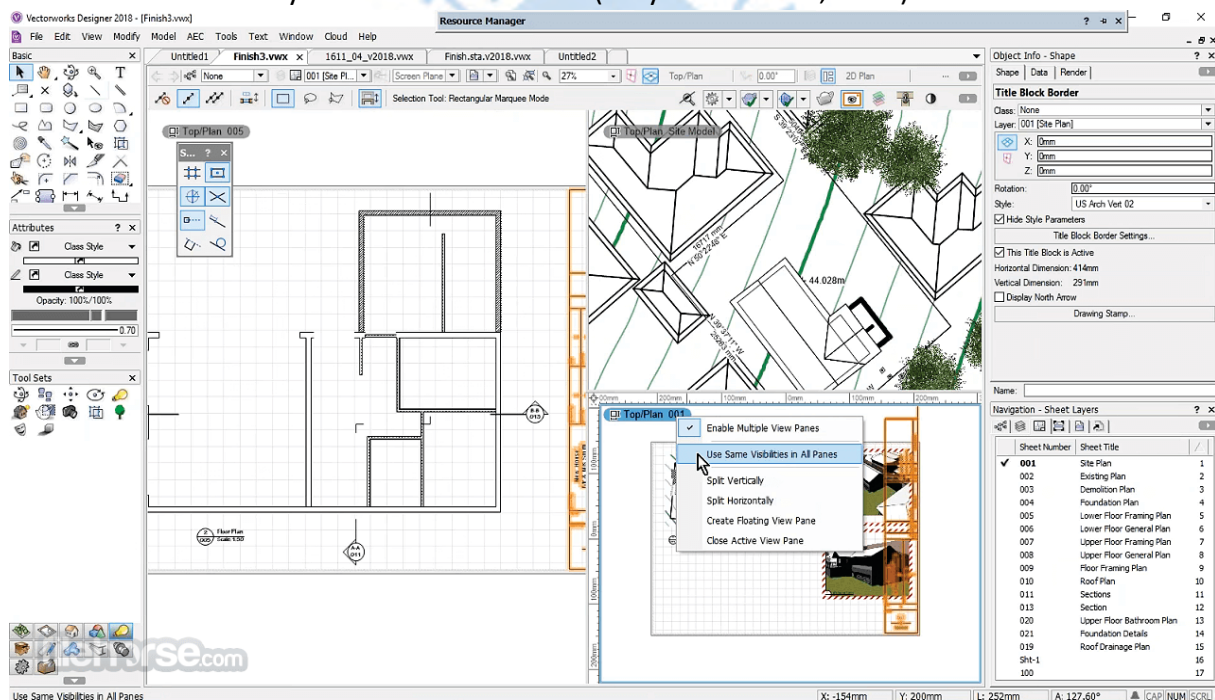


Figura 10. Interfaz de VectorWorks

Fuente: Adaptado de Vectorworks, por Filehorse, 2021, Filehorse (<https://cutt.ly/KvKPMBi>).

Las fortalezas y debilidades de Vectorworks se presenta en la siguiente tabla 13:

Tabla 13

Fortalezas y Debilidades de VectorWorks

Fortalezas	Debilidades
Vectorworks ofrece una variedad de soluciones en un solo software que complementa muy bien el diseño arquitectónico.	Carece de herramientas para funciones MEP y estructurales.

Fortalezas	Debilidades
Permite el modelado de objetos complejos gracias a través de su API.	Al tener una base centralizada basada en archivos genera que su desempeño se vea afectado mientras el proyecto y los documentos se hacen más extensos.
Vectorworks es mejor conocida por su soporte multiplataforma, numerosos modos de modelado 3D que son compatibles con núcleos de geometría Parasolid.	
Es otro de los softwares que está disponible en dos de los sistemas operativos más utilizados.	

Nota. Lévy & Ouellette (2019).

Los requerimientos para VectorWorks 2021, se presenta en la siguiente tabla 14:

Tabla 14

Requerimientos de hardware para obtener VectorWorks

Características de Hardware	Para proyectos pequeños, modelos/dibujos simples con un bajo nivel de detalle, representaciones simples	Para proyectos grandes, modelos/dibujos complejos y muy detallados, renderizado complejo	Para proyectos de tamaño mediano, modelos/dibujos complejos con un nivel medio de detalles
Sistema Operativo	MacOS 11.1, MacOS 10.15, MacOS 10.14, MacOS 10.13, MacOS 10.12, Windows 10 64-bit	MacOS 11.1 MacOS 10.15 MacOS 10.14 MacOS 10.13 MacOS 10.12 Windows 10 64-bit	MacOS 11.1 MacOS 10.15 MacOS 10.14 MacOS 10.13 MacOS 10.12 Windows 10 64-bit
Espacio disco en	10 Gb de espacio libre	10 Gb de espacio libre	10 Gb de espacio libre
Tipo de CPU	Procesadores Intel i5 o AMD Ryzen 5 o mejores.	Procesador 3.0 + Intel Core GHz i7 o AMD Ryzen 7 con ocho núcleos o mejores.	Procesador 2.0 + Intel Core GHz i7 o AMD Ryzen 7 con seis núcleos o mejores.
Memoria RAM	8GB o más	32 GB o más	16 GB o más
Resoluciones de vídeo	1440 x 900 o mayor	1920 x 1080 o mayor	1920 x 1080 o mayor
Adaptador de vídeo	Tarjeta gráfica compatible con OpenGL 2.1 con 2 GB de VRAM o más.	Tarjeta gráfica compatible con OpenGL 4.1 con 8GB de VRAM o más.	Tarjeta gráfica compatible con OpenGL 4.1 con 4GB de VRAM o más.

Nota. Vectorworks (2021).

2.1.4.6 EDIFICIUS. Desarrollado por la empresa ACCA software en el año 2012. Es un software relativamente nuevo que satisface especialmente las necesidades arquitectónicas, pero tiene también otras funciones para otras disciplinas y usos a los que llama “ambientes”, también ofrece la descarga en su versión estudiantil (Acca Software, 2021).

Acca Software menciona sus características principales:

- Edificius integra todas las funciones del diseño arquitectónico en 2D y 3D y de visualización arquitectónica que permite generar renderizados de muy buena calidad, con funciones de realidad aumentada, y todo en la misma plataforma.
- Tiene funciones para el diseño interior y para el diseño de paisajismo o espacios exteriores que se pueden integrar perfectamente con el diseño arquitectónico con su ambiente *Edificius Land*, además de modelar el terreno con rapidez y precisión, simular operaciones de excavación y rellenos y calcular los volúmenes de movimientos de tierra.
- Tiene además funciones para modelado MEP con el ambiente Edificius MEP. A pesar de no tener funciones para el diseño estructural. ACCA también tiene un software EDILus con el que es compatible.
- Entre otros de sus ambientes importantes es la integración del 4D con BIM 4D GANTT y BIM 5D, si se desea completar el presupuesto con más información no contenida en el modelo, se puede hacer a través de otra herramienta de ACCA llamada *PriMus*.
- Su formato nativo es EDF, pero tiene una lista extensa de formatos a los que exportar. Por ejemplo, el diagrama Gantt puede exportarse a Word, HTML o PDF, el presupuesto a DCF, Word (DOCX) y Excel (XLSX), los planos a formato DXF/DWG/DWF y los informes en RFT, etc.
- Con Edificius también se puede importar dibujos en formatos DXF/DWG y adicionar objetos externos al proyecto realizados en softwares como Revit, SketchUp, o Rhino/Grasshopper, en varios formatos (.3DS, .SKP, .OBJ, etc.). También se puede importar imágenes desde Google Maps.
- Edificius no es ajeno al estándar IFC por lo que es posible importar y exportar con dicho formato.
- Su interfaz se presenta en la figura 11.

Debido a su lanzamiento relativamente nuevo en comparación con el resto de las plataformas, aun no se encuentra mucha información disponible, por lo que las ventajas y desventajas que se han determinado por el equipo son en base a reseñas de especialistas en modelado BIM, es así como se tiene la tabla 15.

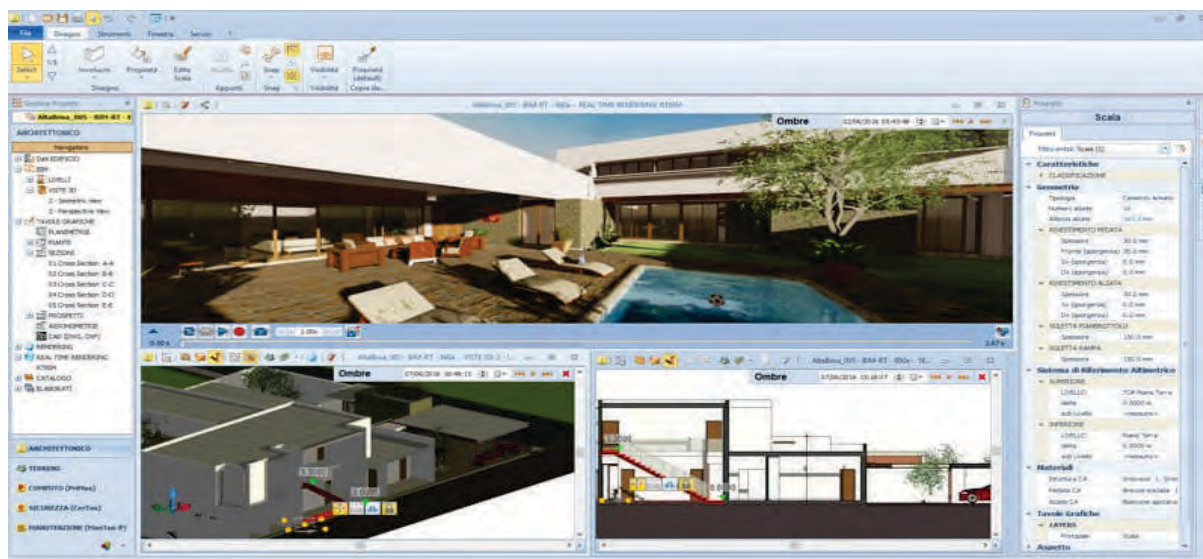


Figura 11. *Interfaz de Edificius*

Fuente: Adaptado de Edificius, por Biblus Acca Software, s.f, Biblus Acca Software (<https://cutt.ly/fvKAn2Y>).

Tabla 15

Fortalezas y Debilidades de Edificius

Fortalezas	Debilidades
Es un software con una interfaz bastante intuitiva, especialmente para las personas que están empezando a modelar. Va apareciendo a modo de ayuda, señales de cómo funciona el programa y tiene comandos muy útiles.	A pesar de ser un software enfocado principalmente a la arquitectura, tiene algunas carencias que se hacen notar cuando se viene de trabajar de una plataforma más grande.
Es un software que incluye muchas funciones e integra varias disciplinas en una sola plataforma.	No es el más adecuado para proyectos grandes, está más dirigido para empresas pequeñas y medianas de arquitectura.
Sus funciones de renderizado son bastante buenas y no se necesita mucho para obtener esos resultados tanto para su renderizado estático como el de tiempo real donde se puede agregar personajes y vehículos que se desplazan por ella.	Aunque permite la colaboración en la nube mediante los archivos IFC, no ofrece colaboración dentro del mismo proyecto.

Nota. Marin (2018).

Los requisitos del sistema se presentan en la tabla 16:

Tabla 16

Requerimientos de hardware para obtener Edificius

Características de Hardware	Modelos/escenas simples	Modelos/escenas medio-complejas	Modelos/escenas complejas
Memoria	8 GB RAM	16 GB RAM	32 GB RAM

Características de Hardware	Modelos/escenas simples	Modelos/escenas medio-complejas	Modelos/escenas complejas
Sistema Operativo	Windows 7 64-bit Windows 8 64-bit Windows 8.1 64-bit Windows 10 64-bit Con todas las actualizaciones instaladas.	Windows 7 64-bit Windows 8 64-bit Windows 8.1 64-bit Windows 10 64-bit Con todas las actualizaciones instaladas.	Windows 7 64-bit Windows 8 64-bit Windows 8.1 64-bit Windows 10 64-bit Con todas las actualizaciones instaladas.
Tipo de CPU	Procesador multi-core Xeon I-Series o AMD Aconsejados: AMD Ryzen 5 o 7, Intel Core i5 o i7 3.0 GHz o superior.	Procesador multi-core Xeon I-Series o AMD Aconsejados: AMD Ryzen 5 o 7, Intel Core i5 o i7 3.0 GHz o superior.	Procesador multi-core Xeon I-Series o AMD Aconsejados: AMD Ryzen 5 o 7, Intel Core i5 o i7 3.0 GHz o superior.
Resoluciones de vídeo	1280x720 (aconsejados 1920x1080).	1920x1080 píxel (aconsejados 1920x1080).	1920x1080 píxel (aconsejados 1920x1080).
Tarjeta de Video (GPU)	Por lo menos 2000 puntos <i>Pass Mark</i> con mínimo 2GB de memoria RAM.	Por lo menos 4000 puntos <i>Pass Mark</i> con mínimo 4GB de memoria RAM.	Por lo menos 11000 puntos <i>Pass Mark</i> con mínimo 8GB de memoria RAM.
Espacio en disco	2 (aconsejados 5) o más GB de espacio libre.	2 (aconsejados 5) o más GB de espacio libre.	10 o más GB de espacio libre.

Nota. Acca Software (s.f.).

Es importante mencionar, que los softwares presentados no son los únicos que existen en el mercado, la tabla 17 presenta otras plataformas.

Tabla 17

Otras plataformas BIM

Plataforma	Desarrollador
Tekla Structures	Tekla Corporation (Trimble)
DESTINI Profile	Beck Technology
Digital Project	Gehry Technologies (Trimble)

Nota. Sacks et al. (2018).

En la tabla 18 se presenta una comparación de las plataformas mencionadas en base a distintos indicadores. Cabe resaltar que el contenido de la tabla no es nuevo, se ha extraído de lo explicado en cada apartado. El propósito de este resumen no es mostrar cuál es la mejor plataforma BIM, sino exponer de forma sintetizada lo más resaltante de cada una.

Tabla 18

Comparación de Plataformas BIM

Característica	Revit	Archicad	AllPlan	Openbuilding Designer	Vectorworks	Edificius
Desarrollador	Autodesk	Graphisoft	Nemetschek	Bentley Systems	Nemetschek	Acca Software
Funciones	Arquitectura Ingeniería estructural Ingeniería MEP	Arquitectura	Arquitectura Ingeniería administración de instalaciones	Arquitectura Ingeniería MEP Ingeniería estructural	Arquitectura Paisajismo entretenimiento	Arquitectura Paisajismo ingeniería MEP
Simplicidad	Interfaz intuitiva, bien diseñada y amigable con el usuario.	Interfaz es intuitiva y relativamente simple de usar.	Interfaz compleja		Interfaz amigable	Interfaz intuitiva
Interoperabilidad con IFC	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Expansión de funcionalidad con plugins (API)	Sí admite complementos	Sí admite complementos	Sí admite complementos	No menciona	Sí admite complejos	No menciona
Sistema Operativo	Windows	Windows Mac OS	Windows	Windows	Windows Mac OS	Windows
Principales características	Elaboración de cronogramas. Conjunto amplio de bibliotecas.	Librería de objetos extensa ordenada por sistemas.	Combina elementos en 2D y 3D. Permite la elaboración de	Permite obtener documentos fiables y de gran calidad. Diseño Generativo	Permite el modelado de objetos complejos Admite la colaboración de	Tiene herramientas para renderizar con funciones de realidad aumentada

Característica	Revit	Archicad	AllPlan	Openbuilding Designer	Vectorworks	Edificius
Diseño generativo.	Permite el trabajo compartido.	Permite el trabajo compartido.	modelos complejos.	Presenta herramientas para visualización y renderizado del modelo.	multiusuarios en un solo archivo.	Integra herramientas 4D y 5D.
Permite el trabajo compartido.	Permite la personalización de objetos nuevos o predefinidos.	Permite personalizar objetos con su lenguaje GDL.	Sus objetos paramétricos se llaman "Smart Parts". Los reportes y cálculos de presupuestos son fáciles de obtener y de mucha fiabilidad.	Presenta también herramientas para análisis de rendimiento y detección de interferencias.		Permite modelar el terreno del proyecto y obtener los cálculos de volumen de tierra.
			Su módulo de ingeniería abarca edificios y cualquier proyecto de ingeniería civil.			
Versión estudiantil	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

2.2 Herramientas BIM

Una herramienta BIM, es un transmisor, receptor y procesador de información que se utiliza dentro de un proceso BIM en asociación con las plataformas BIM. En resumen, son los softwares con los que se pueden estimar costos, planificar, hacer control de calidad, navegar a través del modelo, visualizar renderizar, simular, etc. AutoCAD, incluso siendo un software de dibujos en 2D puede llegar a ser una herramienta BIM siempre y cuando se utilice dentro del contexto BIM. En esta sección también se mencionan los complementos o *plugins* (Sacks et al., 2018).

Las herramientas de BIM, son aquellos softwares que se utilizan en las dimensiones 4D, 5D, 6D y 7D. Los softwares que acompañan al modelado 3D como aquellos para el renderizado y visualización también se consideran herramientas BIM siempre y cuando se utilicen dentro de un proceso BIM, un ejemplo de esto se verá más adelante.

Antes de empezar el listado, es importante acotar que en el mercado existen infinidad de herramientas BIM para distintos usos, que incluso se llegan a utilizar de formas combinadas para expandir su funcionalidad y obtener resultados fiables de forma rápida y sencilla.

2.2.1 Herramientas para BIM 3D

2.2.1.1 Herramientas para renderizado. Se muestran los softwares para renderizar modelos BIM en la tabla 19:

Tabla 19

Softwares para renderizar modelos BIM

Software	Desarrollador	Funciones	Observaciones
Sketch Up	Trimble Navigation	Tiene funciones para modelado, pero no del tipo paramétrico.	Utiliza un motor de renderizado "Vray" que combina diseño en real-time y renderizado fotorrealista.
Lumion	Act-3D B.V	Permite convertir rápidamente, modelados 3D en videos, imágenes y presentaciones online en 360°.	Lumion es compatible por medio de plug-ins con los diferentes programas de modelado como Revit, SketchUp, ArchiCAD, etc.
3D MAX	Autodesk	Permite agregar texturas y volúmenes, acabados en vegetación, a partir de un modelo 3D.	Es un software para el desarrollo de videojuegos, por eso utiliza un modelado poligonal. Este tipo de modelado permite alto grado de control sobre polígonos individuales, dando mayor grado de detalle y precisión al momento de renderizar.

Software	Desarrollador	Funciones	Observaciones
Cinema 4D	Maxon Computer	Cinema 4D trabaja junto a Allplan, teniendo funciones de: renderizado, diseño de materiales, construcción de escenarios, calibrado de cámara y modelado.	Crea entornos con autentica iluminación HDRI, además de permitir usar luces IES e Iluminación Global (IG) para conseguir resultados rápidos y ultra realistas, en renderizado de interiores.
Maya	Autodesk	Cuenta con herramientas de manipulación y animación con una gran biblioteca de animación, lo que le permite lograr mejores recorridos virtuales.	Maya y 3DMax, tienen incorporado el motor mental de renderizado. Ambas pueden realizar renders, pero Maya se especializa en animaciones y recorridos virtuales, siendo más completo y versátil.

Nota. La información ha sido recogida de las páginas web oficiales de los softwares.

2.2.1.2 Herramientas para el análisis estructural y de instalaciones MEP. A pesar de que muchas de las plataformas BIM tienen herramientas para el análisis estructural, están llegando a ser muy limitadas para algunos fines, es por ello por lo que es conveniente expandir ese análisis con más funciones, y eso se hace posible con el uso de herramientas específicas como las mostradas en la tabla 20.

Tabla 20

Softwares para análisis estructural y MEP

Software	Desarrollador	Características	Observaciones
Análisis estructural			
ROBOT STRUCTURAL ANALYSIS	Autodesk	Para cualquier tipo de estructura	Entrega el despiece de acero
CYPECAD	CYPE	Para cualquier tipo de estructura	Entrega el despiece de acero
ETABS	CSI	Edificios	No entrega el despiece de acero
SAP2000	CSI	Para cualquier tipo de estructura	No entrega el despiece de acero
Análisis MEP			
CYPEMEP	CYPE	Incluye normas para el diseño y dimensionamiento de instalaciones de muchos tipos.	
DDS-CAD	Data Design System	Diseña sistemas MEP, realiza cálculos y crea reportes y documentos.	

Nota. La información ha sido recogida de las páginas web oficiales de los softwares.

Estos softwares se usan en un entorno BIM, al recibir un modelo estructural proveniente del modelo geométrico realizado en la plataforma principal, (aunque también tienen funciones de modelado), el cual puede ser analizado mediante procesos de simulación con cargas de todo tipo para finalmente verificar si el diseño es correcto y entregar todos los cálculos para la respectiva documentación.

En el caso del análisis MEP, plataformas como Revit y OpenBuilding Designer también tienen un módulo para dichas funciones, sin embargo, se presentarán algunas opciones más.

2.2.1.3 Herramientas para visualizar y revisar modelos BIM. El objetivo de los softwares presentes en la tabla 21 es la visualización y revisión del modelo a través de la navegación en él. Existen otros softwares que cumplen ese requisito, pero han ampliado sus funciones, estos serán mencionados en la siguiente tabla. Los programas presentes en esta sección tienen funciones puramente de visualización, así como de medición de longitudes y ángulos (Sacks et al., 2018).

Tabla 21

Softwares para visualizar modelos BIM

Software	Desarrollador	Funciones y características	Observaciones
Solibri Anywhere	Solibri	Tiene algunas funciones como medición de longitudes y ángulos. su formato nativo es IFC.	Gratuito
Naviswork Freedom	Autodesk	Permite la colaboración con otros profesionales en tiempo real.	Gratuito
BIMx	Graphisoft	Permite la medición de distancias entre puntos.	Gratuito y disponible también en el móvil y en la web.

Nota. La información ha sido recogida de las páginas web oficiales de los softwares.

2.2.1.4 Herramientas para detección de interferencias. Estos softwares tienen como principal propósito juntar varios modelos para formar uno solo, denominado modelo federado, para llevar a cabo la detección de interferencias (Sacks et al., 2018). Muchos de ellos tienen funciones más avanzadas para la gestión de la construcción (para 4D y 5D), es por ello por lo que se les volverá a mencionar a algunos en otras tablas, mientras otros tienen funciones para evaluación del modelo con el fin de garantizar su calidad.

Tabla 22

Softwares para la detección de interferencias en modelos BIM

Software	Desarrollador	Funciones	Observaciones
Solibri Office	Solibri	Tiene funciones para la evaluación del modelo y así asegurar su calidad.	Hay otra versión llamada "Solibri Enterprise" que también realiza Clash detection, especial para compañías y proyectos grandes.

Software	Desarrollador	Funciones	Observaciones
Naviswork Manage	Autodesk	Tiene funciones de coordinación, herramientas para el análisis 5D, cuantificación y simulación.	-
Trimble Connect (Full versión)	Trimble	Funciones para navegación y visualización.	Disponible también en web y en el móvil.
Revizto	Revizto	Tiene herramientas de realidad virtual.	Disponible también en dispositivos móviles.
iTWO 4.0	iTWO	Es una plataforma 5D BIM. Integra además construcción modular, gestión inteligente de la cadena de suministro, etc.	-

Nota. La información ha sido recogida de las páginas web oficiales de los softwares.

2.2.2 Herramientas para BIM 4D-5D

2.2.2.1 Simuladores 4D-Planificación. Se muestran los softwares para simulación 4D en la tabla 23:

Tabla 23

Softwares BIM 4D

Software	Desarrollador	Características	Observaciones	Vinculación
Naviswork Manage	Autodesk	Crea diagramas de Gantt directamente a partir de los modelos (recomendable para proyectos pequeños), aunque también importa información de aplicaciones externas.	Tiene mucha más fluidez con Revit.	Se integra con programas de planificación como Primavera y MS Project.
Synchro Pro	Synchro Software	Crea diagramas Gantt usando el método del camino crítico CPM (<i>Critical Path Method</i>) (muy importante para proyectos complejos).	Tiene mucha flexibilidad con cualquier plataforma BIM.	Se integra con programas de planificación como Primavera, MS project, Safran y PowerProjectc.

Software	Desarrollador	Características	Observaciones	Vinculación
Vico Office	Construsoft	Crea diagramas Gantt y también proporciona un diagrama espacio/tiempo llamado "Planificación Flowline o línea de balance" para lograr una planificación tipo lean.	Es compatible con muchas plataformas BIM.	Se integra con programas de planificación como Primavera y MS Project.

Nota. La información ha sido recogida de las páginas web oficiales de los softwares.

2.2.2.2 Simulación 5D-Estimación de costos. No se pensaría que estos softwares pueden ser una herramienta BIM, dado que se utilizan actualmente en proyectos tradicionales, sin embargo, muchos de ellos tienen módulos o enlaces directos con plataformas BIM y han sido diseñados para obtener la medición y generar un presupuesto a partir de un modelo BIM (ver tabla 24).

Tabla 24

Softwares BIM 5D

Software	Desarrollador	Características
Arquímedes	Cype	Tiene un módulo (plug-in) llamado "Presupuesto y medición de modelos BIM" que permite una conexión directa con Revit (de la versión 2015 para adelante).
Presto	RIB Spain	Funciona como un proceso integrado y bidireccional donde el plug in "Cost-In" de Revit se comunica con Presto para generar las mediciones y presupuestos.
TCQ	ITEC	Permite la creación de presupuestos clasificando los componentes del modelo, mediante el uso la potencia del banco ITeC a partir de su exportación a: Autodesk-Revit, Bentley-AECOSim, Nemestcheck-All-plan, Graphisoft-Archicad, Timplee-Tekla Structures.

Nota. La información ha sido recogida de las páginas web oficiales de los softwares.

2.2.3 Herramientas para BIM 6D-Eficiencia energética

El propósito principal de los softwares de la sexta dimensión es garantizar a los proyectistas de que su diseño ha cumplido con los requisitos establecidos en cuanto a eficiencia energética o existen casos en donde se busca certificaciones energéticas como un sello LED, entonces el uso de estos programas se hace indispensable (Equipo BIMnD, 2019).

Los modelos geométricos obtenidos en las plataformas BIM se convierten en modelos analíticos o energéticos mediante la definición de características térmicas de los materiales, tipo de instalación, zonas térmicas, etc., y luego se utilizan para realizar cálculos y simulaciones

(Ianni, 2020). Muchos de estos programas se apoyan en motores de simulación avanzados como EnergyPlus (ver tabla 25) (Equipo BIMnD, 2019).

Tabla 25

Softwares BIM 6D

Software	Desarrollador	Características	Observaciones
Insight 360	Autodesk	Captura las interacciones de todo el edificio y realiza el análisis y simulación de energía térmica dinámica completa utilizando DOE 2.2. y EnergyPlus.	Funciona en la nube y también tiene una versión a modo de plugin que funciona en Revit. Se complementa con Green Building Studio para la extracción de tablas y gráficos con todos los resultados obtenidos.
Design Builder	Design Builder	Cuenta con 9 módulos para tareas y análisis específicos como: Simulación con Energy Plus, Iluminación con Radiance y Daysim, etc.	-
CypeTherm	Cype	Es un grupo de programas para el análisis térmico y energético de edificios que incluye funciones como: simulación, cálculo de carga térmica y de transmitancia térmica, etc.	-

Nota. La información ha sido recogida de las páginas web oficiales de los softwares.

2.2.4 Herramientas para BIM 7D-Facility management

Las herramientas para la gestión de activos tienen ciertas características que permite gestionar de manera óptima y sostenible los activos, entre ellas se tiene: ser compatible con sistemas CMMS (Gestión de mantenimiento asistido por computadora), IoT (Internet of Things); facilitar la conexión entre todos los agentes, empresas y responsables que intervienen en dicha gestión; estar disponible en cualquier tipo de dispositivo: web, móvil, etc. (ver tabla 26) (BIM FORUM CHILE, 2018).

Esas son solo algunas de las características más resaltantes. Los softwares 7D BIM reciben el modelo de operaciones (modelo BIM en fase de operaciones) con sus datos en un formato llamado COBie, que se explicará más adelante, o en formato nativo (procedente de la plataforma en la que fue realizado), y es función de la persona encargada de dicha gestión llamada facility manager, volcar toda esa información en la herramienta que elija que le permita trabajar en un entorno BIM para así reducir los costos, simplificar el acceso a la

información y actualización, mantenimiento, toma de decisiones, con el fin de cumplir con su plan estratégico (BIM FORUM CHILE, 2018).

Tabla 26

Softwares BIM 7D

Software	Desarrollador	Características
IBM TRIRIGA	IBM	Orientado la gestión de bienes inmuebles e instalaciones. Existe una versión parecida llamada IBM Máxima, orientada a la gestión de activos empresariales.
DALUX FM	DALUX	Permite que todos los involucrados de la gestión estén conectados, integra toda la documentación en 2D y 3D para que los responsables dispongan de ella en cualquier dispositivo.
ARCHIBUS	ARCHIBUS	Automatizar el flujo de información desde las fases tempranas del proyecto hasta la gestión de activos.

Nota. La información ha sido recogida de las páginas web oficiales de los softwares.

2.2.5 Herramientas para modelado de obras civiles

Si bien, BIM fue diseñado originalmente para edificios, su uso se ha ido expandiendo en distintas ramas de la ingeniería civil, especialmente en temas de interoperabilidad (Costin et al., 2018). BIM para los proyectos civil mejora los resultados al facilitar el análisis de varios escenarios, permitiendo entregas de acuerdo con la programación y presupuesto establecido, todo respaldado por datos y en un entorno colaborativo (ver tabla 27) (Autodesk, s.f.).

Tabla 27

Softwares BIM para obras civiles

Software	Desarrollador	Características
Civil 3D	Autodesk	Modela superficies, obras lineales, diseña emplazamientos, alcantarillado y saneamiento y produce y documenta planos.
Infraworks	Autodesk	Permite modelar, analizar y visualizar los conceptos de diseño en un contexto real rodeados del entorno natural y de construcción.
Istram	Buhodra	Permite diseñar cualquier tipo de proyecto de obra lineal como carreteras, ferrocarriles, puentes, control de túneles, saneamiento, etc.

Nota. La información ha sido recogida de las páginas web oficiales de los softwares.

Bentley Systems tiene una gama amplia de softwares dedicados a ingeniería civil, desde proyectos de obras lineales como carreteras, puentes, ferrovías hasta proyectos geotécnicos, hidráulicos e hidrológicos.

Con el objetivo de ampliar el conocimiento de las herramientas BIM, se presentan en la tabla 28, los nombres de algunos softwares que también se encuentran en el mercado.

Tabla 28

Otras herramientas BIM

BIM 3D					
Software	Desarrollador	Software	Desarrollador	Software	Desarrollador
Visores 3D y detectores de interferencias		Análisis Estructural		Análisis MEP	
usBIM Viewer	ACCA software	Tricalc	Arktec	MagiCAD	PROGMAN
BIM Keeper	IRP	Tekla Structures Design	Tekla Corporation (Trimble)	TekTon 3D	INVENTA
BIMSYNC	Catenda	MSC Nastran	MSC Software		
BIMvision	DataComp	SCIA	Nemetscheck Group		
BIMcollab Zoom	BIMCollab				
BIM 4D					
Software			Desarrollador		
TCQj			iTeC		
STR Vision CPM			TeamSystem		
Asta PowerProject			Projects Analytics		
GritVirtual			GritVirtual		
BIM 5D					
Software			Desarrollador		
Gest.MidePlan			Arktec		
STR Vision CPM			TeamSystem		
BIM 6D					
Software			Desarrollador		
IES Virtual Environment			Integrated Environmental Solutions		
EcoDesigner			Graphisoft		
Formit 360			Autodesk		
BIM 7D					
Software			Desarrollador		
YouBIM			YouBIM		
FMSystems			FMSystems Group		
Onuma			Onuma System		
BIM 360 OPS			Autodesk		
BIM PARA OBRAS CIVILES					
Software			Desarrollador		
OpenRail Designer			Bentley Systems		
OpenGround Cloud			Bentley Systems		
WaterGEMS			Bentley Systems		
OpenBridge Modeler			Bentley Systems		

Nota. La información ha sido recogida de las páginas web oficiales de los softwares.



Capítulo 3

Interoperabilidad y colaboración

A medida que van apareciendo más softwares BIM en el mercado, la necesidad de intercambiar datos entre ellos también crece. El objetivo de este capítulo es explicar la interoperabilidad una de las características más importantes de usar BIM, y los métodos más relevantes para el intercambio de datos. La interoperabilidad permite que se logre la colaboración en los flujos de trabajo en la que se basa BIM y para ello se introduce el concepto de CDE o *Common Data Environment*.

3.1 Interoperabilidad

Interoperabilidad se define como la capacidad para pasar información entre aplicaciones o múltiples aplicaciones para que conjuntamente contribuyan a realizar el trabajo. La Interoperabilidad elimina la necesidad de copiar manualmente la data que ya ha sido generada por otra aplicación (Sacks et al., 2018).

BIM se basa también en trabajar colaborativamente intercambiando y reusando información constantemente. Una vez que el equipo comienza a compartir información, empiezan los problemas de interoperabilidad (Sacks et al., 2018). MacGraw-Hill y Doge, en una encuesta, identificaron a la interoperabilidad como un problema crítico para los usuarios de BIM. Su importancia crece ya que se ha determinado que la colaboración efectiva entre los participantes es uno de los factores críticos para que los proyectos BIM sean exitosos (Won et al.; 2013, citado en Sacks et al., 2018).

Existen diferentes métodos de intercambio de datos para resolver distintos tipos de problemas de interoperabilidad, estos son (Sacks et al., 2018):

- **Enlace Directos:** Se da entre 2 aplicaciones a través de una Interfaz de Programación de Aplicaciones o más conocido por las siglas en inglés API (*Application Programming Interface*), de un sistema, cuando un modelo no es lo suficientemente maduro para soportar el intercambio de información entre dos aplicaciones. Existen algunas aplicaciones que provee sus propias interfaces como lo son REVIT con su OPEN API, ARCHICAD con GDL y Bentley con MDL.

Típicamente estas API se basan en lenguajes de programación como C++, C# y lenguajes Visual Basic.

- Datos basados en archivos: Es un método de intercambio de datos a través de un archivo del modelo utilizando dos tipos de formatos: el formato propio, que es un esquema de datos desarrollado por una organización comercial para interconectar con las aplicaciones de dicha compañía, lo más conocidos son DXF y RVT de Autodesk; PLN de Graphisoft y DGN de Bentley. El otro es el formato estándar público y abierto, donde se encuentra *Industry Foundation Classes* o más conocido como IFC y el CIS/2.
- Intercambio de datos basado en un Modelo-Servidor: es un método para compartir información mediante un sistema de manejo de base de datos para BIM o más conocido por sus siglas en inglés DBMS (Data Base Management System). Comúnmente se le atribuye distintas denominaciones como: Servidor BIM, Servidor IFC, repositorio de datos o CDE (Common Data Environment). Por lo general la estructura de este servidor está basado en los modelos estándares como IFC y CIS/2. Ejemplo de estos servidores son los siguientes: IFC Model Server, CIS 2 SQL, OF-IFC Server, etc.

3.1.1 Industry Foundation Classes (IFC)

IFC es un esquema desarrollado por la compañía “buildingSMART”, cuyo fin es definir un conjunto muy amplio de representaciones de los datos relacionados al diseño y ciclo de vida de las obras civiles para el intercambio de información entre las distintas aplicaciones de la industria AEC (buildingSMART International, s.f.). Además, es un estándar internacional abierto (ISO 16739), cuyas características más predominantes según (Lévy & Ouellette, 2019) son:

- Abierto: Disponible para cualquier desarrollador de software y documentado públicamente.
- Neutro: No favorece a ninguna aplicación, conjunto de aplicaciones, desarrollador o proveedor de un software, plataforma de hardware o sistema operativo. Además, IFC es multilingüe.
- No tiene propietario ni es un formato de archivo nativo para ninguna aplicación lo que asegura su neutralidad.

Inicialmente IFC fue diseñado solo para abordar toda la información de un edificio desde su factibilidad y planeamiento, a través del diseño y construcción hasta la operación y mantenimiento. Sin embargo, en los últimos años nace la iniciativa de expandir su uso hacia los proyectos de infraestructura que incluyen carreteras, ferrocarriles, túneles, acueductos así nace el proyecto IFC Infrastructure Extensions, el cual sigue a la actualidad en sus fases de desarrollo (buildingSMART, s.f.).

3.1.1.1 Usos y ventajas del IFC. Muchas veces se le ha atribuido a IFC de ser un “formato de texto”, como lo es DXG o RVT, sin embargo, como se ha explicado anteriormente; IFC es un esquema que tiene distintos tipos de formatos. En resumidas palabras, IFC se utiliza para intercambiar información, tanto geométrica como no geométrica de un modelo de un edificio, sin perder datos o distorsionarlos, de un software a otro (de distintas casas de fabricantes) para un fin específico (Phiri, 2016). Su fin principal es favorecer la interoperabilidad dentro del sector AEC (Sacks et al., 2018).

Un ejemplo claro: Un arquitecto puede proporcionar al propietario un modelo que hizo en REVIT, de un nuevo diseño de instalación bajo uno de los formatos IFC, el propietario puede enviar ese modelo a un contratista para solicitar una cotización, y el contratista puede proporcionar al propietario un modelo “as-built” con detalles que describen el equipo instalado e información del fabricante. Otro uso muy común de IFC es para archivar información de un proyecto en todas sus fases ya sea de forma incremental o como una recopilación de información “as built” para luego ser utilizada con fines operativos y conservarla a largo plazo para remodelaciones futuras (buildingSMART International, s.f.).

Al hablar de IFC, es necesario introducir un concepto llamado OpenBIM, el cuál es un enfoque universal al diseño colaborativo, realización y operativa de los edificios basado en flujos de trabajo y estándares abiertos. Los objetivos de este enfoque se cumplen gracias al uso de IFC que permite el intercambio de datos y elimina las restricciones para todos los actores de las distintas disciplinas que participan en la creación de un modelo BIM (buildingSMART Spain, s.f.).

Por lo tanto, los miembros pueden sentirse libres de utilizar cualquier software de su preferencia, teniendo en cuenta su compatibilidad con IFC. Lo contrario a *OpenBIM* sería *Closed BIM*. *ClosedBIM*, pone énfasis primario en la plataforma donde los datos se crean y a esa data solo se puede acceder cuando la misma plataforma o sus variantes se usan, por ejemplo, Revit y Robot Structural, ambas de Autodesk. Por lo tanto, se ven afectados el alcance y la calidad de la data ya que se dependen enteramente en las capacidades técnicas de la plataforma seleccionada. Cualquier herramienta distinta, aunque sea importante para el flujo de trabajo o para algún miembro, se omite al no haber compatibilidad (Lévy & Ouellette, 2019).

IFC significa un gran avance para lograr la interoperabilidad y el trabajo colaborativo en el que se apoya BIM, sin embargo, también presenta sus limitaciones.

Por un lado, IFC es de uso estrictamente para BIM, no para flujos de trabajo de documentación 2D. Por otro lado, los usuarios no pueden esperar a que una columna IFC importada, sea fácilmente editable como si se hiciera en la plataforma en la que fue creada. Es por ello por lo que muchos especialistas y buildingSMART hacen una analogía, diciendo que IFC es como el PDF de BIM. Esto significa que un documento con extensión IFC no es editable. Hay valor en esto, por ejemplo: un ingeniero estructural comparte su modelo con un

arquitecto y no espera que este último lo modifique. El arquitecto lo está solicitando para la coordinación y para el diseño de su disciplina, pero es responsabilidad del ingeniero crear y editar ese modelo estructural. Si el arquitecto considera que un muro no debe ir donde lo ha ubicado el ingeniero, lo correcto es que se lo comunique a él para que haga el cambio y se cree un nuevo archivo IFC.

Por lo tanto, los miembros del proyecto de diseño de distintas plataformas BIM no deben esperar colaborar tan de cerca en un modelo BIM donde puedan editar el modelo del otro. El modelo IFC no tiene como fin ser editable o un modelo BIM presentable. Su verdadero valor recae en el intercambio de información crítica del proyecto, desde la geometría a las clasificaciones de los elementos del modelo (Lévy & Ouellette, 2019).

Aunque cada vez vayan apareciendo softwares que prometen modificar información del modelo y se abra un debate en los foros de BIM donde se explican técnicas para poder cambiar las características, sigue siendo muy limitado. Es aquí donde surge la pregunta: ¿Dónde más se puede usar IFC?

Los proyectos BIM, no solo se basan en modelar un diseño, sino su verdadero concepto incluye también análisis, fabricación, simulación, gestión, etc., y se hace inevitable que varios profesionales se vayan incluyendo. IFC provee a los diseñadores, una amplia gama de herramientas de simulación, análisis, visualización y más, permitiendo que se mejore el diseño basado en el rendimiento; entre las tareas que se pueden realizar gracias a IFC, Lévy & Ouellette (2019) menciona:

- Simulación de rendimiento térmico: Aunque plataformas como REVIT o ARCHICAD ya tienen sus herramientas propias de simulación térmica, tienen funciones limitadas. IFC permite exportar modelos a softwares más completas como OpenStudio y Simergy.
- Análisis de consumo de recursos y energía: A pesar de que este tipo de análisis no termine siendo del todo cierto, al depender del comportamiento del hombre, IFC permite el acceso a múltiples aplicaciones que realizan este tipo de análisis que incluye iluminación, consumo de energía de los equipos, sistema de generación de energía in-situ, consumo de agua, todo dentro del contexto de horarios de uso y ocupación.
- Iluminación Natural: IFC permite el acceso a softwares como IES Virtual Environment u Open Studio.
- Zonificación, ocupación humana y movimiento: Un ejemplo es el uso del software SImTread para simulación en casos de emergencia y evacuación de desastres.
- Simulación de costos.
- Coordinación/detección de interferencias: con ayuda de visores como BIMcollab Zoom se puede identificar que todos los elementos estén correctos y detectar, a simple vista, errores de cohesión entre elementos. En este caso no se hace de

forma automática la detección de interferencias, para ello existen otros programas como Naviswork, Solibri, etc.

Estos son los usos más comunes de IFC, aunque la imaginación de cualquier arquitecto o ingeniero ha permitido que se vayan abriendo más opciones, incluso saliendo de los proyectos de edificación, por ejemplo: Importar un puente con extensión IFC en Infracore donde se ha corrido una carretera hecha en Civil 3D para poder visualizar como se ensambla todo como un conjunto (Ver figura 12). Otro problema que se puede resolver con IFC es la compatibilidad de Revit con versiones anteriores del software, en efecto, se podría abrir en Revit 2018, un modelo creado en la versión 2020.

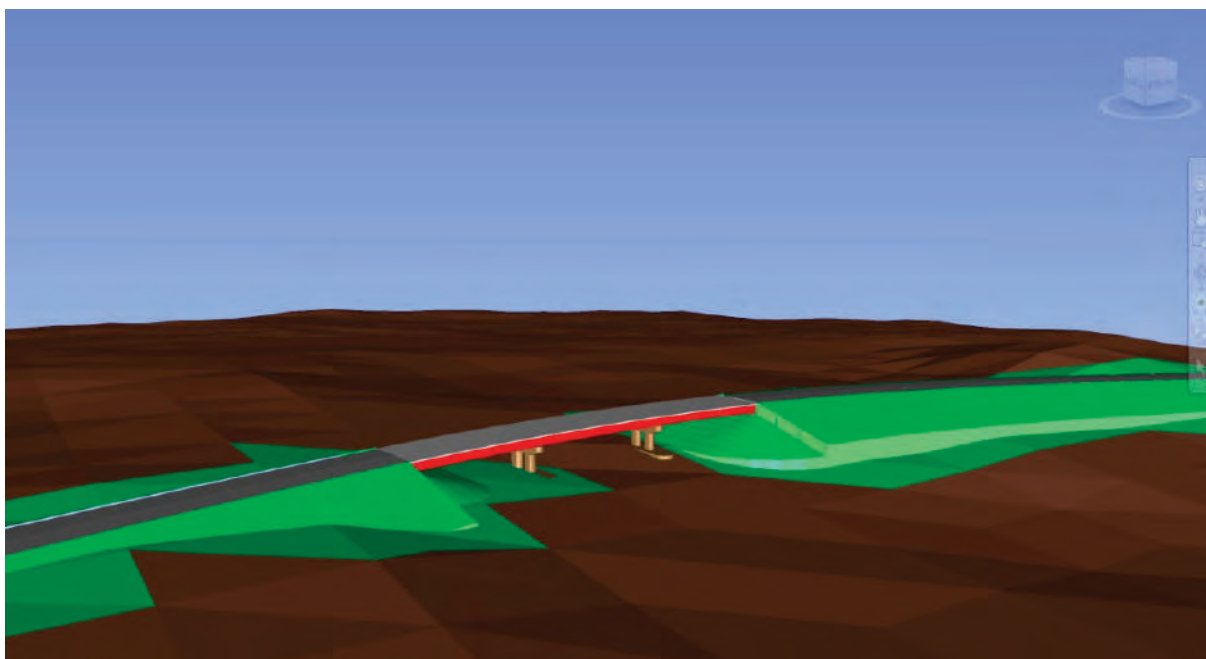


Figura 12. Modelo vial 3D generado por Infracore

Finalmente, Lévy & Ouellette (2019) hace otra analogía interesante mencionando que pensar en BIM e IFC es como pensar en el internet y HTML. Toda la información en internet es de fácil acceso con poco esfuerzo gracias a que todas las herramientas de software se apoyan en HTML para visualizar su información. Actualmente IFC sigue presentando problemas en los procesos ya que se llega a perder parte de la información, pero, así como la tecnología avanza, estos estándares van evolucionando con el fin de mejorar la experiencia de los usuarios, y en este caso seguir fortaleciendo la interoperabilidad de BIM.

3.1.1.2 Versiones y certificaciones. IFC está basado en la tecnología ISO-STEP y en el lenguaje de programación EXPRESS (Sacks et al., 2018) y como cualquier esquema para intercambiar información ha ido evolucionando conforme ha pasado el tiempo, se le han ido adicionando más características, modificando otras, etc. Antes de empezar a mencionar las principales versiones, se mostrará las notaciones de las versiones, para un mejor entendimiento (Ver figura 13):



Figura 13. Notación de las versiones IFC

Fuente: Adaptado de *IFC Specifications Database*, por Building Smart, 2021, (<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>).

Donde, según (buildingSMART International, s.f.):

- Versión Principal/ Mayor release: consiste en expansiones o eliminaciones del alcance y pueden tener cambios que rompan la compatibilidad.
- Versión Secundaria/ Minor release: consiste en extensiones de funciones, donde la compatibilidad está garantizada para el esquema "básico", pero no para otras definiciones.
- Adenda/ Addendum: consiste en mejorar a las características existentes, donde el esquema puede cambiar, pero la compatibilidad con versiones superiores está garantizada.
- Corrección/Corrigendum: consisten en mejoras a la documentación, donde el esquema no cambia, aunque es posible que se desactive.

Entre las principales versiones se encuentran (buildingSMART International, s.f.):

- IFC1.0 (1.0.0.0): Primera versión de IFC en el año 1996. Actualmente se encuentra retirada.
- IFC2x (2.1.0.0): Publicada el año 2000 como la primera versión de la plataforma IFC. También esta retirada.
- IFC2x3 (2.3.0.0): Publicada en el año 2006 como sucesor de IFC2x2 Edición 2. Su estado actual es retirado.
- IFC2x3 TC1 (2.3.0.1): Al lanzarse esta versión en el año 2007, la versión IFC2x3 (como todas las versiones anteriores de IFC) fueron reemplazadas por esta; y es justamente la que se recomienda utilizar a partir de ese momento. Es el esquema oficial de la versión principal número 2.
- IFC4 (4.0.0.0): lanzada en el año 2013, en esta versión se corrigieron los problemas técnicos encontrados desde el lanzamiento de IFC2x3, Además permitió la extensión de IFC a la infraestructura y otras partes del entorno de construcción.

Esta versión está actualmente retirada. Luego aparecieron IFC4 ADD1 (4.0.1.0), IFC4 ADD2 (4.0.2.0), que también fueron retiradas.

- IFC4 AAD2 TC1 (4.0.2.1): Publicada en el año 2017, este es el esquema principal de la cuarta versión, su propósito principal es proporcionar correcciones y aclaraciones a la documentación del esquema y sus partes constituyentes.

Estas versiones trajeron consigo que buildingSMART internacional creará un programa de certificación de software cuya finalidad era garantizar en múltiples proveedores de software y aplicaciones en todo el mercado global, que se realice una correcta importación y exportación de los datos IFC asegurando que se cumpliera con los estándares. Por lo tanto, si un software está certificado, quiere decir que es un programa que tiene la capacidad de leer, escribir e intercambiar datos de esta clase con otros programas.

Al introducir el proceso de certificación, es importante también introducir un nuevo término llamado: Model View Definition, o más conocido por sus siglas MVD, el cual constituye en una vista filtrada del esquema de datos IFC, es decir selecciona algunas clases de dicho esquema, esto evita que en el proceso del intercambio de información haya datos redundantes y los programas vinculen la información útil para un fin específico. Bajo esta premisa, se tiene un modelo más lógico y el intercambio de datos se agiliza (ver figura 14) (Biblus, s.f.).

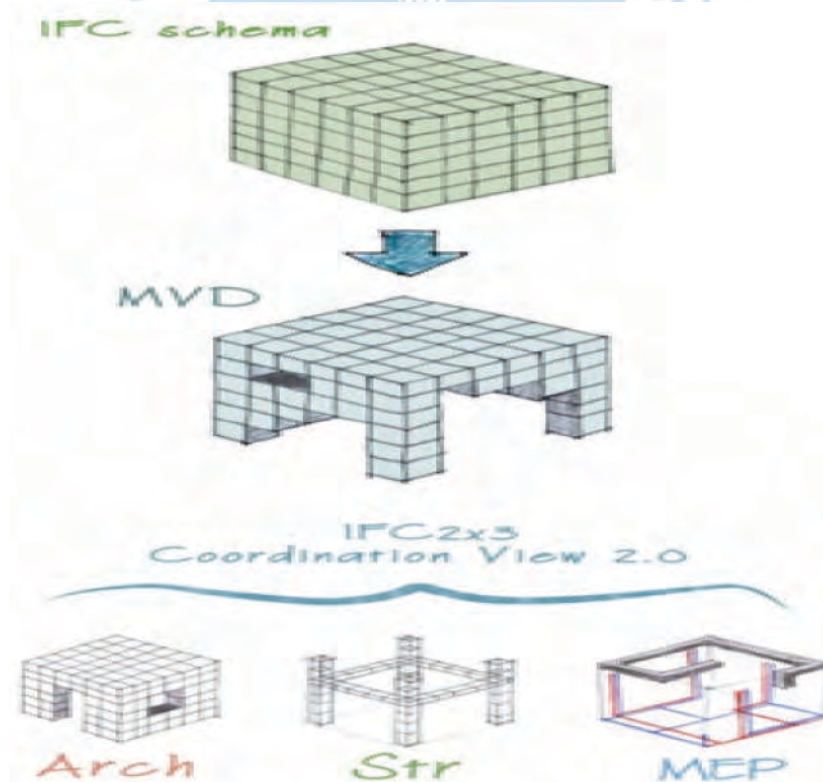


Figura 14. Esquema IFC y MVD

Fuente: Adaptado de *IFC coordination view*, por Biblus ACCA Software, 2020, Biblus ACCA Software (<https://biblus.accasoftware.com/es/ifc-coordination-view/>).

Los procesos de certificación están guiados por el desarrollo y la implementación de un IFC particular y un MVD (ver figura 15), las certificaciones que están abiertas a los proveedores o desarrolladores de software son las siguientes (buildingSMART International, s.f.):

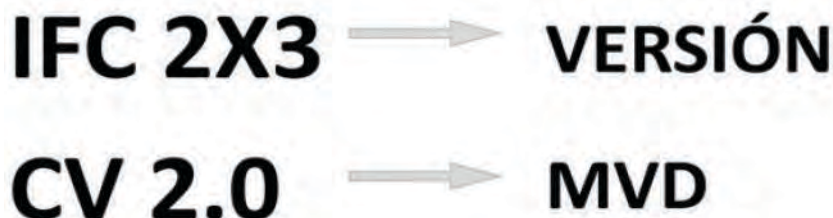


Figura 15. Significado de la notación de certificación

Fuente: Adaptado de *IFC coordination view*, por Biblus ACCA Software, 2020, Biblus ACCA Software (<https://biblus.accasoftware.com/es/ifc-coordination-view/>).

- IFC2x3 Coordination View 2.0
 Contiene los componentes espaciales y físicos para la coordinación en la etapa de diseño entre las tareas de arquitectura, ingeniería estructural y servicios de instalaciones (MEP). Esta certificación reemplazó el antiguo proceso IFC2x Certification 1.0 que se había utilizado entre 2001 y 2010, y también se retiró las certificaciones basadas en el proceso 1.0. Está basado en el esquema IFC 2x3 (incluida su corrección que originó el IFC2x3 TC1, aunque esto no influiría puesto que el esquema de ambas se mantuvo).
- IFC4 Reference View 1.2
 Es una continuación del trabajo de certificación IFC2x3, y un avance puesto que se desarrolló e implementó una nueva plataforma para mejorar aún más la automatización de las pruebas. Actualmente, esta certificación se basa en el esquema IFC 4.0.2.1 e incluye intercambios de exportación de servicios arquitectónicos, estructurales y MEP.

Es muy importante conocer el tipo de certificación que obtienen los programas que se utilizan para saber que versiones de IFC admiten al momento de importar un archivo IFC. Por ejemplo, al exportar un modelo IFC de un software con IFC4 e importarlo en uno con IFC2x3, este último programa no podrá leer los datos por las versiones no compatibles. En la página de buildingSMART, se pueden visualizar todos los productos con sus respectivas certificaciones.

3.1.1.3 Formatos de IFC. IFC tiene varias formas de codificarse, cada uno tiene sus ventajas y desventajas y su elección va a depender mucho de las características del proyecto.

La tabla 29 muestra los formatos de IFC.

Tabla 29*Formatos de Industry Foundation Classes*

Nombre del formato	Extensión	Tipo de formato	Basado en	Descripción
STEP Physical File (SPF)	.ifc	Formato de texto	ISO 10303-21 De lenguaje EXPRESS	Es el más utilizado en la práctica y el más compacto de todos los formatos y se puede leer como texto.
Extensible Markup Language (XML)	.ifcXML	Formato XML	ISO Standard 10303-28 de lenguaje XML	Es más directo y con mucho soporte en la industria de la informática y permite dimensiones de archivos más grandes con respecto a los de IFC-SPF.
ZIP	.ifcZIP	Formato en ZIP	-	Es un formato comprimido como SPF o XML, donde el tamaño resultante es muy comparable.

Nota. Building Smart (2021).

IFC tiene varias formas de codificarse, cada uno tiene sus ventajas y desventajas y su elección va a depender mucho de las características del proyecto.

3.1.1.4 Estructuras del IFC. Los objetos BIM, para la visualización, requieren solo de la descripción de su geometría, sin embargo, para procesos de análisis o simulaciones, se necesita toda la información no geométrica que permita definir todos los componentes físicos de los edificios, productos, sistemas, etc. Esta información incluye tres grandes grupos (buildingSMART International, s.f.):

- Identidad y la semántica: Se refiere al nombre, tipo de objeto o función, etc.
- Características o atributos: como material, color y propiedades térmicas.
- Relaciones: Incluidas las ubicaciones, conexiones y propiedad. Relaciones además entre los objetos (columna-viga), conceptos abstractos (rendimiento, costeo), procesos (instalaciones, operaciones) y personas (propietarios, diseñadores, contratistas, etc.).

Esta estructura ayuda a describir cómo se usa, como se construye y como se opera una instalación, en consecuencia, un documento IFC de un edificio indica como sus partes se relacionan al proyecto en general, como el edificio se relaciona con su ubicación, con límites y parámetros que tienen el fin de distinguirlos de otros (Lévy & Ouellette, 2019).

3.1.2 CIS/2

Su acrónimo proviene de CIM (Computer-Integrated Manufacturing) Steel Integration Standard, Version 2. Es también un estándar desarrollado por la industria para el diseño,

análisis y fabricación de acero respaldado por el Instituto Americano de la Construcción de Acero y el Instituto de la Construcción de Acero en Reino Unido. Se usa ampliamente en la industria norteamericana de ingeniería y fabricación de acero estructural (Sacks et al., 2018).

3.1.3 COBie (Construction Operations Buildings Information Exchange)

Es un formato de datos estandarizado sin propietario centrado en compartir e intercambiar información y datos de una instalación en lugar de información geométrica. Fue creado por Bill East del cuerpo de ingenieros del ejército de Estado Unidos en el año 2007 (Hamil, NBS, 2018). Aborda la transferencia de información entre el equipo de construcción y el propietario. Se ocupa de las operaciones y el mantenimiento (O&M), así como de información más general sobre la gestión de las instalaciones (Sacks et al., 2018).

Este formato se ha diseñado para que pueda ser manejado de forma muy fácil por organizaciones de cualquier tamaño y cualquier capacidad de integración. Solo requiere información que ya está disponible y la estructura de una manera a la que es fácil acceder. Este formato se basa típicamente en una hoja de cálculo en Microsoft Excel, aunque también se pueden utilizar otras aplicaciones.

La información que contienen estas hojas de cálculo son todos los activos que contiene el edificio, sus niveles, espacios y zonas que conforman la instalación, para luego ser llenados con los sistemas reales y los detalles de los tipos de productos. Durante la fase de construcción, la información se va ampliando con datos sobre repuestos, garantías y requisitos de mantenimiento. También se pueden adicionar fallas de los equipos o documentos extras (BIM Industry Working Group, 2011). Un ejemplo de ello se puede ver en la figura 16.

Name	CreatedBy	CreatedOn	Category	Description	setType	Manufacturer	ModelNumber
227 Pre-planted vegetation blankets	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_45_57_91_65 : Pre-planted vegetation	Pre-planted vegetation blankets			
228 Rootball securing assembly	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_45_63_64_72 : Rootball securing frames	Rootball securing asse	enquiries@greenleaftrees.co.uk	SASDMA	
229 Stakes	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_45_63_64_84 : Stakes	Stakes	sales@jacksons-fencing.co.uk	Tree Stakes	
230 Tree grilles	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_45_63_64_87 : Tree grilles	Tree grilles	msf.sales@marshalls.co.uk	DLTG204, Oli	
231 Tree guards	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_45_63_64_88 : Tree guards	Tree guards	msf.sales@mcshalls.co.uk	OLTR301, Oli	
232 Corrosion inhibitor chemicals for op	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_60_55_96_15 : Corrosion inhibitor chem	Corrosion inhibitor ch	Submit proposals.		
233 Scale inhibitor chemicals for op	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_60_55_96_77 : Scale inhibitor chemicals	Scale inhibitor chemi	Submit proposals.		
234 Dosing pots	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_60_55_97_07 : Biocide dosing pots ; Pr	Dosing pots	Submit proposals.		
235 Gas fired condensing boilers	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_60_60_08_34 : Gas fired condensing bo	Gas fired condensing b	Submit proposals.		
236 Storage water heaters, gas fired	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_60_60_96_34 : Gas-fired storage water	Storage water heaters	Submit proposals.		
237 Immersion heaters	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_60_60_96_42 : Immersion heaters	Immersion heaters			
238 Low temperature hot water heaters	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_60_65_37_47 : Low temperature hot wa	Low temperature hot w	Submit proposals.		
239 PVC-U solid wall below ground	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_65_52_07_88 : Unplasticized polyvinyl	PVC-U solid wall below	Submit proposals.		
240 Covers and gratings for floor gullies	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_65_52_24_30 : Floor gully covers and gri	Covers and gratings fo	Submit proposals.		
241 Floor gullies	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_65_52_24_31 : Floor gullies	Floor gullies	Submit proposals.		
242 Freestanding grease traps and	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_65_52_25_32 : Free-standing grease tra	Freestanding grease tr	WPL Ltd Sewage Treatment & Rail WPL Grease C		
243 Pressure gauges	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_65_52_34_66 : Pressure gauges	Pressure gauges	Contractor's choice.		
244 Temperature gauges	info@ABCArchitecture.com	2017-04-05	Pr_65_52_34_88 : Temperature gauges	Temperature gauges	Contractor's choice.		

Figura 16. Ejemplo de hoja de cálculo tipo COBie

Fuente: Adaptado de *What is COBie?*, por S. Hamil, 2018, NBS (<https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-cobie>).

Toda la información recopilada en la hoja de Excel es de uso para el cliente, ya que lo ayuda a identificar que activos existen en su edificio y darles el respectivo mantenimiento. Sin embargo, lo más recurrente es que sea información valiosa para el *facility manager*, quienes introducen esa data en softwares de operación y mantenimiento y gestionan los activos desde un entorno BIM.

En resumen, COBie es un formato que permite la comunicación entre los involucrados de la fase de diseño y construcción, quienes van archivando toda información en cada etapa del proyecto, con los de las fases de operación y mantenimiento quienes utilizan esa información en soluciones digitales (Ortega, 2018), entre sus objetivos que se mencionan se tiene (Eastman, 2012; como se citó en Sacks et al., 2018):

- Identifica claramente los requerimientos y responsabilidades de los procesos del negocio.
- Provee un marco para almacenar la información para un intercambio y recuperación posterior.
- No adiciona ningún costo a las operaciones y mantenimiento.
- Permite importar directamente al sistema de gestión de mantenimiento del propietario.

3.2 Entorno de Datos Comunes - Common Data Environment (CDE)

El concepto Common Data Environment fue originalmente definido en el estándar británico BS 1192:2007 y luego en el PAS 1192-2:2013. Este último lo define como una fuente única de información para cualquier proyecto dado, que se utiliza para recopilar, administrar y distribuir todos los documentos de proyectos relevantes aprobados por equipos multidisciplinarios bajo un proceso gestionado (British Standards Institution [BSI], 2013).

Años más tarde, se presenta la ISO 19650, reemplazando dichas normas británicas y de la cual se hablará a detalle en el próximo capítulo. La ISO 19650-1:2018 vuelve a mencionar la definición de CDE comentando que es una fuente de información acordada para cualquier proyecto o activo dado, para recopilar, gestionar y difundir cada contenedor de información a través de un proceso gestionado.

Como se puede leer, su definición es muy parecida a la dada por PAS 1192-2, ya que justamente se basa en ella. Además, hace una notación mencionando dos conceptos que acompañan a CDE, que son: flujo de trabajo y solución (ISO 19650-1, Note 1).

Para explicar de mejor manera dichos conceptos, se hará referencia a unas guías brindadas por la institución UKBIMFRAMEWORK. Una de ellas es la ISO 19650 Guidance Part C, la cual sugiere que un CDE es una combinación de soluciones técnicas y procesos de flujo de trabajo. CDE como flujo de trabajo describe los procesos que se usan para recolectar, manejar y difundir información estructurada (modelos geométricos, base de datos, horarios etc) y no estructurada (documentos PDF, escaneo, fotos, videos), mientras que CDE como

solución es la tecnología que permite llevar a cabo dichos procesos (UK BIM FRAMEWORK, 2020).

Little BIM Book 2021, publicado por BSI (*British Standards Institution*), compila toda esta información mencionando que un CDE es un flujo de trabajo para controlar una única fuente de información para un proyecto o un activo. Se utiliza para gestionar la recopilación y difusión de toda la información pertinente sobre activos o proyectos aprobados. Se usa en combinación con una solución de almacenamiento digital donde la información se comparte de forma colaborativa en una forma lógica y accesible para ayudar a todas las partes claves a obtener acceso fácilmente a la información, utiliza además una convención de nombres coherente para evitar la duplicación y conservar la propiedad (BSI, 2021).

La figura 17 muestra un esquema sobre como las partes involucradas en un proyecto se conectan cuando existe un CDE.



¿Quién posee qué, cuál es la versión actual?

Fuente única de la verdad: información confiable

Figura 17. Diferencia entre los esquemas de los stakeholders con y sin CDE

Fuente: Adaptado de *Capacitación Fundamentos BIM*, s.f, por Día de intercambio de conocimientos SSE BIM.

Por otro lado, la ISO 19650-2 prevé que un CDE sea previsto y manejado por una parte nombrada externa (UK BIM FRAMEWORK, 2020). Esta información se complementa con lo mencionado en un acuerdo legal complementario que fue diseñado para ser utilizado por los clientes de construcción y del contratista denominado Protocolo CIC (Construction Industry Council), el cuál propone que sea un gestor de información o *information manager*, quien debe configurar y administrar el entorno de datos común. Su función es hacerles seguimiento a los procedimientos y vigilar el CDE con el fin de seguir los protocolos acordados y garantizar la seguridad de los datos. No es tarea de un coordinador BIM y tampoco tiene responsabilidad en el diseño ni en la coordinación del modelo (UK BIM FRAMEWORK, 2020).

Las ventajas de utilizar un CDE propuestas en el PAS 1192-2:2013 son las siguientes:

- La propiedad de la información permanece en el originador, aunque se comparte y reutiliza, solo el originador puede cambiarla.
- La información compartida reduce el tiempo y el costo de producir información coordinada.
- Se puede generar cualquier cantidad de documentos a partir de diferentes combinaciones de archivos de modelo.

3.2.1 Procesos CDE

Un CDE al ser un desarrollador de contenedor de información, esta se puede presentar en distintos estados, cabe resaltar que la ISO 19650 utiliza el término contenedor de información para referirse a un cualquier archivo o conjunto de datos (UK BIM FRAMEWORK, 2020).

La figura 18 muestra el esquema de los cuatro estados (ISO 19650-1):

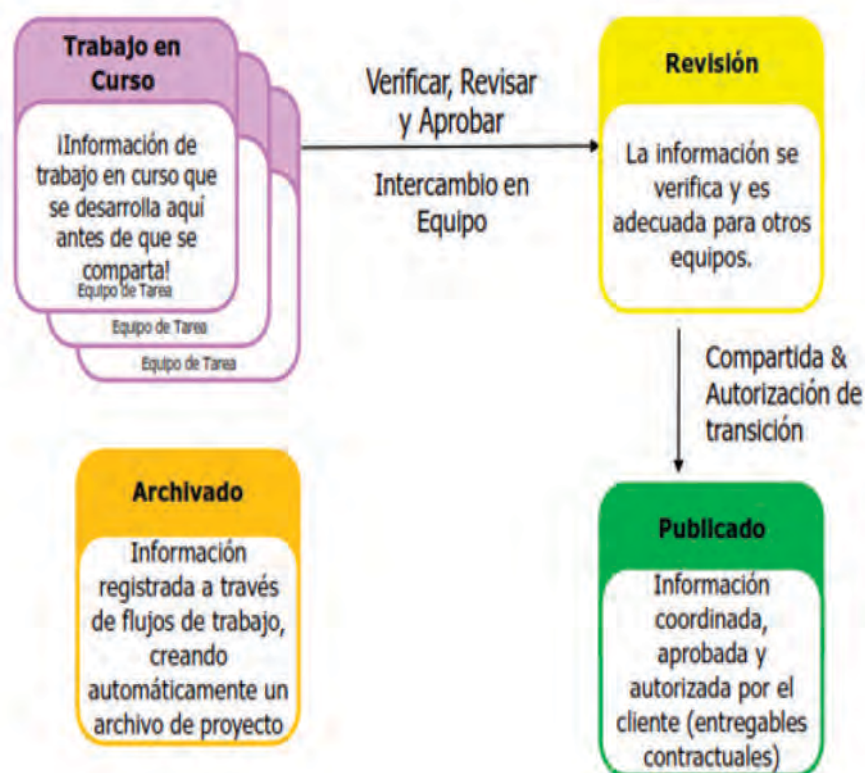


Figura 18. Procesos en un CDE

Fuente: Adaptado de *Information Management according to BS EN ISO 1965 Guidance C* (p.11), por UK BIM Framework, 2020.

- Trabajo en curso/*Work in Progress*: En este estado, la información se está desarrollando por el equipo de trabajo, contiene los documentos por disciplinada que no han sido validados, ni verificados. Los contenedores de información no están visibles ni accesibles por miembros de equipos ajenos al grupo que los está desarrollando.

- *Compartido/Shared*: Aplica a la información que ha sido verificada, revisada y aprobada de cada equipo para compartirla con otros equipos de trabajo, de entrega, incluido el cliente con fines de coordinación u otros usos. Además, la información se encuentra visible y accesible para los equipos apropiados o designados, pero no es editable.
- *Publicada/Published*: Información revisada y autorizada para su uso en diseño más detallado, para la construcción o para la gestión de activos.
- *Archivada/Archived*: Información que ha sido compartida y publicada durante todo el ciclo de vida del proyecto y queda registrada.

3.2.2 Soluciones CDE

ISO 19650 sugiere que una solución CDE debería poder (BIM Corner, 2020):

- Gestionar atributos y datos asignados a cada contenedor de información (necesario para habilitar el flujo de trabajo de CDE).
- Notificar a los miembros del equipo acerca de las actualizaciones (para mantener todo actualizado).
- Mantener un registro de cambios de información (para rastrear revisiones y cambios del proyecto).

A continuación, se mencionarán algunas de las soluciones más conocidas en la tabla 30:

Tabla 30

Software que proveen un entorno común de datos

Software	Desarrollador
BIM 360	Autodesk
Viewpoint	Viewpoint for projects
Us.BIMplatform	ACCA software
BIMplus	Nemetschek
BIMcloud	Graphisoft
Aconex	Oracle

Nota. Building Smart Spain (2020).

Capítulo 4

Aplicaciones y proyección en BIM

BIM se puede aplicar en todas las etapas de un proyecto de construcción desde la concepción hasta la demolición (Phiri, 2016). Una de las aplicaciones más concurrentes desde un principio fue relacionada a la visualización que ofrecían los modelos 3D y a la gestión de cambios que se podía realizar en el mismo modelo. Sin embargo, conforme el concepto de lo que implica BIM ha ido evolucionando, también lo han hecho sus aplicaciones.

Cada vez más investigadores exploran nuevas aplicaciones de BIM, no solo en nuevas áreas o tipos de proyectos, sino en conjunto con las tecnologías emergentes que aparecen en el mercado.

4.1 BIM en el ciclo de vida de un proyecto

4.1.1 Detección de interferencias

La detección de colisiones es una de las aplicaciones más usadas de BIM en la industria de la construcción (Eadie et al., 2013 como se citó en Chahrour et al., 2021). Wang (2014, como se citó en Chahrour et al., 2021) describió la detección eficaz de colisiones como un proceso iterativo en el que los conflictos del proyecto se identifican, clasifican, evalúan y resuelven periódicamente hasta que se observa un modelo coordinado con colisiones mínimas o aceptables.

Chahrour et al. (2021), desarrolló un sistema para realizar un análisis costo-beneficio de la detección de colisiones. Luego de probar su propuesta, obtuvo como resultado un ahorro de 15,2 millones de dólares (20%) en un proyecto de 75 millones de dólares.

4.1.2 Rendimiento energético

Las contribuciones de BIM en el modelado, las simulaciones y la información relacionada con la energía se refieren principalmente a la facilidad de manejo de datos. Esto genera la automatización en un modelo energético, permitiendo almacenar y organizar nuevos datos de edificios, especialmente la información en tiempo real (Kamel & Memari, 2019).

La automatización del proceso de modelado es uno de los principales beneficios de la aplicación de BIM en la simulación energética de edificios. Permite ahorrar tiempo, reducir los

costos y el error humano en comparación con el proceso de modelado de energía convencional (Kamel & Memari, 2019).

Existe un vacío entre BIM y el rendimiento energético debido a la falta de una herramienta que combine simulación y análisis, evitando la reintroducción de todos los datos que ya existen en el modelo desarrollado para el proyecto (Kamel & Memari, 2019).

La mayoría de las aplicaciones de BIM para gestionar el rendimiento energético operativo se basan generalmente en la simulación, el seguimiento para predecir el rendimiento en uso e identificar posibles errores.

Entre los beneficios de usar BIM en este propósito, Kamel y Memari (2019), mencionan:

- La primera contribución se da entre el diseño y la operación. Un modelo BIM por medio de IFC, permite conectar con la herramienta OpenStudio, se importa los datos relacionados con la geometría, los materiales, los tipos de ventanas y las propiedades térmicas del archivo IFC para su simulación energética.
- La segunda contribución de BIM en el modelado energético es facilitar la presentación de resultados en sistemas de gestión energética. Por ejemplo, utilizar modelos BIM desarrollados por Revit para realizar una simulación energética en tiempo real utilizando eQuest con la adopción de sensores y medidores inteligentes.
- La tercera contribución es que BIM permite mejorar las bibliotecas existentes con respecto a las propiedades de los materiales, utilizadas en un modelo energético. Por ejemplo, en las bibliotecas se pueden agregar propiedades térmicas como la conductividad térmica de un material.

Se espera que la relación con BIM genere edificios más eficientes, ello como resultado de una mayor optimización del diseño a través de la exploración y evaluación de las opciones disponibles (Gerrish et al., 2017).

4.1.3 Gestión de proyectos-Programación de obra

Heigermose et al. (2019) propone una herramienta de gestión de la construcción que combina la herramienta *Last Planner System* (LPS), una práctica del enfoque Lean Construction, con modelos BIM de los proyectos de construcción para mejorar la productividad y reducir los residuos de la construcción.

La herramienta requiere de datos que pueden ser fácilmente obtenidos de los modelos. Para ello se debe inicialmente importar los modelos desde un archivo IFC creado con cualquier plataforma BIM. Todos los archivos IFC que la herramienta ha leído y cargado se almacenan automáticamente en una base de datos MySQL. El uso de una base de datos MySQL permite una fácil migración para usar la computación en la nube (Heigermoser et al.,

2019). Asimismo, antes de utilizar cualquier modelo, es fundamental definir el nivel de detalle (LOD) del modelo BIM que se requiere en cada etapa del proyecto (Heigermoser et al., 2019).

La herramienta permitía dividir los proyectos de construcción en zonas de trabajo, obteniendo los metrados de forma automatizada, y a la vez ofrece una simulación de construcción en 4D codificada por colores para el proceso de planificación a corto plazo del LPS.

4.1.4 Estimación de costos y presupuesto

Los factores más importantes que afectan el rendimiento de los costos giran en torno a la inexactitud de los metrados y las estimaciones cuantitativas, la previsión inexacta del flujo de caja del proyecto y la gestión general deficiente de los costos (Vigneault et al., 2019).

Afortunadamente, la quinta dimensión de BIM se presenta a sí misma como una solución muy potente al problema y como una herramienta para un manejo del costo más eficiente. Vigneault et al. (2019), menciona sus beneficios:

- El uso de modelos BIM para el cálculo de cantidades permite una producción más rápida y eficiente de las listas de materiales, siempre que el modelo contenga la información adecuada.
- La combinación de las capacidades de toma de cantidades con las funciones de estimación de costos de la mayoría de las herramientas BIM 5D permite una estimación de costos que representa con mayor precisión los costos reales de un proyecto (Azhar S, 2011 como se citó en Vigneault et al., 2019) así como la reducción de los costos totales (Bryde et al., 2013 como se citó en Vigneault et al., 2019).
- La posibilidad de vincular el modelo a la base de datos de costos da a los estimadores la capacidad de evaluar rápidamente alternativas en términos de costos y recursos, dándoles expectativas realistas del resultado del proyecto (Popov et al., 2010 como se citó en Vigneault et al., 2019). Esto mejora en gran medida la comprensión del proyecto por parte del cliente y el impacto de sus decisiones en los costos (Olatunji et al., 2010 como se citó en Vigneault et al., 2019).
- Permite obtener el costo hasta la fecha comparado con el presupuesto y el costo final previsto (Mitchell, 2012 como se citó en Vigneault et al., 2019).
- Las capacidades de las herramientas BIM 5D permiten la compra de elementos directamente desde el modelo (Eastman et al., 2011 como se citó en Vigneault et al., 2019).
- El uso de programas informáticos para calcular los costos del ciclo de vida de vida reduce en gran medida el tiempo y el esfuerzo que antes se requería (Chong et al., 2014; Sabol, 2008 como se citó en Vigneault et al., 2019).

4.1.5 Cadena de suministros

4.1.5.1 Consumo de materiales temporales. Las estructuras temporales de construcción como encofrados o andamios tienen un gran impacto tanto en el costo como en el calendario de un proyecto, y muchas veces estimar su uso es una tarea compleja y sujeta a muchos errores (Wu et al., 2018).

BIM se ha utilizado por algunos investigadores, que han buscado automatizar la generación de información de este tipo de estructuras, se mencionan a continuación algunas aplicaciones:

- Kim y Teizer (2014 como se citó en Wu et al., 2018), desarrollaron un sistema basado en BIM que planifica automáticamente los sistemas de andamiaje, el cuál podía reconocer las condiciones geométricas y no geométricas en los modelos de edificios y estimar los materiales necesarios para el andamiaje.
- Monteiro y Martins (2013 como se citó en Wu et al., 2018), exploraron la posibilidad de desarrollar una herramienta para ArchiCAD que proporcionaba automáticamente un modelo de encofrado basado en los elementos del edificio.
- Le (2017 como se citó en Wu et al., 2018), presentó un algoritmo para calcular rápidamente la cantidad de encofrado utilizando la interfaz de programación de aplicaciones (API) proporcionada por Autodesk Revit. El algoritmo tenía en cuenta las áreas de las caras de intersección.
- Wei et al. (2017 como se citó en Wu et al., 2018), propusieron un método basado en BIM para el cálculo y la gestión de los materiales temporales. Calcularon la cantidad de encofrado teniendo en cuenta el grosor del encofrado cuando se cruzan diferentes elementos del edificio.
- Wu et al. (2018) utiliza un método distinto a los estudios anteriormente mencionados que consiste en obtener la información de las estructuras temporales directamente de los elementos del edificio en el modelo BIM. Para ello propone un algoritmo que realiza mediante una API de Revit y una base de datos llamada MySQL, de esa forma se logra obtener el metrado de encofrado de forma automática. Luego valida este proceso en un proyecto, obteniendo resultados exitosos.

4.1.6 Gestión de residuos

La gestión de los residuos es un aspecto esencial de la actividad de diseño y construcción, debido a que es una actividad costosa en el proyecto. Esta busca que la eliminación, reutilización y reciclaje de los materiales, sea eficiente y eficaz. BIM ha ganado impulso en la gestión de residuos de construcción, por la cantidad de datos que aporta un modelo, las capacidades de visualización y simulación que este ofrece, mejorando la eficiencia de la planificación de los residuos y su posterior reutilización y reciclaje (Guerra et al., 2020).

Por medio del 4D-BIM se puede visualizar cómo se van realizando las actividades de construcción. Ello facilita la planificación de la reutilización de los residuos in situ y el reciclaje fuera de obra. Se generan construcciones más favorables con el medio ambiente, además de la reducción económica en el transporte, costo de reciclaje y control del exceso de suciedad.

4.1.6.1 Algunas aplicaciones.

Diferentes investigadores han desarrollado propuestas que emplean modelos BIM para la reducción de residuos en obra:

- Porwal y Hewage (2012 como se citó en Guerra et al., 2019) estudio la reducción de los desperdicios en los recortes de barra de refuerzo, mediante el uso de un algoritmo de optimización con un modelo BIM estructural.
- Guerra et al. (2020) desarrollaron un algoritmo para la estimación de la reutilización y reciclaje de los desechos de concreto y paneles de yeso. Por medio del 4D, se evaluó el funcionamiento del algoritmo, observándola secuencia de obra. Con esto se logró una mejor colocación de los residuos dentro del proyecto para su próxima reutilización o eliminación. En la figura 19 se visualiza el proceso de colocación de los residuos.

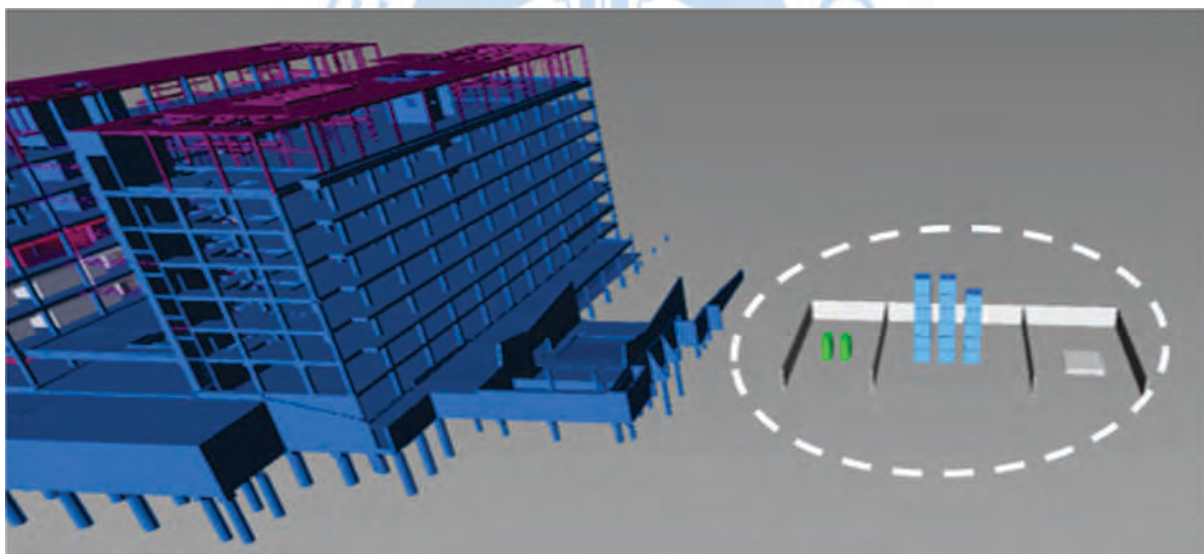


Figura 19. Desarrollo de la gestión de residuos en Naviswork

Fuente: Adaptado de *4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams*, por Guerra et al, 2020, Waste Management.

4.1.7 Gestión de seguridad

BIM contribuye a la gestión de la seguridad, por ejemplo, a través de la programación, detección de conflictos, seguimiento del progreso de la construcción, consistencia y visualización del diseño, integración de datos, estimaciones de costos, implementación de construcción ajustada o colaboración mejorada de los miembros del equipo, etc. (Martínez-Aires et al., 2018).

BIM permite la visualización en 3D y las simulaciones en 4D, estas aumentan la facilidad y el nivel de comprensión de los procesos de construcción permitiendo mejorar la seguridad mediante la identificación automatizada de peligros potenciales en las primeras fases del proyecto. Permiten también, proponer formas menos costosas y más sencillas de resolver los problemas (Marefat y Naghash, 2017; Martínez-Aires et al., 2018). Además, la aplicación combinada de BIM con varias tecnologías innovadoras como GIS, AR; permite la visualización del lugar de trabajo en tiempo real (Martínez-Aires et al., 2018).

Kiviniemi et al. (2011, como se citó en Martínez-Aires et al., 2018) utilizaron modelos BIM 4D para gestionar y comunicar los planes de seguridad en actividades y concluyeron que es una herramienta eficaz.

BIM se ha venido aplicando en seguridad de obra y algunas aplicaciones se mencionan a continuación:

- Cheng (2018, como se citó en Martínez-Aires et al., 2018), desarrollo un modelo de simulación para las plataformas petroleras, con el fin de evaluar los distintos planes de evacuación o escenarios de emergencia para así modelar las interacciones de los agentes con el entorno y reconocer como responderían a ellas (ver figura 20). Estos planes de evacuación son muy difíciles de realizar debido al ambiente en donde las plataformas están ubicadas. En comparación con los ejercicios de simulacro de escapes reales, el modelo desarrollado puede mejorar la gestión de la seguridad con menos costos y riesgos. De igual modo, este modelo de evacuación basado en BIM se puede aplicar para simulaciones de emergencia para edificios, sitios de construcción y otros lugares públicos como malls y estaciones de metro (ver figura 21).

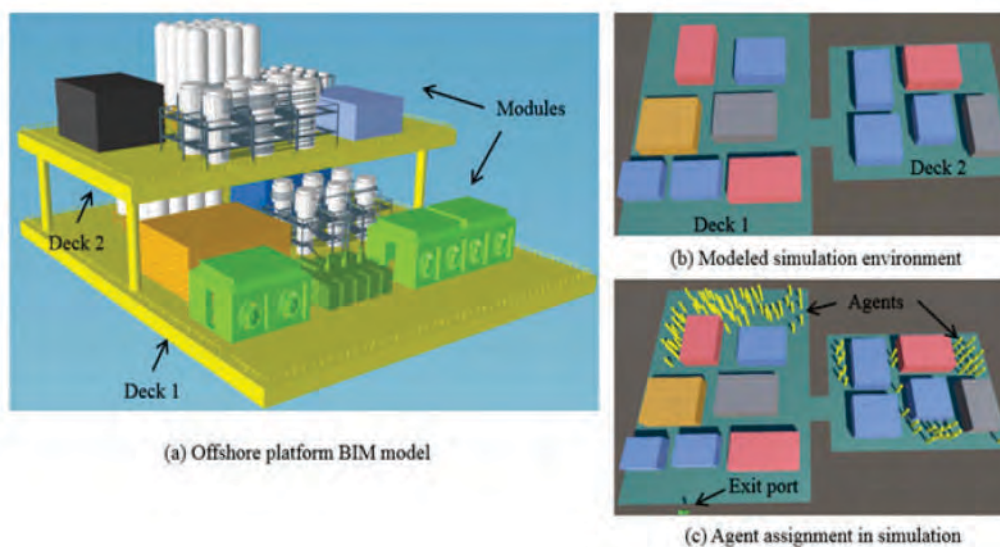


Figura 20. Configuración del entorno de simulación y la asignación de agentes.

Fuente: Adaptado de *Building information modeling and safety management: A systematic review*, por Martínez-Aires et al, 2018, *Safety Science*.

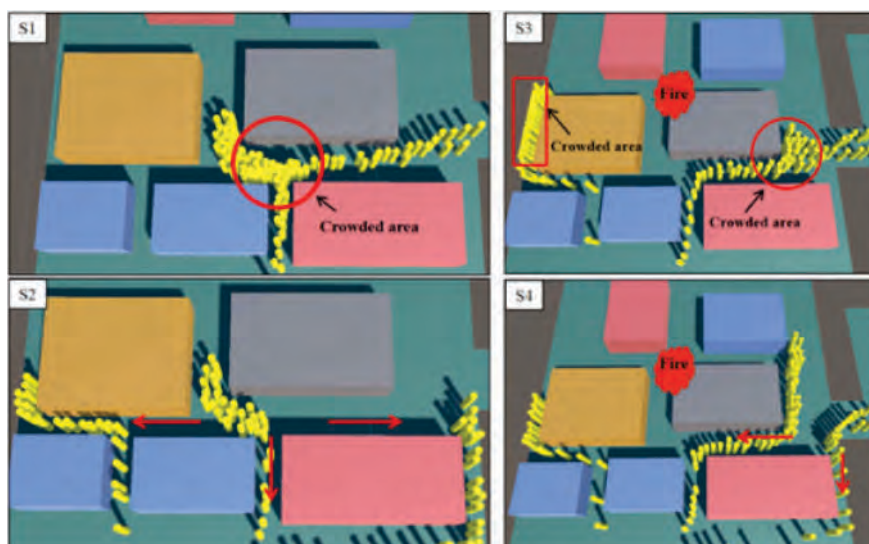


Figura 21. Ilustraciones de los escenarios de simulación

Fuente: Adaptado de Building information modeling and safety management: A systematic review, por Martínez-Aires et al, 2018, Safety Science.

- Kim y Ahn (2011, como se citó en Martínez-Aires et al., 2018), utilizaron BIM para la planificación de las instalaciones temporales de un edificio, para ello desarrollaron un sistema prototipo para diseñar y representar la instalación y desinstalación de andamios en proyectos de edificios de gran altura. Las instalaciones temporales son de las actividades de más alto riesgo en las que se suelen pasar por alto las consideraciones de seguridad.

4.1.8 Operación y mantenimiento

La fase operativa de un edificio es la que más contribuye al costo del ciclo de vida de este. Las estimaciones muestran que el costo del ciclo de vida es de cinco a siete veces superior a los costes de inversión iniciales (Lee et al., 2012, como se citó en Kassem et al., 2015) y tres veces el coste de construcción (BIM Task Group, 2013 como se citó en Kassem et al., 2015). BIM permite obtener varios beneficios en esta etapa:

- El proceso actual de traspaso de información a fase de FM se realiza generalmente de forma manual. La información que se entrega suele ser incompleta e inexacta (Lucas et al., 2013 como se citó en Kassem et al., 2015). El sector está gastando millones de dólares y miles de horas de trabajo recreando dicha información y trabajando con flujos de trabajo ineficientes (Keady, 2013 como se citó en Kassem, 2015). La mejora de los procesos de traspaso de información es uno de los principales motivos para utilizar BIM en la gestión de proyectos (Gu et al., 2008 como se citó en Kassem et al., 2015). Por ejemplo, los datos relativos a espacios, sistemas, acabados, etc., pueden capturarse en formato digital dentro de un software BIM y no es necesario volver a crearlos en los sistemas de FM posteriores (Eastman et al., 2011, como se citó en Kassem et al., 2015). La capacidad de

capturar la información de los fabricantes dentro de los objetos paramétricos en 3D reduce la necesidad de duplicar la información de los activos (Shen et al., 2012 como se citó en Kassem et al., 2015).

- Tradicionalmente, los gestores de instalaciones han participado en el ciclo de vida de los edificios de forma muy limitada y en la última fase de la entrega de las instalaciones a los clientes (Azhar, 2011 como se citó en Kassem et al., 2015). Se sugiere que la adopción de BIM en FM facilitará la integración de los gestores de instalaciones en una fase de diseño mucho más temprana, con el fin de transmitir su aportación e influencia en el diseño y la construcción de un activo (Azhar, 2011 como se citó en Kassem et al., 2015).
- BIM tiene la capacidad de ayudar a FM a alcanzar una mayor eficiencia en la operación de edificios. Los principales desarrollos en este campo son el monitoreo en tiempo real, la gestión de la información, la localización de componentes de construcción, la navegación interior, apoyando la toma de decisiones (Gao & Pishdad-Bozorgi, 2018).

4.1.9 Reconstrucción del proyecto

Los proyectos de reconstrucción enfrentan las mismas dificultades que los proyectos nuevos. Los retos en este tipo de proyectos están altamente vinculados a mucha incertidumbre y falta de información inicial, gestión inapropiada de información durante la implementación, insuficiente trabajo de control de calidad en el sitio y baja competencia de los miembros del proyecto. BIM se sugiere como una de las formas para darle solución a los múltiples problemas presentes, presentando una serie de beneficios (Migilinskas, Pavlovskis, Urba, & Zigmund, 2017).

- La falta de información inicial puede resolverse utilizando herramientas de fotogrametría digital y escaneo láser, las cuales sirven de base para los modelos BIM.
- Los problemas con la gestión de la información pueden resolverse mediante la colaboración en equipo entre los participantes en el proyecto y la entrega de proyectos integrados al establecer un entorno de datos común (CDE).
- Un modelo de reconstrucción según el estándar BIM puede reducir los riesgos del proyecto y puede proporcionar información más precisa para apoyar el proceso de toma de decisiones.

4.2 BIM en el sector de transportes

La terminología BIM se amplió para hacer referencia a las diferentes infraestructuras de transporte y así aparecen las siguientes:

- *BrIM (Bridge Information Modeling)*: Es una extensión de BIM que se enfoca en el modelado de información de los puentes (Costin, 2016, como se citó en Costin et al., 2018).
- *CIM (Civil Integrated Management)*: Es la extensión de BIM que permite recolectar, organizar, manejar accesiblemente y usar la data e información precisa a lo largo de todo el ciclo de vida de un activo de transporte (Juliano et al., 2012, como se citó en Costin et al., 2018).

CIM también ha sido adoptado para hacer referencia a:

- *Construction Information Modeling* (Kageyama, 2016, como se citó en Costin et al., 2018).
- *Computer-Integrated Management* (Chen y Shirole, 2006, cómo se citó en Costin et al., 2018).
- *Construction Information Management* (Kageyama, 2016, como se citó en Costin et al., 2018).

Sin embargo, independiente del acrónimo, el objetivo de este término es que represente la utilización de la tecnología para desarrollar y compartir información en todo el ciclo de vida del edificio, estructura o activo (Costin, Adibfar, Hu, & Chen, 2018). A continuación, se menciona algunas aplicaciones de BIM en las distintas infraestructuras de transporte:

- **Puentes:** Los modelos BrIM, formados a partir de nubes de puntos, pueden ser utilizados para la inspección de puentes, tal como hizo Al-Shalabi (2015, como se citó en Costin et al., 2018) en dos puentes en la ciudad de Iowa y concluyó que, a pesar de los retos, estos modelos pueden ayudar significativamente en este proceso mientras reduce sus costos asociados y los costos de operación, reparación y mantenimiento. Asimismo, reduce los datos erróneos ya que la recolección de data de forma manual es muy propensa a errores, especialmente en inspecciones post-desastre.
- **Carreteras y autopistas:** El diseño de las carreteras sigue una serie de reglas y códigos que se repiten a lo largo de todo el trayecto, esta tarea es muy tediosa y se puede automatizar con BIM.

Kim et al. (2014, como se citó en Costin et al., 2018), desarrolló un modelo para determinar la alternativa óptima para el diseño de un alineamiento. Este proceso también es engorroso y con BIM se pudo ahorrar tiempo considerable en la fase de diseño y prevenir costos extras. Luego se desarrolló su estudio integrando BIM con GIS para calcular la forma más rápida y precisa de las operaciones de corte y relleno.

- Vías Férreas: Aroch (2016, como se citó en Costin et al., 2018), usó BrIM para el modelado y almacenamiento de información acerca de las pruebas estructurales y dinámicas en un puente de vías férreas.
- Los túneles son proyectos que implican gran cantidad de información en cada una de sus etapas, el empleo de BIM mejora el uso de la data para una mejor gestión de este tipo de proyectos (Yabuki, 2016; Amman et al., 2014; Sugiyama et al., 2016; como se citó en Costin et al., 2018).
- Aeropuertos: Considerando la complejidad de los terminales de aeropuerto, el diseño de aeropuertos basado en BIM puede reducir los errores en el diseño, prevenir el desperdicio y ahorrar un monto considerable de dinero y tiempo (Adrinath et al., 2016, como se citó en Costin et al., 2018). El diseño y evaluación de aeropuertos con BIM puede ayudar en una simulación más detallada de los bloques de construcción, encontrar zonas de conflicto y mejorar la calidad del diseño para el beneficio de los pasajeros al reducir el tiempo de espera (Wong et al., 2009, como se citó en Costin et al., 2018).
- Puertos: Planificar con BIM puede ayudar en monitorear y controlar el envejecimiento y la corrosión estructural en puertos, así como en la evaluación de distintas alternativas de reparación. BIM también puede ayudar en planear puertos para una mejor operación, por lo que pueden responder a la demanda dinámica e incrementar su eficiencia (Jian et al, 2016, como se citó en Costin et al., 2018).

Algunos ejemplos de los beneficios de usar BIM en la infraestructura de transporte en las distintas etapas del ciclo de vida de un proyecto se muestran a continuación:

- Planeamiento: BIM ayuda en la optimización de la ubicación de los lugares que pueden ayudar a la accesibilidad y operatividad durante la fase de construcción. Marzouk y Hisham (2011, como se citó en Costin et al., 2018), desarrollo un modelo híbrido y lo integró con un modelo BrIM para encontrar la ubicación óptima para las grúas móviles durante la construcción de un puente. Aplicar el tiempo 4D y costo 5D en el planeamiento en proyectos enormes de infraestructura puede generar grandes valores, donde el valor ganado en el proceso de adopción BIM tiene una relación directa con la complejidad y la escala del proyecto (Jones, D. Laquidara-Carr, 2017, como se citó en Costin et al., 2018).
- Diseño: BIM puede ayudar en diferentes fases del diseño, como el diseño preliminar, el diseño detallado y la optimización del diseño (Jootoo y Lattanzi, 2016, como se citó en Costin et al., 2018). También mejora la calidad del diseño, proporciona una mejor representación visual de la infraestructura y aumenta la colaboración (Shim et al., 2011, como se citó en Costin et al., 2018). Asimismo, puede llegar a simplificar y acelerar la fase de diseño mientras incrementa su precisión (Bradley et al., 2016, como se citó en Costin et al., 2018).

- **Construcción:** El modelo BIM también proporciona una función de colaboración multiterminal, que permite que tanto los trabajadores de oficina técnica como los de campo se comuniquen de manera eficiente. También al estar disponible el modelo tanto en el móvil como en la PC, permite las consultas rápidas y desde cualquier parte (Jing et al., 2019).
- Mawlana et al. (2015, como se citó en Costin et al., 2018), describe como BrIM puede ayudar en la reconstrucción de una compleja carretera elevada para evitar las interferencias espaciotemporales entre la demolición de una sección antigua y la creación de una nueva mientras mantiene la seguridad del tráfico que pasa. Asimismo, reduce el número de RFIs y los cambios de ordenes (COs). BIM también ayuda en producir las facturas detalladas de los materiales y mejorar la performance financiera durante la fase de construcción.

Fanning et al. (2014, como se citó en Costin et al., 2018), fija que utilizando BIM en la construcción de 2 puentes en Denver se pudo ahorrar aproximadamente 5-9% de los costos de construcción.

- **Gestión de recursos:** BIM puede incrementar la productividad y ayudar al flujo de trabajo al aumentar la eficiencia y prevenir el desperdicio de tiempo y recursos durante la construcción, este beneficio es crucial en la construcción de puentes al tener limitaciones en el uso de los recursos ya que permite programar el uso óptimo de ellos (Shim et al., 2011; Li et al., 2012, como se citó en Costin et al., 2018).
- **Mantenimiento:** La información almacenada durante todo el ciclo de un puente en los modelos BrIM, ayuda efectivamente en el mantenimiento mientras evita la necesidad de mayores reparos y mejora la seguridad del puente (Abudayyeh y Albattaineh, 2013; Yin et al., 2011; DiBernardo, 2012; Marzouk et al., 2010, como se citó en Costin et al., 2018).
- **Registro y documentación de información As-Built:** BIM puede producir documentos de ingeniería como inspección de puentes y evaluación de reportes, registro de cálculos hidráulicos e informes de estudios geológicos (Lee et al., 2013, como se citó en Costin et al., 2018).
- **Renovación y rehabilitación:** Gholami et al. (2013, como se citó en Costin et al., 2018), concluye que BIM ayuda en el desarrollo de estrategias eficientes para la rehabilitación de los puentes al recolectar la información requerida de las especificaciones de deterioro y las capacidades de carga de los distintos elementos a lo largo del tiempo.
- **Modelado de comportamiento y predicción:** La data coleccionada en todo el ciclo de vida de la estructura ya sea por inspecciones, visitas, etc., puede ser utilizada para desarrollar metodologías para construir el modelo de deterioro de la

estructura que permita predecir el comportamiento futuro y saber las necesidades de la infraestructura (Helmi et al., 2015, como se citó en Costin et al., 2018).

4.3 BIM para obras subterráneas

BIM para aplicaciones subterráneas integra los datos de las estructuras de la superficie, como los edificios, y de las infraestructuras del subsuelo, como las tuberías, junto con los detalles del terreno circundante, las propiedades del suelo y la roca asociados y el régimen de aguas subterráneas en un único marco. Usar BIM para este tipo de obras permitiría localizar las infraestructuras enterradas. Asimismo, el modelo debería actualizarse continuamente a medida que se disponga de más datos, con el fin de poder utilizarse en proyectos posteriores (Chapman et al., 2019).

Una vez que la información se ha incorporado al BIM para el sistema subterráneo, los datos pueden utilizarse potencialmente de forma más dinámica, es decir, los datos pueden exportarse a otros paquetes o software a medida como SkethUp para ejecutar análisis específicos. Los datos mejorados (o la información interpretada) pueden entonces devolverse al entorno BIM (de nuevo a través del software SketchUp) para su visualización y uso futuro. Es necesario tener en cuenta que los datos deben ser precisos y deben reconocerse las incertidumbres (Chapman et al., 2019).

Chapman et al. (2019) aplicó BIM para una alcantarilla de 1 m de diámetro, construida usando la técnica de *microtunneling*, una operación a zanja cerrada. El modelo permitió:

- Definir una posible locación de la alcantarilla dentro del entorno BIM.
- Identificar la necesidad de realizar más investigaciones in situ si la información faltará por cualquier motivo.
- Exportar la información del modelo para proveer la base para análisis y evaluaciones de riesgos. Por ejemplo, la información sobre los desplazamientos del terreno causados por la construcción del alcantarillado en los servicios adyacentes.
- Realizar una evaluación del riesgo de asentamiento por encima de la línea del alcantarillado propuesto. Los desplazamientos del suelo se convirtieron en niveles de riesgo basados en las deformaciones por tracción; los resultados se muestran en la figura 22. En este ejemplo el color naranja indica un riesgo leve de daños en la superficie de la carretera, y el gris indica un riesgo insignificante.
- La compilación de un repositorio para información subterránea, el cual puede ser compartido y revisado por otros profesionales, además de ser muy útil para muchos aspectos de la planificación local y los futuros diseños urbanos a largo.

4.4 BIM en proyectos sostenibles

La sostenibilidad en los edificios se ha convertido en una condición importante en el diseño arquitectónico, debido a que la toma de decisiones durante la fase de diseño inicial tiene un impacto significativo en el desempeño ambiental y rendimiento energético. Un

modelo BIM sostenible empleado a lo largo del ciclo de vida de un proyecto, consiguiendo un rendimiento óptimo en ese sentido (Badawy, 2019).

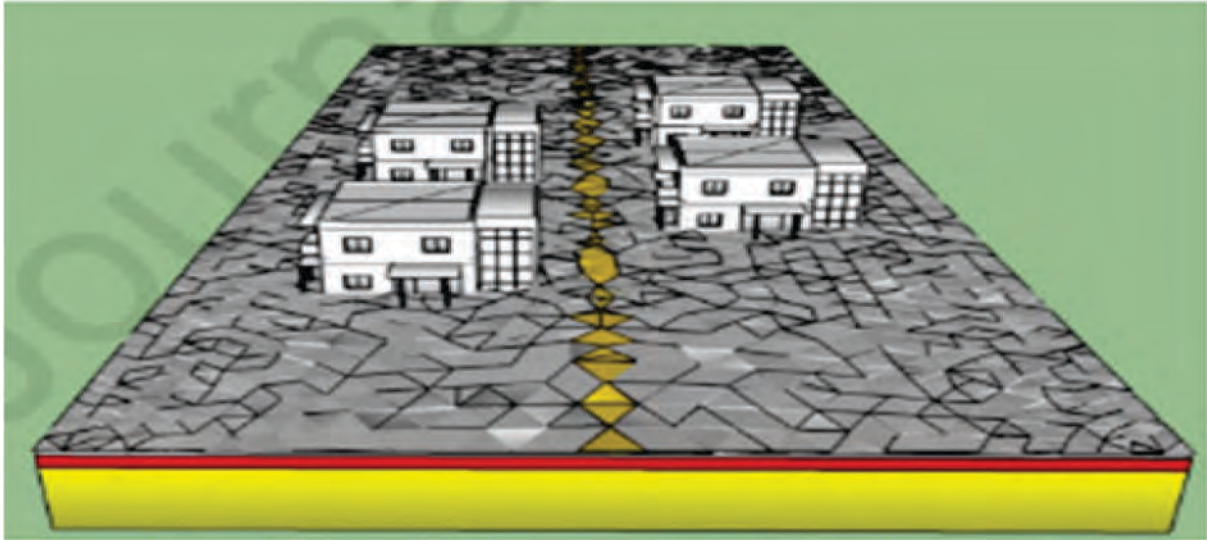


Figura 22. Resultados del análisis del riesgo de asentamiento de la superficie tras la construcción de la alcantarilla, en el entorno de visualización SketchUp

Fuente: Adaptado de *BIM for the Underground – An Enabler of Trenchless Construction*, por Chapman et al., 2019, “Underground Space”.

La sinergia entre BIM y sostenibilidad se considera un área de gran interés para la industria AEC (Raouf y Al-Ghamdi, 2018, como se citó en Ayman et al., 2019). La importancia de la sinergia ha aumentado debido a la necesidad global de entregar proyectos sostenibles con mayor eficiencia en los procesos y satisfacción del cliente.

Ayman et al. (2020) mencionan que existen tres elementos principales para una integración exitosa:

- El primer elemento de una integración exitosa se relaciona con la comprensión de las interacciones, los roles, las tareas, los entregables y los puntos de decisión de los criterios de sostenibilidad, para que se incluyan en el proceso BIM.

Además, es importante que se defina la transacción de información; la comprensión de los criterios de sostenibilidad y definir los niveles de desarrollo (LOD) a usar en el proyecto (Lim et al., 2015, como se citó en Ayman et al., 2020).

- El segundo factor se relaciona con el ajuste entre la funcionalidad de la tecnología BIM y la labor de sustentabilidad, integrado el mapeo de herramientas y programa para automatizar procesos, minimizar la carga de trabajo e incrementar la fiabilidad del rendimiento previsto del edificio.

Además, incluye el déficit en la interoperabilidad y la definición de la composición de datos entre los instrumentos de modelado BIM y los programas de estudio de manejo de proyectos.

- El tercer componente se refiere a las pautas de sostenibilidad habilitadas por BIM relacionadas con las perspectivas y aspectos de los competidores clave sobre el proceso, para desarrollar las pautas y los estándares.

BIM no solo aporta ventajas técnicas al proceso de desarrollo de un proyecto, también ofrece una plataforma de trabajo innovadora e integrada con el fin de mejorar la productividad y sostenibilidad a lo largo del ciclo de vida de un proyecto (Elmualim y Gilder, 2014, como se citó en Chong et al., 2017). Es necesario recordar que la sostenibilidad se construye con tres aspectos esenciales: social, económico y medioambiental (Khan et al., 2016, como se citó en Chong et al., 2017).

4.4.1 BIM en los tres aspectos de sostenibilidad

4.4.1.1 BIM en el aspecto social. Almahmoud y Doloi (2015, como se citó en Chong et al., 2017) sostienen que se obtienen mejores resultados de la sostenibilidad social en un entorno en donde se tengan en cuentas las necesidades de todos los interesados. Es por ello por lo que BIM puede mejorar la sostenibilidad social en dos ámbitos principales:

- BIM proporciona un mejor diseño de las instalaciones para mejorar la comodidad de la sociedad. Asimismo, BIM permite a los propietarios revisar el diseño y dar su opinión mediante la visualización de un modelo de información del edificio en tres dimensiones (3D) antes de que se construya la instalación.
- BIM transforma la práctica convencional, que suele estar muy fragmentada, a un mejor esfuerzo de colaboración que fortalece la relación de trabajo entre todos los participantes en el proyecto. Esta colaboración se logra en cualquier plataforma CDE que se vuelve en una base fiable para la toma de decisiones en conjunto.

4.4.1.2 BIM en el aspecto económico. Se debe tener en cuenta que este aspecto de la sostenibilidad es más difícil de cuantificar ya que existen pocos datos que identifiquen dónde se desarrolla la economía verde (Gibbs and O'Neill, 2014, como se citó en Chong et al., 2017).

Sin embargo, se ha está demostrado que BIM mejora el ahorro de costos del ciclo de vida de una instalación construida, ejemplo de ello, lo proporciona Lu et al. (2014, como se citó en Chong et al., 2017), quienes concluyeron que se consiguió un ahorro del 6.92% mediante un análisis costo-beneficio, que realizo en un proyecto BIM.

4.4.1.3 BIM en el aspecto ambiental. El uso de BIM mejora el diseño espacial, especialmente en lo que se refiere a la evaluación del flujo de aire y al ecosistema general de un edificio (Bonenberg y Wei, 2015, como se citó en Chong et al., 2017). También puede utilizarse para mejorar la simulación energética y evaluar posibles impactos ambientales adversos en el contexto de la evaluación ecológica (AlGhamdi y Bilec, 2015, como se citó en Chong et al., 2017).

El uso de BIM ha tenido buenos resultados en varias etapas del ciclo de vida de un proyecto, a continuación, se muestra un resumen de lo que se ha logrado en cada una de ellas, así como algunos ejemplos.

- **Planificación:** En términos de sostenibilidad económica, la implementación de BIM ahorra tiempo y conduce a un aumento de la eficiencia en el trabajo. Mejora el sistema de contratación electrónica, que permite a los consultores realizar la comprobación de los modelos y controlar el cumplimiento de los requisitos del cliente (Ciribini et al., 2015, como se citó en Chong et al., 2017).
- **Diseño:** Lim (2015, como se citó en Chong et al., 2017), demostró que una simulación de sostenibilidad basada en el BIM durante la fase inicial o de prediseño es crucial para desarrollar el diseño de un edificio sostenible. Como ejemplos se tiene:
 - Ajayi et al. (2015, como se citó en Chong et al., 2017) conectaron Revit Architecture con la herramienta Green Building Studio (GBS) y la herramienta de evaluación del impacto del ciclo de vida ATHENA Impact Estimador, para investigar los impactos negativos derivados del uso de numerosos materiales de construcción y el rendimiento energético.
 - Tahmasebi et al. (2011, como se citó en Chong et al., 2017) utilizaron el software ArchiCAD 14 y Graphisoft EcoDesigner para calcular la huella de carbono y el consumo energético de las ventanas multi cristalizadas en función a los cambios realizados en el edificio.
- **Construcción:** La información extraída de BIM se pudo utilizar para fabricar unidades modulares Zhang et al. (2016, como se citó en Chong et al., 2017), lo que permitió que se desperdicien materiales menos costosos, que se reduzcan las molestias en la obra y la contaminación atmosférica.
- Durante la fase de construcción, los análisis energéticos pueden utilizarse para analizar los equipos seleccionados por los contratistas y para definir los objetivos de consumo energético para el futuro funcionamiento del edificio (Chong et al., 2017).
- **Operación y Mantenimiento:** Adeyemi et al. (2014, como se citó en Chong et al., 2017) propusieron un marco estratégico que incorporaba el pensamiento lean, cero emisiones y la construcción ecológica con BIM para reducir el costo de mantenimiento en lugar de demoler y reconstruir los inmuebles.
- **Rehabilitación y demolición:** Akainade et al. (2015, como se citó en Chong et al., 2017) crearon un sistema de integración basado en BIM para estimar la cantidad de residuos generados por la construcción, renovación y demolición. Este sistema era capaz de extraer las cantidades de materiales del modelo BIM y estimar la cantidad de residuos producidos en cada fase del proyecto. Esta investigación es importante para mejorar la sostenibilidad de los proyectos de demolición y

renovación para facilitar el control del proyecto (Cheng y Ma, 2013, como se citó en Chong et al., 2017).

- **Uso de productos y materiales:** Los investigadores han adoptado muchos enfoques para evaluar el impacto del carbono incorporado en productos y materiales. Mousa et al. (2016, como se citó en Chong et al., 2017) recopilaron, analizaron y visualizaron los datos de las emisiones de carbono del edificio combinando BIM y modelos de estimación de carbono para ayudar a los equipos de operación a descubrir los problemas de dichas emisiones.

4.5 Casos de éxitos

Los proyectos que se presentan en la Tabla 31, fueron realizado por diseñadores y ejecutores con alto nivel de experiencia en tecnología, también utilizaron de forma óptima las últimas plataformas y herramientas BIM. Como resultado, se empleó menos mano de obra y se tuvo más productividad que los proyectos sin BIM (Sacks et al., 2018). Más información a detalle se puede encontrar en la misma fuente.

Tabla 31

Casos de éxito con la aplicación de BIM

Nombre del proyecto	Aeropuerto Internacional Príncipe Mohammad Bin Abdulaziz	Hospital Saint Joseph	Estación de Victoria, Metro de Londres
Uso principal	Aeropuerto	Centro de Salud	Estación de tren
Ubicación	Medio Oriente	Norte América	Europa
Fase en que se estudió	Operación y Mantenimiento	Operación y Mantenimiento	Diseño esquemático Desarrollo del diseño Documentación de la construcción Construcción Operación y Mantenimiento
Objetivo principal	Combinar toda la información de diseño y construcción mediante BIM para integrarla con el flujo de trabajo y los sistemas de gestión de instalaciones (FM) que se utilizarán activamente durante la vida útil del edificio.	Cumplir con el calendario ajustado (30 meses). Para ello se usó a gran escala elementos prefabricados y fue de mucha ayuda el modelo BIM 4D.	Gestionar los enormes retos de ingeniería y riesgos de la modernización de la estación Victoria. Hasta ese entonces, BIM solo se había utilizado en proyectos pequeños por lo que la experiencia era corta.

Nota. Sacks et al. (2018).

4.6 Nuevas tecnologías en el uso de BIM

4.6.1 Impresión 3D

La construcción automatizada a través de la impresión 3D de concreto se considera una revolución en la industria de la construcción. Esta nueva iniciativa de expandir las técnicas de fabricación aditiva para la obra de edificios automatizada ha sido tema de investigación académica e industrial durante varios años. La construcción automatizada cuenta con muchas ventajas, como una velocidad de construcción y mayor nivel de personalización. Se hacen esfuerzos considerables en la utilización de robots para diferentes objetivos de creación, como la prefabricación (Kasperzyk et al., 2017; Bock, 2015, como se citó en Davtalab et al., 2018) o construcciones no portantes (Jovanovic et al., 2017, como se citó en Davtalab et al., 2018).

La participación de BIM en varias etapas de la construcción automatizada genera grandes desafíos que superar en este campo, incluida la falta de interoperabilidad de datos entre las plataformas BIM y los sistemas de construcción automatizados. Además, la plataforma BIM debe personalizarse y ampliarse para aprovechar al máximo las nuevas oportunidades que ofrece un sistema de construcción automatizado (Davtalab et al., 2018).

Davtalab et al. (2018) propusieron un marco para integrar la tecnología BIM en la construcción automatizada utilizando *Contour Crafting* (CC) mediante impresión 3D de concreto. *Contour Crafting* es la primera tecnología de fabricación desarrollada para la construcción in situ de estructuras diseñadas a medida (Khoshnevis, 1997, como se citó en Davtalab et al., 2018). La tecnología CC ofrece varias ventajas, como una mejor calidad de la superficie, una mayor velocidad de fabricación y una mayor selección de materiales, en comparación con otros sistemas de fabricación por capas. Puede reducir radicalmente el coste de la construcción al disminuir la mano de obra necesaria para el proceso de construcción (Khoshnevis, 1998; Zareiyan & Khoshnevis, 2017, como se citó en Davtalab et al., 2018).

Para lograr esta automatización, se estableció un sistema de software para el control de las operaciones de construcción. El software se denomina Software de Planificación y Control de Operaciones para la construcción automatizada (POCSAC). El marco propuesto presenta los detalles de la interoperación entre los diferentes componentes de un sistema de construcción automatizada y la plataforma BIM de manera que se obtenga el máximo beneficio mediante la sinergia de las dos tecnologías.

El alto nivel de industrialización de la construcción significa el uso de las tecnologías de producción in situ y externas más avanzadas y la estandarización de productos, componentes y módulos. La industrialización de los procesos de fabricación se ha implementado en otras industrias, como la automotriz, la aviación y, en cierta medida, la ingeniería de fábrica. Y hay una tendencia a que cada vez más empresas constructoras estén revisando la industria manufacturera para ver si es posible aplicar los principios, procesos o herramientas de la industria de la construcción (Dijk & Stuij, 2019).

BIM apoyará la industrialización porque proporciona la data necesaria para aplicar la tecnología de producción en el sitio y fuera del el, lo que permite una mejor reutilización de productos, elementos y módulos estandarizados, al tiempo que brinda a los clientes diseños únicos (Dijk & Stuij, 2019).

4.6.2 Realidad extendida

Realidad Extendida se refiere a todos los entornos combinados reales y virtuales y las interacciones hombre-máquina generadas por la tecnología informática. Incluye Realidad Virtual (VR), Realidad Aumentada (AR) y Realidad Mixta (MR) (Alizadehsalehi et al., 2020).

Una de las herramientas de apoyo que ayudan a BIM a alcanzar su máximo potencial son las herramientas de realidad virtual. La idea central detrás de la aplicación de realidad virtual es permitir la colaboración y la comunicación, permitiendo que personas con diferentes conocimientos puedan acceder a la información BIM (Sidani et al., 2019).

Alizadehsalehi et al. (2020) explican que con un flujo de trabajo entre BIM y XR, se puede lograr lo siguiente:

- Visualizar el diseño propuesto de una manera interactiva a una escala humana y bajo una experiencia inmersiva.
- Los usuarios pueden interactuar con el modelo de información 3D sobre el espacio físico, ya sea superponiendo las diferentes opciones de diseño dentro de las condiciones existentes del lugar de trabajo o leyendo información adicional que no existe en el mundo real.
- XR provee una nueva forma de generar creativamente el diseño más allá de los dibujos 2D y una computadora. Las funciones de comando de voz y reconocimiento de gestos permiten más interacción entre los humanos y la máquina.
- Integrar tecnología holográfica como el software HoloLens con los flujos de trabajo BIM agregando un valor imprevisto desde el diseño y construcción a las fases de operación y mantenimiento.
- Estos avances permiten que modelos complejos de edificios existentes puedan ser usados en aparatos XR para extraer información útil para los especialistas de AEC como documentación de patrimonio cultural, preservación, y la comunidad interesada en la cultura del turismo.

Los procesos BIM y XR requieren de plataformas para compartir data y colaborar y una comunicación en tiempo real entre distintos stakeholders. Los más populares y fácil de usar son Autodesk BIM360 y Autodesk Viewer (Alizadehsalehi et al., 2020).

Se tiende a confiar en Autodesk Revit como el software BIM principal para proporcionar información geométrica y no geométrica a la interfaz de realidad virtual (Sidani et al., 2019).

Para “mejorar el entorno visual” el software más utilizado es 3Ds Max. Este software permite evitar algunos de los problemas de interoperabilidad que se encuentran entre las bibliotecas de materiales de las herramientas de creación BIM y los motores de juegos (Sidani et al., 2019).

En "Entorno de realidad virtual", Unity es el software que se aplica con más frecuencia para crear e interactuar con la realidad virtual. Unity permite una transferencia constante del modelo de construcción desde la herramienta de creación BIM, Autodesk Revit (Sidani et al., 2019).

Algunos de los vendedores de softwares que integran XR son Bentley Systems con Bentley Synchro que tiene un plugin para Revit que muestra los elementos BIM en simulación 4D. Este plugin permite que se revise la secuencia de la construcción mediante Microsoft HoloLens en la zona de trabajo en la obra (Alizadehsalehi et al., 2020).

XR aún sigue en desarrollo y existen algunas limitaciones que necesitan ser superadas como el costo elevado de muchos aparatos, los softwares BIM y XR, y la producción de contenido XR (Sidani et al., 2019).

Una aplicación interesante de realidad extendida fue un caso de estudio denominado “Proyecto de hábitat NASA-Mars” que fue llevado a cabo por la Universidad de Northwestern, luego de que la Nasa propusiera un desafío para crear nuevas tecnologías, cuyo propósito era realizar una base en Marte usando materiales nativos de ese planeta. La NASA buscaba usar astromóviles de Marte equipados con impresoras 3D a gran escala para construir hábitats antes de que los humanos lleguen (Alizadehsalehi et al., 2020).

La primera tarea fue desarrollar el modelo BIM en Revit 2019 de este hábitat para luego convertirlo en modelos VR y MR. También utilizaron una base de datos, donde cargaban los modelos, como BIM 360 Cloud para proveer un espacio de almacenamiento en línea donde los miembros del equipo podían tener acceso en tiempo real y hacer los cambios respectivos (Alizadehsalehi et al., 2020).

En la tabla 32, se resume el flujo de trabajo de BIM con la realidad extendida en el proyecto mencionado.

Tabla 32

Flujo de trabajo entre BIM con Realidad Virtual y Realidad Mixta en el Proyecto de hábitat NASA-Mars

	BIM/VR	BIM/MR
Software para la conversión del modelo BIM a VR	Mediante Plug-in Fuzor	Microsoft 3D Viewer, HoloLive, Hologview y Fuzor

	BIM/VR	BIM/MR
Dispositivo para la experiencia inmersiva	Oculus Rift-HTC Vive, Samsung HMD	Microsoft HoloLens
Beneficios	VR permitió que los científicos, ingenieros y miembros de otros equipos del proyecto caminaran virtualmente en Marte para ver y experimentar los múltiples escenarios, validar decisiones sobre el diseño y chequear los posibles errores antes de que cualquier acción real se tome. También permitió hacer cambios en el modelo BIM y esos cambios verse reflejados en la visualización de manera rápida y con precisión.	MR permitió que todos los equipos visualicen el hábitat de Marte, como compañeros virtuales en el entorno real. MR reunió a las personas para ver el mismo modelo, así como se ven los unos a los otros, a través del uso de un holograma para discutir y presentar el mismo modelo de diseño tal y como aparecería en el sitio. Proyectar un modelo BIM directamente sobre un entorno físico en MR, permite al equipo evaluar en modelo de una manera inmersiva e interactiva.

Nota. Alizadehsalehi et al. (2020).

Las experiencias inmersivas están cambiando como conectamos con las personas, información y experiencias en la industria AEC. Implementar XR ayuda a acortar las distancias y abordar los problemas como nunca. Los límites aún son el alto costo de los lentes, el hardware de la PC y los softwares (Alizadehsalehi et al., 2020).

Además, la difusión de los datos presenta una nueva forma de vulnerabilidad para los ciberataques, mientras que el alto costo de la implementación también supone una barrera (Alizadehsalehi et al., 2020).

BIM y varias de las tecnologías XR han mostrado un gran potencial para realmente revolucionar la manera en que se diseña, se construye, se opera y se monitorea en la industria AEC. Este mecanismo solo se hace posible con una interacción efectiva para generar, almacenar, manejar, intercambiar y compartir data (Alizadehsalehi et al., 2020).

4.6.3 Geographical Information System (GIS)-Sistema de información geográfica (SIG)

La integración de BIM y GIS en la gestión de la construcción es una nueva tendencia de rápido desarrollo desde la investigación hasta la práctica industrial en los últimos años (Ma y Ren, 2017, como se citó en Song et al., 2017), BIM tiene ventajas en la cantidad de información geométrica en todo el ciclo de vida de un proyecto, mientras que GIS es un campo amplio que cubre la toma de decisiones y el modelado geoespacial basado en la visualización geográfica. La integración BIM-GIS consiste en integrar las partes poderosas de BIM y GIS en el modelado de edificios y ciudades. (Volk et al., 2014, como se citó en Song et al., 2017).

Las características de la evolución de la integración BIM-GIS se da en tres aspectos: la evolución de las aplicaciones industriales de AEC, la historia desde la perspectiva de la topografía y el mapeo, la investigación comparativa sobre la evolución de GIS y BIM, y BIM-GIS integrado (Song et al., 2017) (Ver figura 23).

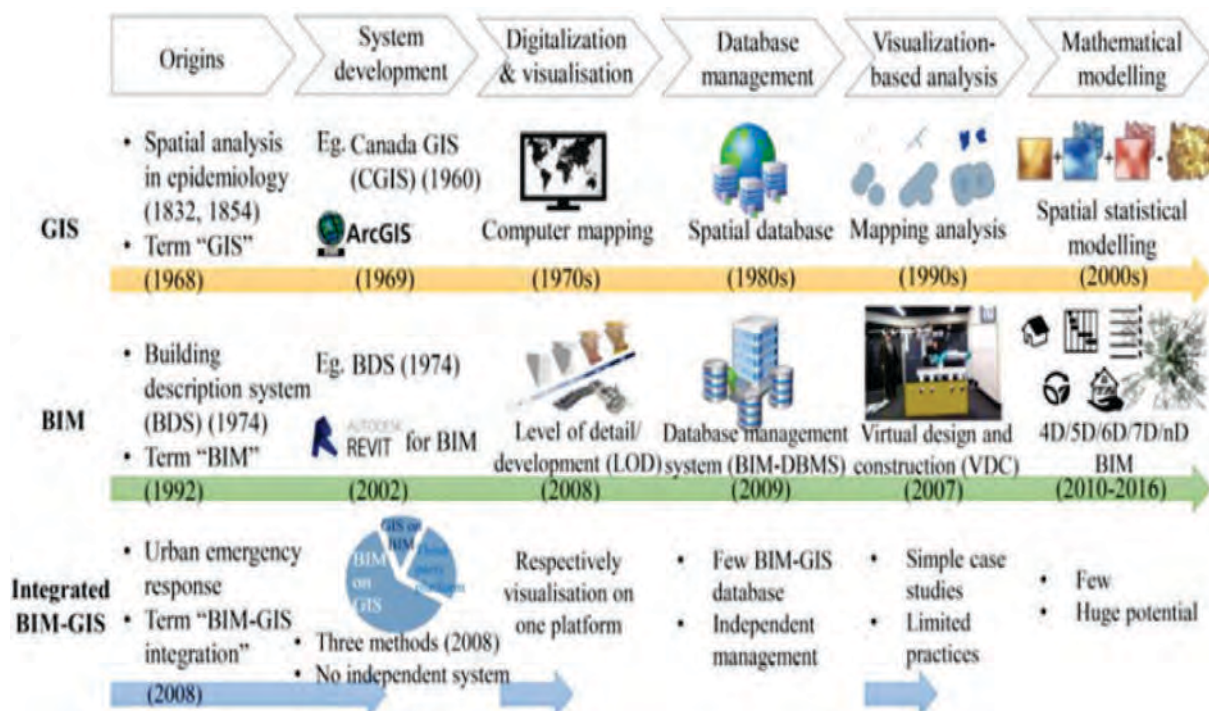


Figura 23. Comparación de la evolución de GIS, BIM y su integración BIM-GIS

Fuente: Adaptado de *Trends and Opportunities of BIM-GIS Integration in the Architecture, Engineering and Construction Industry: A Review from a Spatio-Temporal Statistical Perspective*, por, Song et al., 2017, ISPRS international journal of geo-information.

La aplicación de la integración BIM-GIS cubre todas las etapas de construcción de edificios y ciudades e infraestructura urbana. En la aplicación, los puntos fuertes de BIM y GIS se encuentran generalmente en la construcción y el modelado urbano, pero las funciones de BIM y GIS utilizadas en estas aplicaciones suelen ser similares (Song et al., 2017).

4.6.3.1 Aplicaciones BIM-GIS en el ciclo de vida de un proyecto. En la etapa de planificación y diseño, son muy influyentes para definir las orientaciones de toda la empresa y del proyecto, donde la integración BIM-GIS no solo aporta información geométrica y semántica (Ham et al., 2008, como se citó en Song et al., 2017), también evalúa el costo y la durabilidad en una etapa temprana en un entorno virtual 3D (Cheung et al., 2012, como se citó en Song et al., 2017).

Durante la fase de construcción, la integración BIM-GIS se aplica al control de costos del proyecto. BIM se utiliza para registrar los flujos de caja y financiamiento del proyecto durante la construcción (Lu et al., 2016, como se citó en Song et al., 2017) y GIS se usa en el análisis espacial y temporal de grupos de costos y la predicción de escenarios de costos.

En la etapa operativa, BIM-GIS se utiliza para resolver problemas sofisticados y proporcionar estrategias integrales para la simulación, prevención, respuesta y gestión de emergencias y desastres, protección del patrimonio, operación de megaproyectos, navegación interior y evaluación ecológica. Los objetos de la aplicación pueden ser edificios, infraestructuras, ciudades y otros objetos de mayor escala espacial (Song et al., 2017).

En la etapa de demolición, BIM-GIS puede optimizar la reutilización y el reciclaje para minimizar los desechos de materiales, el costo total de energía, el tiempo de demolición y las consecuencias medioambientales (Song et al., 2017).

4.6.3.2 Ventajas del uso de GIS con BIM. En BIM-GIS, se ha observado que la aplicación actual tiene tres ventajas principales. Primero, integra datos e información a múltiples escalas espaciales para resolver problemas relacionados con los componentes del edificio y el entorno construido (incluido el entorno urbano) (Song et al., 2017). Este es también el punto de partida para utilizar la integración BIM-GIS. En segundo lugar, se aplica la función principal de BIM, que proporciona información completa y detallada sobre la geometría y los materiales de los componentes de construcción. Por último, el análisis basado en visualización mejora la eficiencia y el rendimiento de la gestión de la construcción del proyecto AEC (Song et al., 2017).

4.6.3.3 Tendencias de desarrollo. Song et al. (2017) proponen oportunidades potenciales de integración BIM-GIS desde la perspectiva del modelado estadístico espaciotemporal.

- Primero, la integración de datos e información a múltiples escalas espaciales para resolver problemas relacionados con los componentes del edificio y el entorno construido incluido el entorno urbano. Este es también el punto de partida para utilizar la integración BIM-GIS.

BIM y GIS son áreas y sistemas independientes, y se utilizan parcialmente juntos para abordar problemas específicos. La diferencia entre la integración actual y la futura es que se explorarán y utilizarán más puntos fuertes de BIM y GIS, y se utilizarán estadísticas espaciotemporales y las nD BIM para realizar modelos y análisis matemáticos precisos.

- En segundo lugar, BIM proporciona información completa y detallada sobre la geometría y los materiales de los componentes de construcción. En la actualidad, solo unos pocos estudios consideran a BIM como ciencia de la información en construcción para la digitalización, visualización y análisis de ciclos de vida de proyectos completos (Karimi, 2013, como se citó en Song et al., 2017).

BIM más adelante, se desarrollará como ciencia de la información en construcción para la industria AEC, y luego un campo más amplio de ciencia de la geo-información cubrirá BIM, GIS y otras tecnologías, servicios y ciencias basados en la

ubicación. La integración BIM-GIS brinda una oportunidad para ampliar el alcance y la comprensión integral de la industria AEC y las ciudades inteligentes.

- Por último, BIM se considera la fuente de datos para SIG y análisis estadístico espaciotemporal en la industria AEC. Debido a los diferentes requisitos de los usuarios del proyecto AEC, BIM puede proporcionar varios datos calidad, tiempo y progreso, costos, contratos, seguridad y medio ambiente, etc. Para estos estudios, GIS proporciona métodos estadísticos espaciales para modelar datos.

Los resultados de algunos análisis estadísticos temporales y espaciales también pueden considerarse fuentes útiles en forma de datos y productos de información. Por lo tanto, la fuente de datos puede mejorar las aplicaciones GIS y mejorar el papel de BIM en la industria AEC.

4.6.4 Internet of things - Internet de las cosas (IoT)

De acuerdo con Gubbi et al. (2013, como se citó en Tang et al., 2019), se conoce como IoT a la interconexión de dispositivos de detección y activadores que brindan la capacidad de compartir información entre plataformas a través de un marco unificado, desarrollando un enlace operativo en común para permitir aplicaciones innovadoras. Por medio de IoT se desarrollan: tecnologías de detección, tecnologías de identificación y reconocimiento, hardware, software y plataformas en la nube, tecnologías y redes de comunicación, software y algoritmos, tecnologías de posición, soluciones de procesamiento de datos, energía y almacenamiento de energía, mecanismos de seguridad, etc. (Čolaković y Hadžialić, 2018, como se citó en Tang et al., 2019).

4.6.4.1 Desarrollo con BIM. La sinergia de BIM con datos en tiempo real de los dispositivos conectados a IoT presenta un fuerte desarrollo para optimizar la construcción y la eficacia operativa. La unión de flujos de datos en tiempo real comenzando con el conjunto de redes de sensores de IoT, es un rápido desarrollo a los modelos BIM de alta fidelidad proporcionando numerosas aplicaciones (Tang et al., 2019).

El potencial de conectar fuentes de datos basadas en BIM e IoT es un desarrollo relativamente nuevo. En general, los datos BIM e IoT ofrecen vistas complementarias del proyecto que en conjunto complementan las limitaciones de cada uno. Los modelos BIM proporcionan representaciones de alta fidelidad del diseño a nivel de componente (Tang et al., 2019).

Al incorporar geometría, ubicación espacial y un conjunto escalable de propiedades de metadatos, los modelos BIM incorporan un conjunto de datos operables de alta fidelidad que contiene los objetos de construcción, los parámetros y la organización espacial, diseñados como un conjunto de activos virtuales. Los datos de IoT mejoran este conjunto de información al proporcionar un estado registrable en tiempo real de las operaciones reales en la construcción. La información muestreada por los sensores es muy variable, pero incluye

información sobre posicionamiento, medidas físicas, condiciones meteorológicas, etc. (Tang et al., 2019).

Los estudios existentes han adoptado dispositivos BIM e IoT en muchos aspectos, como la gestión de la energía, el seguimiento de la construcción, la gestión de la salud y la seguridad y la gestión de edificios. Sin embargo, la investigación de integración de BIM e IoT aún se encuentra en etapas incipientes donde la mayoría de los estudios se proponen teórica y conceptualmente (Dave et al., 2018, como se citó en Tang et al., 2019).

4.6.4.2 Tendencias a futuro. El diseño y la construcción estarán completamente digitalizados, con BIM como pilar informativo del proyecto constructivo. El Internet de las cosas proporcionará nuevos flujos de datos de entrada, desde grúas torre, bombas de concreto, sistemas de control de edificios, cámaras y sensores transportados por drones, hasta materiales de construcción en la cadena de suministro y más (Sacks et al., 2018).

Todos estos procesos deben ser explicados y los resultados combinados con el modelo arquitectónico. Esta información se utilizará de muchas formas diferentes, y estas formas no están disponibles en la actualidad (Sacks et al., 2018).

Tang et al. (2019) nos presentan algunas posibles direcciones de investigación relacionadas con la integración de dispositivos BIM e IoT se proponen de la siguiente manera:

- Servicios web para la integración de BIM e IoT: Para las ciudades inteligentes, la información que reside en BIM es valiosa. La aplicación de gestión y modelado de ciudades, como la plataforma de ciudad inteligente y el portal de la ciudad, puede absorber los datos proporcionados por BIM e IoT (Tang et al., 2019).
- Los modelos BIM y dispositivos de IoT, necesitarán una vía de comunicación para transmitir estos datos, lo cual sería por medio de servicios web. Al transmitir los datos a través de los servicios web, la interacción obtenida de los dispositivos BIM e IoT ofrecerá información a los usuarios en tiempo real sobre su edificación (Tang et al., 2019).
- Definición de estándares de gestión e integración de información: Con la aparición de nuevas tecnologías como las redes de datos y Internet de las cosas, existirá sobrecarga y diversidad de información (Dave et al., 2016, como se citó en Tang et al., 2019). Dado que la cantidad de datos aumenta drásticamente con el tiempo, es importante garantizar la coherencia, la trazabilidad y el archivo de la información a largo plazo (Hefnawy et al., 2016, como se citó en Tang et al., 2019).
- Sin estándares de integración y gestión de la información, resulta caro y requiere mucho tiempo clasificar grandes conjuntos de datos en el orden en que están disponibles (Gerrish et al., 2017, como se citó en Tang et al., 2019). Por lo tanto, los sistemas de integración y gestión de la información mal diseñados e implementados pueden obstaculizar el desarrollo futuro de entornos inteligentes BIM e IoT. Como paso básico en la investigación futura relacionada con la

integración de datos, un problema potencial será cómo estandarizar los procesos de integración y gestión de la información para promover un flujo de datos efectivo para diversos propósitos, industrias, períodos de tiempo, aplicaciones de IoT y tecnologías futuras (Tang et al., 2019).

- Interoperabilidad con dispositivos IoT, BIM y ciudades inteligentes: Aunque hay mucha investigación en curso sobre la solución de problemas de interoperabilidad entre dispositivos IoT y BIM, los problemas de interoperabilidad entre el paradigma IoT y la industria AEC aún persisten (Tezel y Aziz, 2017, como se citó en Tang et al., 2019).
- Una pregunta de investigación potencial puede ser cómo se pueden integrar diferentes modelos de datos, esquemas, estándares y protocolos como protocolos de dispositivos IoT, estándares BIM abiertos y modelos de datos a escala de ciudad para resolver problemas de interoperabilidad para dispositivos inteligentes, edificios y ciudades inteligentes (Tang et al., 2019).
- Gestión en la nube³: El punto clave con IoT está relacionado con la interconexión de los dispositivos de detección y accionamiento que proporcionan intercambio de información a través de Internet. La computación en la nube implica alojar servicios informáticos a través de Internet y permitir que diferentes dispositivos de IoT se conecten a la infraestructura de Internet existente (Khalid et al., 2017, como se citó en Tang et al., 2019). En la figura 24, se observa que los datos son almacenados en la nube, para luego ser usados en diversos procesos de monitoreo, control, etc.

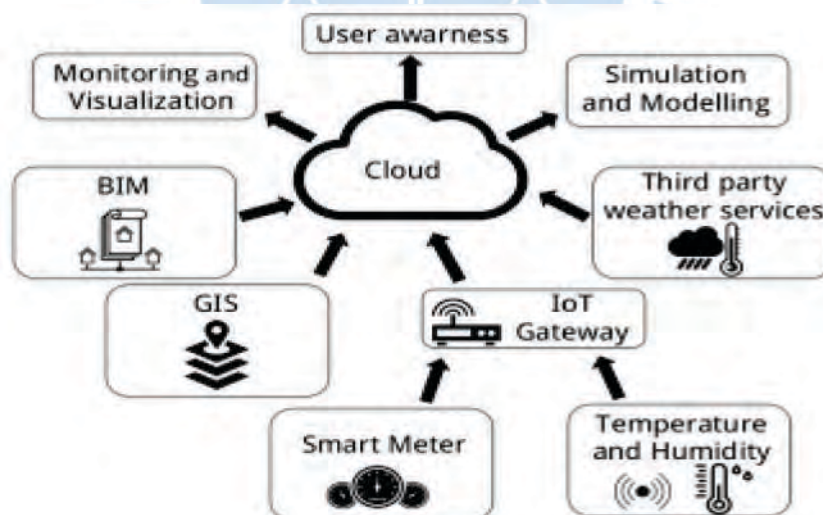


Figura 24. Integración de la nube con IoT

Fuente: Adaptado de *Building energy modelling and monitoring by integration of IoT devices and Building Information Models*, por Bottaccioli et al., 2017, IEEE.

³ Cloud Computing: Proporciona servicios de informáticos, incluidos servidores, almacenamiento, bases de datos, redes, software, análisis e inteligencia a través de Internet, para brindar innovación más rápida, flexibilidad de recursos y economías de escala (Azure Microsoft, 2015).

- La gran cantidad de información creada por IoT y BIM, creara problemas en el almacenamiento de datos basado en la nube. Se deben realizar investigaciones futuras para resolver los problemas existentes. Aunque se han creado múltiples aplicaciones en torno a IoT, BIM y Cloud (Matthews et al., 2015, Williams et al., 2013, Curry et al., 2013, Peng et al., 2017, como se citaron en Tang et al., 2019)., se han realizado pocos esfuerzos para producir un método común para integrar a IoT, BIM y los sistemas de almacenamiento en la nube (Botta et al., 2016, como se citó en Tang et al., 2019). Un flujo de trabajo común, un modelo 3D comunicativo y una plataforma serán beneficiosos para la construcción de aplicaciones que comparten requisitos y características comunes para el futuro.

4.6.5 Desarrollo robótico

El sector de la construcción experimenta problemas críticos como la baja productividad del sector de construcción (Teicholz, 2013, como se citó en Kim et al., 2021), la escasez de mano de obra (U.S. Bureau of Labor, *Careers in Construction: Building Opportunity*, 2018, como se citó en Kim et al., 2021) y enfermedades y muertes relacionadas con el trabajo (OSHA, 2019, como se citó en Kim et al., 2021). Varios estudios afirman que estos problemas de todo el sector no pueden resolverse con mejoras insignificantes de los métodos de construcción convencionales que han alcanzado sus limitaciones técnicas (Bock, 2015; Bock, 1994, como se citó en Kim et al., 2021). Por lo tanto, estudios recientes sugieren firmemente la necesidad de adoptar los robots autónomos para realizar tareas de construcción repetitivas, intensivas en mano de obra y peligrosas para mejorar la productividad, la seguridad y la calidad de los proyectos de construcción (Bock, 2015; Everett, 1994, como se citó en Kim et al., 2021).

A la fecha, se han realizado varios intentos de robotización en el sector de la construcción, entre los cuales, se tiene:

Construction Robotics ha desarrollado un robot comercial llamado *Semi-Automated Mason (SAM)* que puede ser enviado a los lugares de trabajo para realizar trabajos de albañilería de forma automática. SAM puede colocar entre 300 y 400 ladrillos de mampostería en una hora, es decir, entre 3 y 5 veces más rápido que los albañiles humanos (Weaver, 2019, como se citó en Kim et al., 2021).

Tybot y Brayman Construction también desarrollaron un robot de atado de barras de refuerzo que logró una reducción del 40% en las horas de trabajo y un calendario de trabajo y una reducción de 30 días en el calendario de un proyecto de un puente (Clack, 2018, como se citó en Kim et al., 2021).

DPR Construction desarrolló un robot móvil que dibuja los trazados de los muros secos basándose en un modelo BIM (Show, 2013, como se citó en Kim et al., 2021).

Todos estos robots de construcción tienen una característica en común y es que tienden a ser diseñados y fabricados para realizar tareas de construcción únicas, para que

funcionen en situaciones diferente, se necesita una reconfiguración significativa del de hardware o una reprogramación del programa de software (Kim et al., 2021).

Por el contrario, los robots de propósito general pueden realizar tareas de forma más inteligente en condiciones únicas y dinámicas de la obra. Además, la implementación de las funciones esenciales (por ejemplo, la navegación, localización, mapeo, control de sensores, control de manipuladores) de un robot de uso general puede lograrse con el mínimo esfuerzo reutilizando recursos de comunidades de código abierto, como la industria ROS (Kim et al., 2021).

Sin embargo, uno de los principales retos en la adopción de los robots en construcción es la falta de sistemas de planificación de tareas que puedan generar movimientos elementales muy detallados (por ejemplo, agarrar, mover, girar, recoger) de los robots utilizando la información de los modelos BIM y los programas de construcción (Everett, 1994, como se citó en Kim et al., 2021).

Kim et al. (2021), desarrolló un sistema de planificación de tareas robóticas que puede generar comportamientos de robots basados en la información del proyecto de BIM y el programa de construcción.

Se construyó un prototipo sobre el sistema operativo del robot (ROS), para simular comportamientos de un robot de pintura y evaluar el rendimiento en el contexto de las tareas relacionadas con la construcción. El prototipo incluye un convertidor que genera un mundo compatible con ROS a partir de un archivo IFC y subprocesos que llevan a cabo la localización, la navegación y la planificación del movimiento.

El estudio de caso demuestra que la planificación de tareas robóticas apalancada por BIM propuesta puede integrar los dominios de la construcción y la robótica para planificar las operaciones de los robots autónomos en los proyectos de construcción.

Esta investigación también puso de manifiesto que los estudios posteriores pueden incorporar el BIM 4D y la planificación de tareas del robot desarrollada en este estudio, ya que el BIM 4D puede simular el progreso de la construcción a través el IFC y actualizar automáticamente el programa de construcción asociando las tareas realizadas por el robot.

4.6.6 Smarts cities

El concepto de *Smart City* está basado en el uso de datos relacionados con los componentes físicos de la ciudad (infraestructura, edificios, espacio público), medio ambiente natural (calidad del aire, espacios verdes, recursos hídricos, emisiones de gases de efecto invernadero), servicios urbanos (transporte, agua Suministro, suministro de energía, residuos urbanos, educación, salud, cultura y deportes), actividad economía y ciudadana (Shahrour, Alileche, & Alfurjani, 2017).

Dado que el entorno construido juega un papel importante en las funciones urbanas y la calidad del servicio, los proyectos de ciudades inteligentes deben hacer de este entorno el núcleo de su estrategia. Esta integración requiere primero el desarrollo de modelos digitales para ciudades, infraestructura urbana y edificios. El modelado digital debe incluir datos de activos, datos operativos y datos ambientales a lo largo del ciclo de vida del sistema afectado. También debe garantizar la interoperabilidad entre diferentes herramientas de modelado (Shahrour, Alileche, & Alfurjani, 2017).

La gestión inteligente de la ciudad requiere el intercambio de datos entre los sistemas de información de la ciudad. Dado que se utilizan diferentes herramientas para modelar diferentes sistemas urbanos (edificios, infraestructura, ciudades), es importante garantizar su interoperabilidad (Shahrour, Alileche, & Alfurjani, 2017).

La relación con BIM y las ciudades inteligentes se ve reflejado en los modelos 3D. Los modelos 3D actuales incluyen bases de datos que almacenan cualquier tipo de datos espaciales de la ciudad y sus georreferencias. El nuevo modelo no es solo la geometría digital del modelo tradicional, sino una gran base de datos que se puede visualizar en un entorno 3D. El modelo puede utilizar sensores inteligentes y otros datos e información disponibles para capturar y visualizar datos en tiempo real. El entorno construido se actualiza constantemente en términos de personas, actividades y entorno construido. Tanto los administradores de la ciudad como los usuarios pueden comprender el sistema de la ciudad y su entorno. Esto puede conducir a mejoras en las funciones urbanas y la calidad de vida (Shahrour et al., 2017).

El modelo de Ciudad Virtual se utiliza en multitud de aplicaciones urbanas (Biljecki, 2015, como se citó en Shahrour et al., 2017) como geo-visualización, análisis de visibilidad, catastro 3D, navegación exterior, planificación urbana, estimación de demanda de energía, respuesta a emergencias, gestión de crisis, simulaciones de iluminación, calidad del aire, análisis de accesibilidad, mitigación de inundaciones, gestión de espacios verdes y gestión de instalaciones.

En la actualidad, se realiza un esfuerzo importante en la extensión de la capacidad de BIM, esto ha generado que el sector de la construcción se vuelva en una industria cada vez más digital. En la figura 25, se ve el proceso de evolución que ha seguido BIM, sumándose las posibles alternativas que pueden suceder en el futuro, las cuales han sido mencionadas en este capítulo. Se debe comprender que las posibilidades que brindará un buen modelo trascenderán fuera de los proyectos civiles posibilitando el desarrollo de las *Smart cities* y la automatización de la construcción en base a la inteligencia artificial y el diseño generativo⁴.

⁴ El diseño generativo es un proceso de exploración del diseño iterativo en donde los diseñadores o ingenieros introducen los objetivos del diseño en un software de diseño generativo, junto con parámetros (los requisitos de rendimiento o espacio, los materiales, los métodos de fabricación y las limitaciones de costes). El software explora todas las posibles permutaciones de una solución, generando rápidamente alternativas de diseño (Autodesk, s.f.).

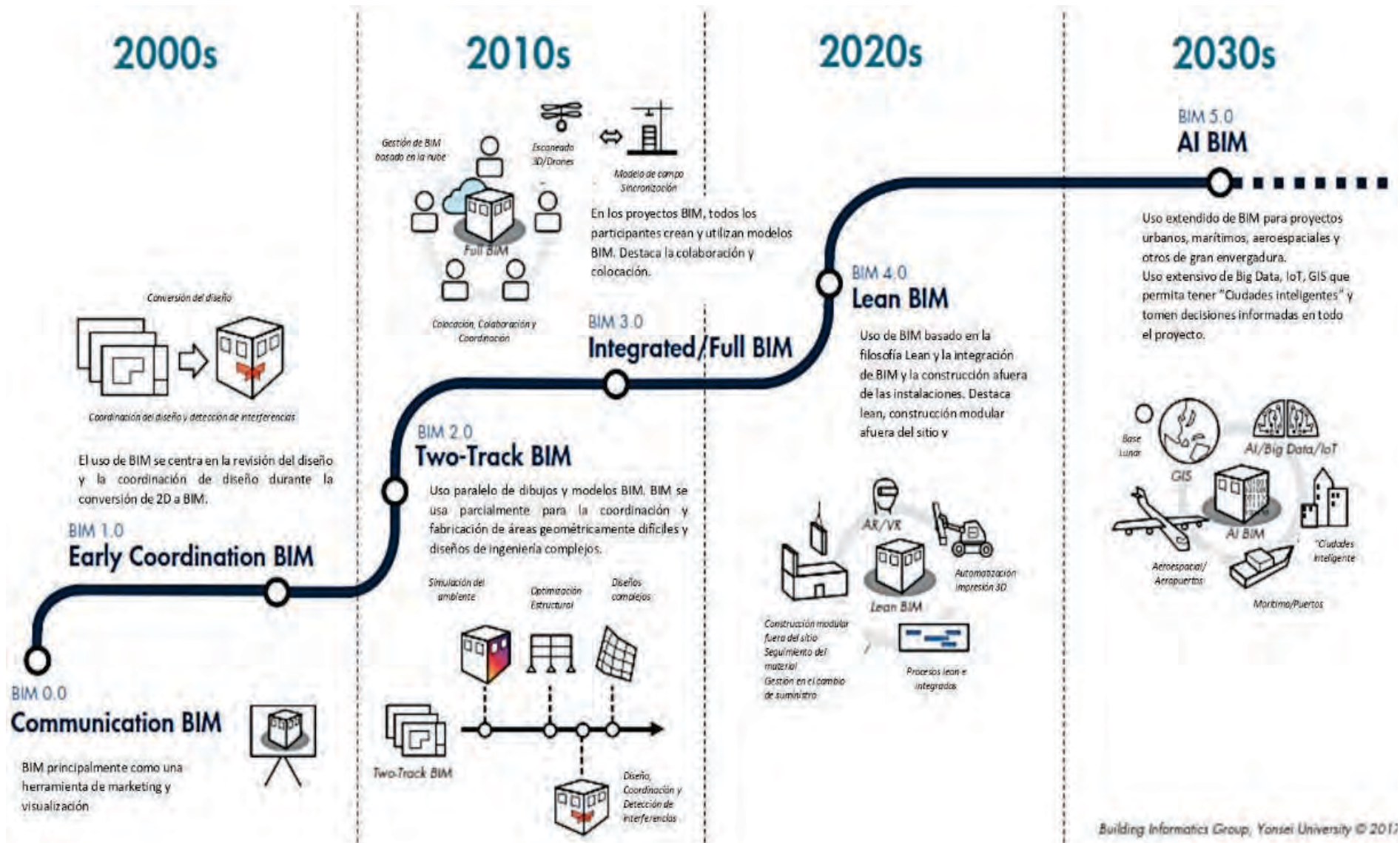


Figura 25. Desarrollo a futuro de BIM

Fuente: Adaptada de BIM Handbook (p.396), por Sacks et al., 2018, Wiley.



Capítulo 5 Desarrollo e Implementación de BIM

5.1 Estándares BIM

El objetivo de un estándar es proporcionar una base confiable para que las personas compartan las mismas expectativas sobre un producto o servicio (BSI, s.f.). La figura 26 muestra un mapa que señala algunas de las normas ISO ligadas a BIM que están siendo utilizadas por distintos países, cabe resaltar que estas normas internacionales han nacido de estándares locales como es el caso de la norma ISO 19650.

5.1.1 ISO 19650

Es una norma internacional de gestión de información a lo largo de todo el ciclo de vida de un activo construido utilizando BIM. Este estándar está basado en las normas británicas desarrolladas por BSI: BS 1192:2007(A2:2016) y PAS 1192-2:2013 (BSI, s.f.), de esta última incluso mantiene su misma estructura, todo esto propicio su desaparición con el fin de que no exista información duplicada (Ellis, 2019).



Figura 26. Normas ISO ligadas a BIM en el mundo

Fuente: Adaptado de *Introducción a la metodología BIM*, por Plan BIM Chile, 2021.

La ISO está compuesta por 5 partes (ver figura 27), conocida como ISO series que van desde los conceptos generales hasta la seguridad de la información. Las dos primeras partes fueron publicadas a finales del 2018 mientras que la tercera y la quinta parte fueron publicadas a finales del año 2020, la parte 4 se encuentra en desarrollo.

Las series ISO 19650, son una referencia importante aplicable a todo el mundo, y cada país la puede adaptar para que funcione en su contexto.

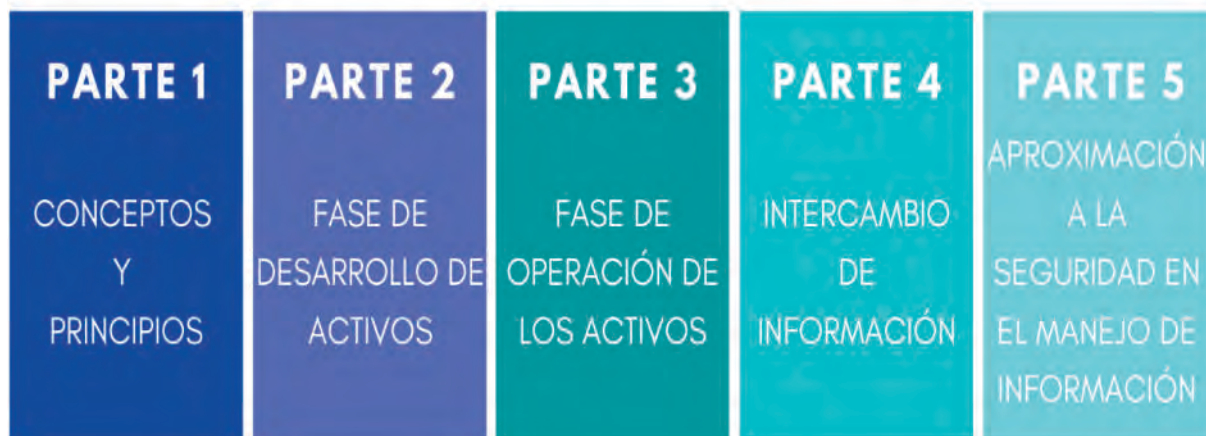


Figura 27. Partes ISO 19650

Fuente: Adaptado de *Introducción a la metodología BIM*, por Plan BIM Chile, 2021.

5.1.2 ISO 12006

Se tiene:

- ISO 12006-2: Construcción de edificios - Organización de la información sobre obras de construcción - Parte 2: Marco de clasificación.

Define un marco para el desarrollo de sistemas de clasificación de entornos construidos. Identifica un conjunto de títulos de tablas de clasificación recomendados para una variedad de clases de objetos de información de acuerdo con vistas particulares (IHS Markit Standards Store, s.f.).

- ISO 12006-3: 2007: Construcción de edificios - Organización de la información sobre obras de construcción - Parte 2: Marco para la información orientada a los objetos.

Especifica un modelo de información independiente del idioma que se puede utilizar para el desarrollo de diccionarios utilizados para almacenar o proporcionar información sobre obras de construcción. Permite hacer referencia a sistemas de clasificación, modelos de información, modelos de objetos y modelos de procesos desde un marco común (IHS Markit Standards Store, s.f.).

Basados en estas normas, nacen los sistemas de clasificación: Omniclass, Unifomat y Uniclass (ver figura 28).



Figura 28. *Sistemas de clasificación basados en la ISO 12006*

Fuente: Adaptado de *Introducción a la metodología BIM*, por Plan BIM Chile, 2021.

Los países han tomado como referencia las normas internacionales y las han adoptado a su contexto local, elaborando de esa forma sus propias guías y estándares, como se muestran en la figura 29.

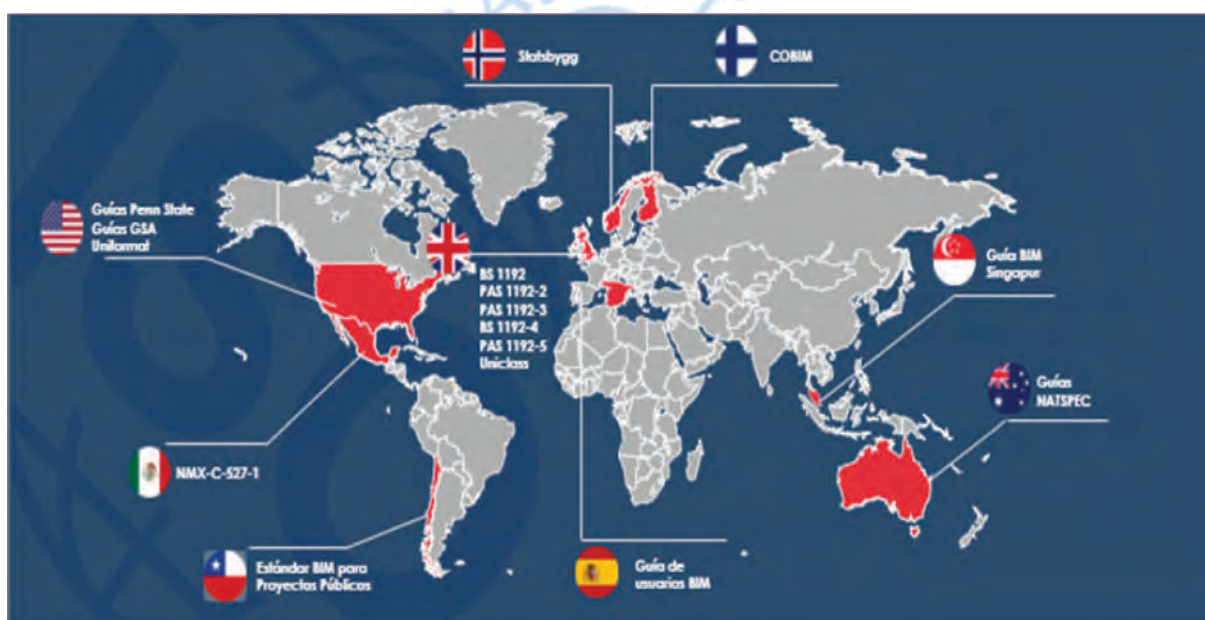


Figura 29. *Guías y estándares BIM en el mundo*

Fuente: Adaptado de *Introducción a la metodología BIM*, por Plan BIM Chile, 2021.

5.2 Proceso de implementación

5.2.1 Usos BIM

La metodología BIM plantea una serie de objetivos, los cuales se van dando a lo largo del ciclo del proyecto, estos van acorde al uso en que se emplearán en la construcción, siendo un primer paso del desarrollo de un Plan de Ejecución BIM, los cuales nos permitirán identificar que se debe cumplir en las diferentes etapas para lograr un buen proyecto (Lévy & Ouellette, 2019).

Los usos BIM vienen a ser las posibles aplicaciones que se emplearan durante el proyecto a realizar en base a los requisitos de información y objetivos de la inversión. Se

pueden ubicar en cada ciclo del proyecto (diseño, planificación, construcción y operación), donde tendremos diferentes usos específicos para cada una de estas etapas, permitiendo definir el propósito del proyecto a realizar, estos deben especificarse en el PEB o BEP.

Debido a su versatilidad, la Universidad Estatal de Pensilvania consolido ciertos usos BIM en su documento denominado *“BIM Project Execution Planning Guide, Version 3.0”*, estableciendo una clasificación en raíz a su propósito y objetivo. Estos usos son explicados en la tabla 33, la cual cuenta con 25 posibles usos (The Pennsylvania State University, 2019).

Tabla 33

Objetivos de los Usos BIM

Usos	Descripción
1. Modelado de condiciones	Captura de información considerando las condiciones actuales, sus instalaciones, etc. Se puede desarrollar por medio de topografía tradicional o escaneo laser (sensor LiDAR).
2. Estimación de costos y presupuestos	Uso del modelo para el control de presupuesto en diferentes fases del proyecto.
3. Planeación de obra	Planificación de las fases de trabajo en función al tiempo, realizando un diagrama de Gantt vinculado a un modelo.
4. Análisis de emplazamiento	Uso del modelo para realizar un estudio de la ubicación adecuada del proyecto.
5. Distribución de espacio	Proceso de evaluación del diseño respecto a la zonificación de áreas requeridas en el proyecto.
6. Revisión del diseño	Uso del modelo para la revisión de posibles requerimientos del proyecto respecto a materiales, iluminación, colores, etc., que por medio de este se pueda contar con múltiples alternativas de diseño.
7. Diseño de especialidades	Uso del software de creación BIM para desarrollar un modelo 3D de arquitectura donde se pueda incorporar datos inteligentes (elementos paramétricos).
8. Certificación y Evaluación LEED	Usar el modelo para obtener la certificación LEED. Este proceso se debe dar en todo el ciclo de vida del proyecto.
9. Análisis estructural	Uso del modelo para evaluar el comportamiento estructural del proyecto. Por medio del análisis ajustar el diseño a la normativa vigente.
10. Análisis lumínico	Uso del modelo para determinar el comportamiento del sistema de iluminación, teniendo en cuenta iluminación natural y artificial.
11. Análisis energético	Evaluación energética en diferentes fases del proyecto en base a criterios energéticos.
12. Análisis de climatización y mecánica	Usar el modelo para evaluar los sistemas mecánicos y de climatización.
13. Análisis de otras instalaciones	Proceso en el que el software de modelado inteligente utiliza el modelo BIM para determinar el método de ingeniería más eficaz en función de las especificaciones de diseño.

Usos	Descripción
14. Validación de códigos	Evaluación del cumplimiento de códigos universales y normativa, que puedan ser reconocidos por procesos industriales de construcción.
15. Detección de interferencias	Compatibilidad entre las diferentes disciplinas para detectar interferencias entre los modelos de diferentes especialidades.
16. Control de logística en sitio	Uso del modelo BIM para ubicar y gestionar de manera gráfica la implantación en obra de las casetas, vestuarios, maquinaria. Permite también establecer flujo de personal, etc.
17. Diseño sistemas constructivos	Uso del modelo para resolver el diseño de elementos complementarios (soportes temporales, acristalamiento estructural, etc.) y estructuras complejas en fase de obra.
18. Fabricación digital	Utilizar la información digital del modelo para facilitar la fabricación de elementos constructivos singulares o ensamblajes. La fabricación digital por medio de un modelo permite reducir desperdician en fase de fabricación en corte de tuberías, habilitación de acero, etc.
19. Control de Obra	Optimización, monitoreo y análisis de la construcción a través de un modelo BIM, con el objetivo de que la obra se realice con las especificaciones técnicas correspondientes del proyecto.
20. Modelos as-built	Representación de manera exacta las condiciones físicas de los elementos estructurales, arquitectónicos y MEP, en el modelo virtual. Entrega del modelo As built con la información para la operación y el mantenimiento (códigos de barras, historial de mantenimiento, garantías, etc.).
21. Plan y gestión de emergencias	Uso del modelo para mejorar la eficiencia de respuesta ante una emergencia para prevenir incidencias y minimizar riesgos.
22. Análisis sistemas edificio	Análisis del desempeño del proyecto comparado con lo que se ha especificado en diseño. Esto incluye el control de la energía, análisis de iluminación, control de ventilación, etc.
23. Gestión de activos	Vinculación de un modelo BIM as-built para poder ayudar de manera eficiente en el mantenimiento y operación de una instalación y sus activos. Esto permite gestionar a corto y largo plazo las repercusiones financieras de las modificaciones en el edificio y la generación de órdenes de trabajo programadas.
24. Gestión y seguimiento de espacios	Uso del modelo para optimizar la distribución y administración de espacios del proyecto en base a ampliaciones o remodelaciones.
25. Programación de mantenimiento	Uso del modelo BIM para establecer un programa de mantenimiento de la infraestructura y su equipamiento (mecánico, sanitario, eléctrico, etc.) durante la fase de operación.

Nota. Pennsylvania State University (2019).

Cabe resaltar, que cada en cada país donde existe una guía nacional BIM, definen sus propios usos, muchos de ellos se basan en la guía definida por la Universidad de Pensilvania, como BIM España, BIM UK, BIM Chile, etc. En Perú se basaron en la guía de Nueva Zelanda

para plantear 28 usos, donde mencionan los usos BIM que recomiendan aplicar en la etapa inicial son: levantamiento de condiciones existentes, diseño de especialidades, elaboración de documentación, coordinación de la información, estimación de cantidades y costos, revisión de diseño, detección de interferencias e incompatibilidades, planificación de la fase de ejecución y modelo de información as – built (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021).

Se debe mencionar que los usos dados por cada guía BIM son orientativos y el usuario es libre de definir los suyos que pueden estar relacionados con los anteriores mencionados. Un ejemplo de ello es el uso de realidad virtual (VR), realidad aumentada (AR) y realidad mixta (MR), como realizar recorridos virtuales; levantamientos de nubes de puntos del avance de obra, etc.

En base a lo mencionado, diferentes empresas han adaptado los usos BIM a sus necesidades tomando como referencias las guías nacionales de sus respectivos países o la guía más popular que es la de Universidad de Pensilvania como base. Esto les permitió establecer un orden propio, el cual les facilitada cuales usos emplear en sus proyectos concesionados. Un ejemplo de ello se ve reflejado en la figura 30, donde la plataforma digital BIM channel, que se dedica a la difusión de noticias e información relacionada a BIM, brinda en que ciclo de vida de un proyecto se ubica cada uso, que etapas abarca y que dimensiones les corresponden.

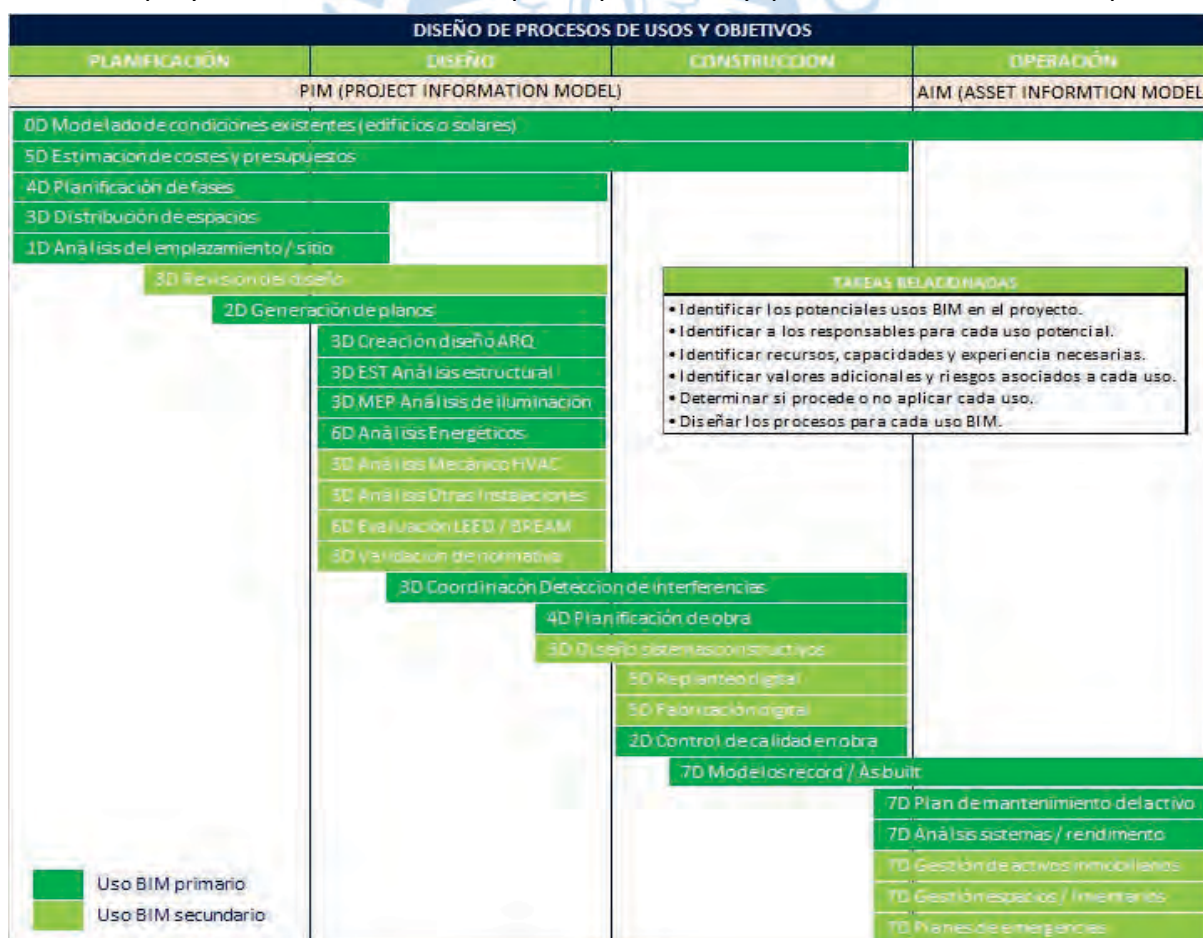


Figura 30. Usos BIM

Fuente: Adaptado de BIMchannel, por D. Barco, 2020, BIMchannel (<https://cutt.ly/4GfYxPQ>).

Adrián de Santiago (2020), menciona que para la elección de los diferentes usos se debe tener en cuenta dos variables:

- Estrategia de modelado
- Dependiendo del propósito del modelo, debe modelarse de una forma u otra. Esto se refiere tanto a los LOD que llevará el modelo como a la forma de colaboración utilizada para los conjuntos de trabajo o enlaces.
- Estrategia de toma de datos
- Dependiendo del uso del modelo, la recolección de datos para su modelado se realizará de una forma u otra, considerando siempre los mejores datos y procesos para lograr mejores resultados.

5.2.2 Plan de ejecución BIM

Un 'Plan de Ejecución BIM' o 'BIM Execution Plan' (BEP), en inglés, es una parte muy valiosa y necesaria en cualquier proyecto de construcción. Uno de los principales motivos por los que el BEP es esencial, es que permite asegurarse que todos los agentes que intervienen en un proyecto están colaborando y cooperando (Hardin et al.,2015).

En la mayoría de los casos, el BEP inicial se crea antes del contrato, con el fin de mostrar a los proveedores el enfoque previsto para el proyecto, así como la forma en que planea llevarlo a cabo. Una vez adjudicado el contrato, se crea también un BEP secundario para poner el foco en las capacidades de toda la cadena de suministro (Barnes & Davies, 2019).

Una vez activado, el BEP está disponible para todas las partes y equipos del proyecto para asegurar que este sigue su correcto desarrollo. El plan general de ejecución sigue siendo claro incluso cuando el proyecto sufre contratiempos o pequeños cambios durante su desarrollo, lo que supone una gran ventaja, pues ayuda a las personas involucradas a mantenerse al día de todo lo que sucede en el proyecto.

Un BEP correctamente implementado aumentará, sin duda, las posibilidades de que un proyecto sea desarrollado con éxito a tiempo y cumpliendo el presupuesto. La construcción de un BEP exitoso exige un trabajo comunicativo del equipo durante todo el proyecto, desde que inicia hasta su fin. Al potenciar la colaboración entre agentes, el BEP impulsa la creación de equipos más sólidos, en lugar de reforzar el perfil de profesionales individuales que trabajan en sus propias secciones (Barnes & Davies, 2019).

La transparencia es otro de los puntos importantes a tener presente en cualquier proyecto de construcción. Un *BIM Execution Plan* bien desarrollado estará siempre disponible para todas las partes involucradas, desde el cliente y los contratistas hasta los equipos de construcción. Todos deben tener una idea clara de todo el proceso de construcción y contextos para tener en cuenta, pero también de su rol y responsabilidades en el proyecto. Esto creará un ambiente de trabajo más abierto y con menos estrés (Barnes & Davies, 2019).

Yaringaño, A. (2021) menciona el contenido general que debe contener un BEP es:

- Definir los objetivos de la implementación BIM en el proyecto y sus KPI.
- Definir los Usos BIM que serán aplicados según los hitos del proyecto.
- Definir el alcance del modelado BIM y el nivel de desarrollo.
- Desarrollar colaborativamente un flujo de procesos para cada Uso BIM.
- Definir responsables de la producción, revisión y control de la información.
- Definir y planificar métricas de control (POP) para asegurar la continuidad del flujo de procesos.
- Definir los entregables por cada Uso BIM y sus criterios de aceptación.
- Establecer los estándares de los modelos y los procedimientos de creación de modelos (Plantillas y librerías)
- Infraestructura tecnológica: Software (interoperabilidad, versiones) y hardware (RA, RV, Cámaras360), big Room.
- Lineamientos de colaboración, sesiones ICE, nivel de participación, involucramiento.
- Estrategia de intercambio de información y Plataforma Común de Datos CDE; estado de la información, control de accesos, seguridad de la información, back-ups.

En un futuro próximo, el BEP será una parte imprescindible en cualquier proyecto de construcción y, si se hace correctamente, podrá responder casi cualquier pregunta que se le presente al proyecto. Cada construcción es diferente y requiere de un Plan de Ejecución BIM específico.

5.2.3 Etapas de un proyecto con BIM

BIM evoluciona dentro de los proyectos a través de una secuencia de etapas, las cuales deben ser implementadas de forma gradual y consecutiva por las partes interesadas. Estas etapas se subdividen en pasos, y lo que las diferencia es que las etapas son cambios radicales o de transformación, mientras que los pasos son incrementales. La madurez de BIM contiene componentes de TPP (tecnología, proceso y política) y se subdivide en tres etapas que son (ver figura 31) (Succar, 2008):

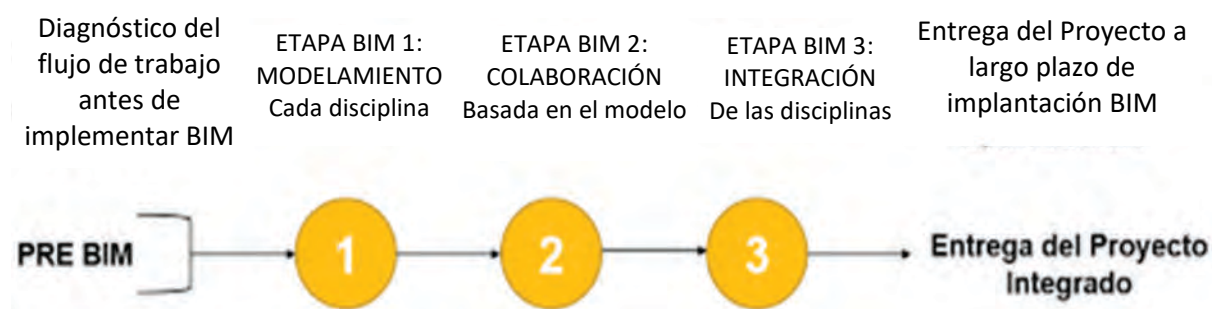


Figura 31. Etapas BIM

Fuente: Adaptado de *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*, por B. Succar, 2008, "Automation in Construction".

- **BIM Etapa 1: Modelado basado en objetos**
Como recordatorio, la implementación del BIM se inicia a través de la utilización de una 'herramienta 3D de software paramétrico basada en objetos' similar a ArchiCAD, Revit y Tekla. En la Etapa 1, los usuarios generan modelos unidisciplinarios, en cualquiera de las tres fases del ciclo de vida del proyecto: Diseño, Construcción y Operaciones.
- **BIM Etapa 2: Colaboración basada en modelos**
Una vez que se ha desarrollado una amplia experiencia de modelado unidisciplinaria a través de la implementación de la Etapa BIM 1, los actores de la Etapa BIM 2 colaboran activamente con los de otras disciplinas. Tecnológicamente, la colaboración puede producirse de muchas maneras, en función de las herramientas de software BIM seleccionadas por cada participante.
- **BIM Etapa 3: Integración basada en red**
En esta etapa, se crean modelos integrados, que son compartidos y mantenidos colaborativamente, a lo largo de las fases de ciclo de vida del proyecto. Esta integración se puede lograr a través de servidores públicos o nube.

5.2.4 Roles BIM

Un rol BIM es la función que se ejerce en alguna etapa del desarrollo y operación de proyectos o infraestructura, en base a capacidades BIM que se suman a otras no BIM. Los roles BIM asignan funciones y responsabilidades a las personas de un equipo en cuanto a la generación y gestión de información en BIM (Plan BIM Chile, s.f.).

Los roles más usuales en un proyecto con metodología BIM son (ver figura 32):

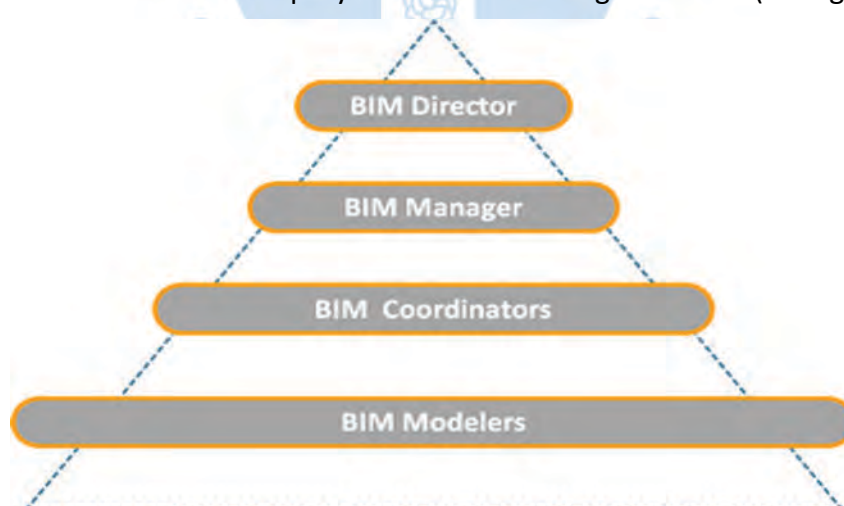


Figura 32. Roles BIM

Fuente: Adaptado de *¿Cuáles son los conocimientos que debe tener un modelador BIM para ser competitivo en el mercado Laboral?*, por G. Cañon, 2017, LinkedIn (<https://cutt.ly/MGd43FI>).

- **BIM Director:** Lidera la implementación y usos BIM en el proyecto, conforme las necesidades y requerimientos de la obra. Es el encargado de lidera el proyecto.

- BIM Manager: Define el entorno de trabajo BIM, especificando el estándar a seguir, modelos a crear y su vinculación entre cada uno. Además, define un cronograma de obra y organizar reuniones del equipo BIM, siendo la vía de comunicación entre el gerente del proyecto y los coordinadores del proyecto.
- BIM Coordinator: Es el encargado del proceso de integración y comunicación entre las diferentes especialidades del modelo. Analiza incompatibilidades, generando soluciones. Mantiene comunicación con los especialistas para asegurar el correcto diseño del modelo.
- BIM Modeler: La función principal es de generar los modelos BIM del proyecto según la especialidad correspondiente, manejando diferentes softwares y comprendiendo la documentación técnica, dominado el intercambio de formatos.

5.2.5 Niveles de madurez

Los niveles de madurez a los que están relacionados las etapas, son otra forma de caracterizar BIM, estos expresan el grado de colaboración en los procesos como los niveles de sofisticación del uso de herramientas individuales. Con estos niveles se ve a BIM como una serie de etapas distintas en un trayecto que empezó con CAD y que ahora se encuentra en la era digital, lo que refleja que para lograr el proceso completo de BIM no se hace en un solo paso, y a medida que se sube de nivel, la colaboración entre todas las partes es mayor (Sacks et al., 2018).

El concepto de los niveles nace a partir de la Estrategia para la Implementación de BIM del Gobierno de Reino Unido en el año 2011 (McPartland, NBS, 2014). Los niveles van desde el 0 al 3, y se han convertido en una definición ampliamente adoptada de los criterios para que un proyecto se considere compatible con BIM (Sacks et al., 2018). La figura 33 presenta los niveles definidos en la norma británica PAS-1192 y sus descripciones son lo que expresa la Institución de Estándares Británicos (BSI), sin embargo, se han agregado acotaciones importantes de otros autores con el fin de ampliar la explicación para un mejor entendimiento.

- Nivel 0: Este nivel se refiere al uso nulo de BIM, en donde no existe colaboración y se define como el “*Unmanaged Computer Aided Design*”, con dibujos en 2D y la información se comparte a través de dibujos tradicionales o digitalmente por PDF (BS, 2017; como se citó en Sacks et al., 2018).
- Nivel 1: Este nivel representa el primer paso para el uso de un BIM básico. Implica una combinación de modelos 3D, que se utilizan para el diseño conceptual, y 2D, para producción de documentos y sus aprobaciones legales. Los estándares CAD son BS 1192:2007 y la transferencia de datos se da a través de un CDE (BS, 2017; como se citó en Sacks et al., 2018), por ejemplo: una extranet del proyecto o un sistema de gestión de documentos electrónicos (EDMS), el cuál es manejado por el contratista.

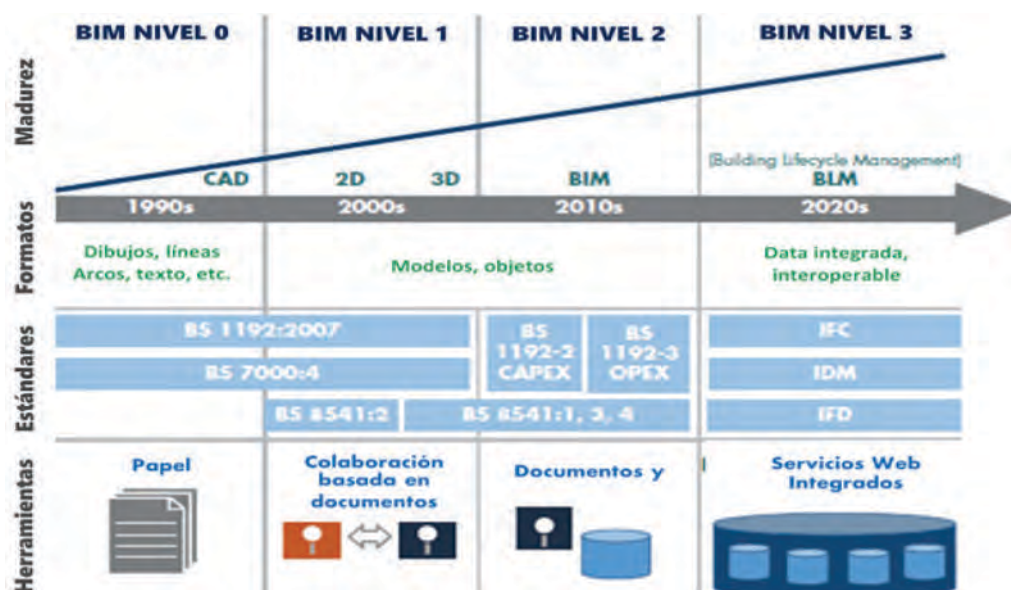


Figura 33. Niveles de Madurez BIM

Fuente: Adaptado de *The BIM Maturity model*, por Mark Bew y Mervyn Richards, 2018, BIM Handbook.

- En este CDE, se recogen y gestionan todos los datos necesarios para el proyecto y se debe respetar la jerarquía de información adecuada que respalde los conceptos del CDE (McPartland, NBS, 2014). Se da una colaboración parcial y también se le denomina “Lonely BIM” ya que el diseñador está trabajando generalmente solo y no tiene contacto con los diseñadores de las otras áreas (Lévy & Ouellette, 2019).
- Nivel 2: Este nivel se distingue por su trabajo colaborativo donde todos los involucrados utilizan sus propios modelos en 3D, pero no trabajan en un modelo único y compartido. La colaboración se da en la forma en la que la información se comparte entre los involucrados a través de un formato común, permitiendo así que cualquier organización combine esa información con la suya con el fin de hacer un modelo federado de BIM y de realizar comprobaciones en él. Para ello, el software que decida utilizar cualquier miembro del equipo debe ser capaz de exportar archivos comunes como IFC, COBie, etc., (BS, 2017; como se citó en Sacks et al., 2018). Adicionalmente, en este nivel, se introducen los primeros pasos para utilizar otro tipo de complementos digitales como el 4D para la planificación de la construcción y el cálculo del presupuesto con el 5D (Lévy & Ouellette, 2019).
 - Nivel 3: A este nivel se le conoce como “Open BIM”, ya que representa una colaboración total entre todas las partes involucradas utilizando un modelo único y compartido almacenado en un repositorio común (normalmente una base de datos orientada hacia objetos en una nube de almacenamiento) que permita a todos trabajar de manera simultánea (BS, 2017; como se citó en Sacks et al., 2018). El modelo será accesible para todos los involucrados, quienes pueden modificar y/o agregar sus propios datos, de modo que se eliminan los riesgos de aparición de información contradictoria en la fase final. Además, en este nivel las personas son

capaces de utilizar el 4D, 5D y 6D junto con otras dimensiones para el manejo de información, esto significa que es más fácil estar involucrado en todo el ciclo de vida del proyecto, desde su diseño hasta su mantenimiento (Lévy & Ouellette, 2019).

Sacks et al. (2018) menciona que la mayoría de las empresas se encuentran en el nivel 1 y (Biblus, s.f.) señala que falta mucho para lograr llegar al nivel 3, por eso la mayoría de las firmas de los mercados AEC, en todo el mundo se concentran en alcanzar el nivel 2.

5.2.6 Beneficios con el uso de BIM

En todos los niveles, el proceso BIM trae consigo muchos beneficios. Estos beneficios se relacionan con las fases de diseño, ingeniería y construcción y la fase de operaciones. Los beneficios varían dependiendo del proyecto a realizar, en la tabla 34 se agrupan los beneficios más generales en las tres etapas de una construcción.

Tabla 34

Beneficios en diferentes etapas de construcción

Etapas	Beneficios de Uso BIM
Pre- Construcción	Mejor concepto y viabilidad. Análisis eficaz del sitio para comprender el medio ambiente y los recursos problemas. Mejorar la eficacia y precisión de la documentación de las condiciones existentes. Revisiones de diseño efectivas que conducen a un diseño sostenible de la eficiencia energética. Resuelva antes los conflictos de diseño visualizando el modelo. Permite una estimación de costos más rápida y precisa.
Construcción	Evaluación de la construcción de sistemas de edificación complejos para mejorar la planificación de recursos y alternativas de secuenciación. Gestión eficaz del almacenamiento y adquisición de recursos del proyecto. Fabricación eficiente de varios componentes de construcción fuera del sitio utilizando un modelo de diseño. Reducir posibles riesgos y accidentes, mejorando la seguridad en obra.
Post- Construcción	El modelo BIM puede ayudar en la toma de decisiones sobre operaciones, mantenimiento, reparación y reemplazo de una instalación. Hace que la gestión sea más rápida, precisa y con más información. Capacidad para programar el mantenimiento y un fácil acceso a la información durante mantenimiento.

Nota. Ullah et al. (2019).

5.2.7 Soluciones a las barreras de implementación

El reemplazo de un entorno CAD 2D o 3D con un sistema de modelado paramétrico, implica mucho más que adquirir un software, capacitación y actualización de hardware. El uso

eficaz de BIM requiere que se realicen cambios en casi todos los aspectos de un negocio de la empresa (Sacks et al., 2018).

Requiere algo comprensión de la tecnología BIM y los procesos relacionados y un plan para implementación antes de que pueda comenzar la conversión. Un consultor puede ser de gran ayuda para planificar, monitorear y ayudar en este proceso (Sacks et al., 2018). Si bien los cambios específicos para cada empresa dependerán de su sector de actividad AEC, se tiene las siguientes alternativas que podrían dar solución a posibles barreras durante la implementación.

- Asignar la responsabilidad de gestión de alto nivel para desarrollar una adopción BIM plan de acción que cubra todos los aspectos de la empresa (Sacks et al., 2018).
- Crear un equipo interno de gerentes claves responsables de implementar el plan, con presupuestos de costo, tiempo y desempeño para guiar sus rendimientos (Sacks et al., 2018).
- Asignar tiempo y recursos para la educación en herramientas y prácticas BIM, y asegurarse de que las personas de todos los niveles estén preparadas (Sacks et al., 2018).
- Extender el uso de BIM a nuevos proyectos y comenzar a trabajar con miembros laterales de los equipos del proyecto en nuevos enfoques colaborativos que permita la integración temprana y el intercambio de conocimientos utilizando el modelo (Pramod Reddy, 2012).
- Continuar integrando las capacidades BIM en aspectos adicionales de las funciones de la empresa y reflejan estos nuevos procesos de negocio en términos contractuales documentos con clientes y socios comerciales (Pramod Reddy, 2012).
- Replantear periódicamente el proceso de implementación de BIM para reflejar los beneficios y problemas observados, y se establezcan nuevos objetivos de rendimiento, tiempo y costo. Continuar ampliando los cambios facilitados por BIM a nuevas ubicaciones y funciones dentro de la empresa (Pramod Reddy, 2012).

5.3 Adopción BIM en el mundo

Los países que han liderado la implementación BIM han sido Estados Unidos, Reino Unido, Alemania, Canadá y Francia, sin embargo, hay países que han adoptado BIM relativamente rápido como Australia, Japón, Corea y Nueva Zelanda (McGraw Hill, 2014; como se citó en Smith, 2014).

En la actualidad, los gobiernos del Reino Unido, Hong Kong y Corea del Sur han adoptado una postura agresiva con las iniciativas BIM en los últimos años, al igual que los países escandinavos de Noruega, Dinamarca y Finlandia, que llevan trabajando con BIM desde hace más de una década (McAuley, Hore, & West, 2017). En la figura 34, se presenta el estado de la adopción global BIM.

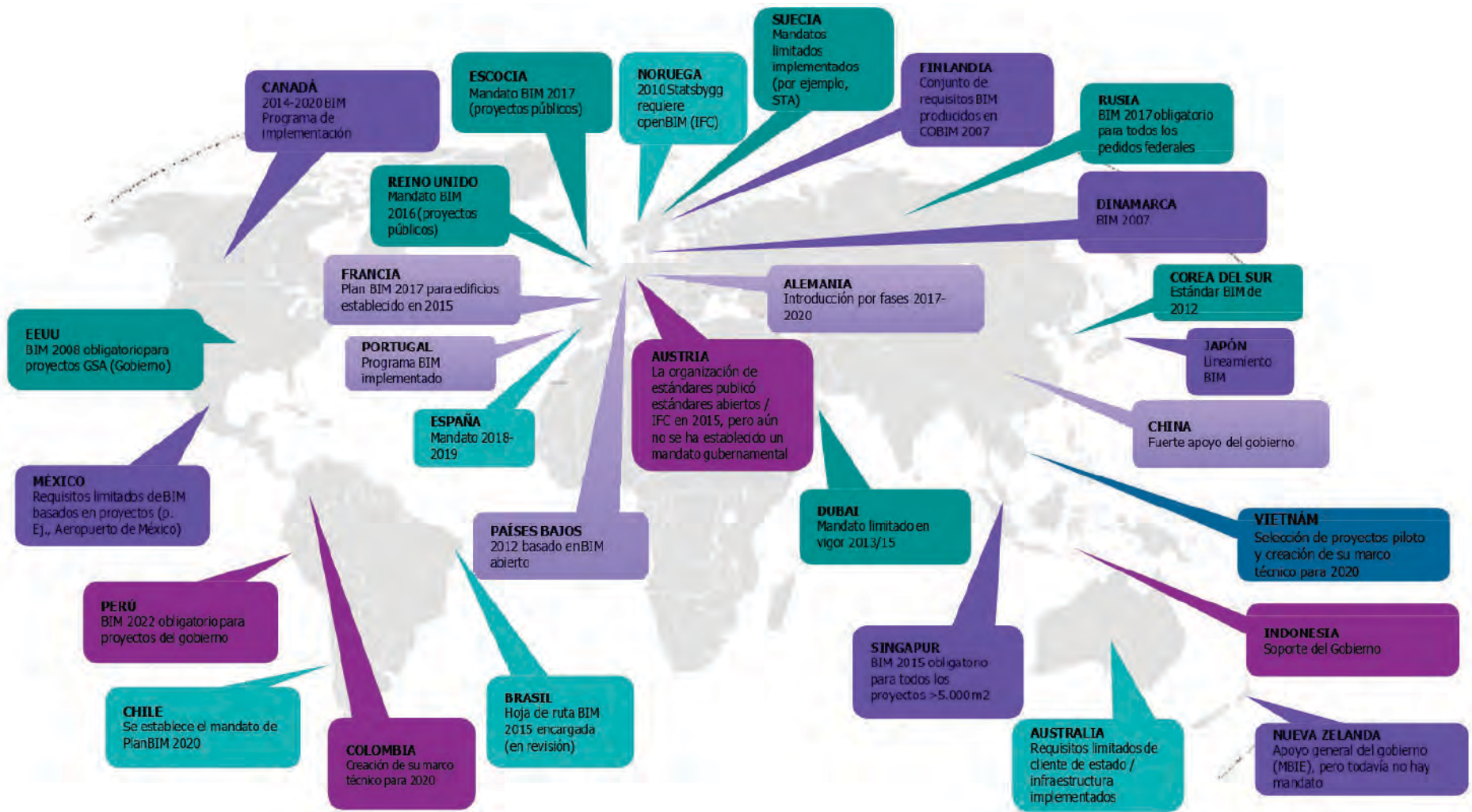


Figura 34. Adopción Global BIM

Fuente: Adaptado de *BICP Global BIM Study - Lessons for Ireland's BIM Programme*, por B. McAuley, A. Hore, R. West, 2017.

Nota. En la figura 34, se presenta el estado de la adopción BIM actualizada hasta el año 2017, cabe señalar que muchos países han ido modificando sus planes desde entonces, como es el caso de Perú.

5.3.1 BIM en Estados Unidos

Estados Unidos ha sido por mucho tiempo, el líder global del desarrollo e implementación BIM en la industria de la construcción (Wong et al, 2009; como se citó en Smith, 2014). Sin embargo, debido a su naturaleza experimental, su avance no ha sido significativo si se compara con países como Reino Unido (Biblus, s.f.).

El proceso de implementación ha sido llevado por el ente gubernativo General Services Administration (GSA), quienes establecieron en el año 2003, un programa 3D-4D-BIM que contenía guías para la implementación BIM (Smith, 2014). En el año 2008, ordenó el uso de BIM en los proyectos por encima de 35 millones de dólares, siempre y cuando estos formaran parte de los servicios de edificios públicos. Actualmente GSA sigue explorando el uso de BIM publicando guías para distintos sectores como Laser Scanning, comportamiento energético, etc (Sacks et al., 2018), asimismo ha desarrollado su propio estándar titulado National BIM Standard que es internacionalmente reconocido (Smith, 2014).

Con respecto a un mandato o legislación nacional, este no existe, sino que cada estado es responsable de los requerimientos o mandatos que desea establecer. Ejemplo de ello es el estado de Wisconsin, que ordenó en el año 2010, el uso obligatorio de BIM para proyectos públicos con un presupuesto total o mayor a 5 millones (Sacks et al., 2018). En ese mismo sentido, en el año 2008, el Cuerpo de Ingenieros de la Fuerza Armada de EE. UU. exige el uso de BIM en todos los proyectos de construcción militar (BIMCOMMUNITY, 2016).

A pesar de la falta de uniformidad con respecto a un mandato, EE. UU. ha seguido avanzando en la adopción BIM. Un estudio de mercado denominado *“The Business Value of BIM in North America”*, hecho por McGraw-Hill Construction en el año 2012 concluyó que, hasta dicho año, el porcentaje de adopción fue del 71% mientras que en el año 2008 fue de 28%, significando así un crecimiento del 43% (ver figura 35).

Levels of BIM Adoption in North America

Source: McGraw-Hill Construction, 2012

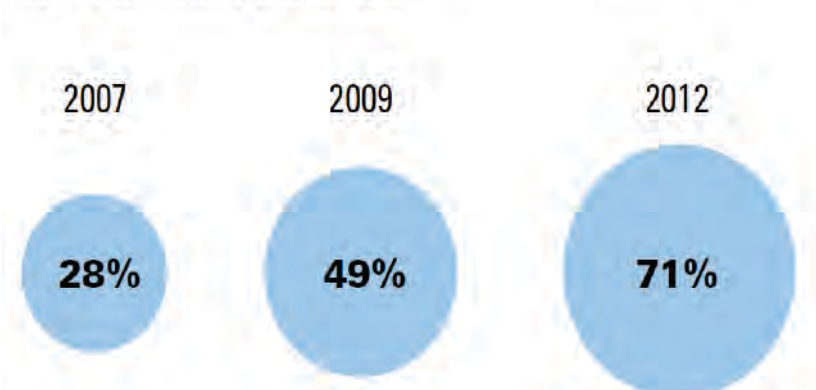


Figura 35. Niveles de adopción BIM en Norte América

Fuente: Adaptado de *The Business Value of BIM in North America*, por McGraw-Hill Construction, 2012.

5.3.2 BIM en Reino Unido

El gobierno británico, en el año 2011, introduce la estrategia para la implementación de BIM y el programa de implementación más avanzado en el mundo (HM Government, 2012; como se citó en Smith, 2014). El objetivo del gobierno es transformar, en poco tiempo, su industria en un líder global BIM (Withers, 2012; como se citó en Smith, 2014).

La estrategia establecida, tenía como requerimiento que todos los proyectos del gobierno alcanzaran el nivel de madurez 2 para el año 2016; con la intención de reducir en 20% el costo de la construcción en el sector público (The Infrastructure and Projects Authority, 2016).

Esta estrategia se ha ido renovando y en el año 2016 se publicó la nueva con miras al 2020, que buscaba principalmente aprovechar los avances logrados de la estrategia anterior. También definía nuevos objetivos como aumentar la productividad de la construcción del gobierno para generar eficiencias de £ 1.7 mil millones, y que los departamentos que lograron el nivel 2, se sigan fortaleciendo para que eventualmente alcancen el nivel 3 (McPartland, 2017).

La estrategia trajo consigo que el gobierno de United Kingdom creara el grupo BIM Task Group, cuyo fin era asistir tanto al sector público como privado en la reingeniería de sus prácticas laborales para facilitar la entrega BIM (McGraw Hill, 2014; como se citó en Smith, 2014). Este grupo evolucionó y en el año 2017 pasó a llamarse Centre for Digital Built Britain (CDBB).

Hoy en día, la organización que lidera la implementación BIM es UK BIM Alliance, quienes proporcionan un punto de referencia común y claro para respaldar a las empresas del sector en su camino hacia BIM, (UK BIM Alliance, s.f.). Reino Unido también es parte de la comunidad EU BIM Task Group, un grupo que integra a varios países europeos para que compartan sus experiencias en torno a la implementación BIM (EU BIM Task Group, s.f.).

En cuanto a documentos nacionales, se han establecido muchos estándares publicados por BSI Group, su importancia originó que algunos de ellos sean tomados como base para el desarrollo de la ISO 19650 (Shillcock, 2019).

Los resultados de su estrategia se han visto reflejados en la encuesta National BIM Report emitido por la NBS (National Building Specification). Los resultados mostraron que en el 2016 un 54% de profesionales de la industria conocían y utilizaban BIM mientras que un año anterior fue de 48%. Año tras año, este reporte se publica y se ha visualizado un crecimiento en la implementación de BIM hasta llegar a un 73% en el año 2020. En la figura 36, se muestra el notable crecimiento de BIM.

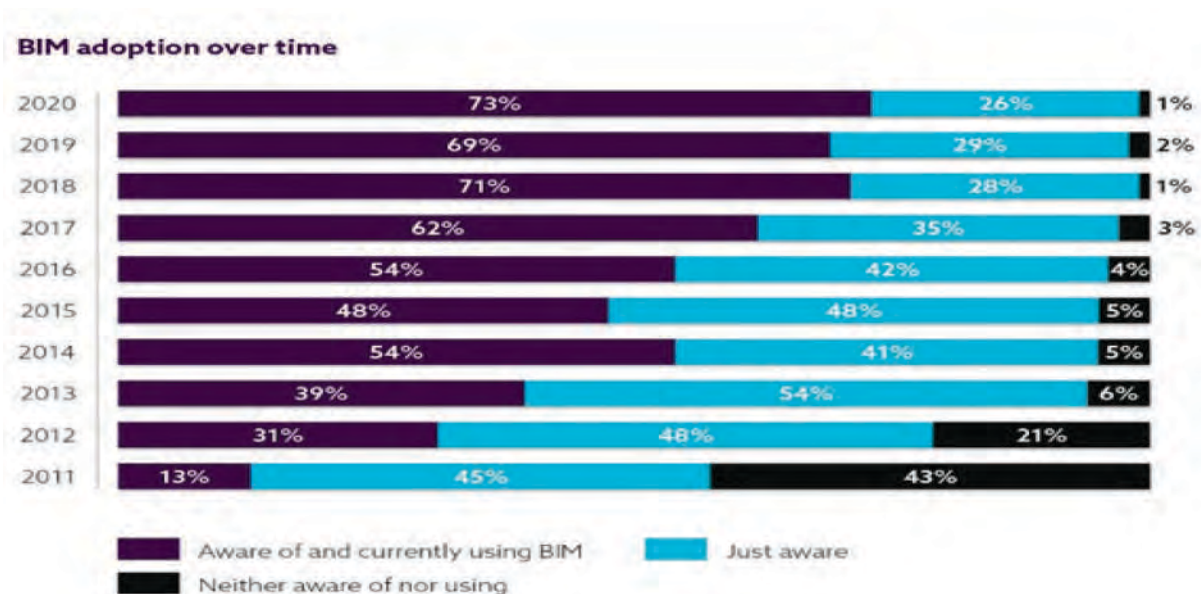


Figura 36. Porcentaje de adopción BIM a través de los años en Reino Unido

Fuente: Adaptado de 10th Annual Report BIM Report, por NBS, 2020.

5.3.3 BIM en los Países Escandinavos

La región Escandinava es también un líder global en la adopción e implementación BIM. Noruega, Dinamarca y Finlandia adoptaron rápidamente el software ArchiCAD y fueron de los primeros países en adoptar el diseño basado en modelos y abogar por la interoperabilidad y los estándares abiertos, y han participado en el desarrollo de IFC y otras iniciativas de interoperabilidad (Smith, 2014).

La tabla 35 presenta las principales características de la adopción BIM en algunos países escandinavos.

5.3.4 BIM en Latinoamérica

BIM en Latinoamérica empieza con la iniciativa de Chile por formar un grupo como el EU BIM Task Group, pero en la comunidad latina, donde todos los países puedan compartir sus experiencias sobre la adopción BIM, así nace la RED BIM GOB LATAM en el año 2015 (RED BIM GOB LATAM, 2020).

Actualmente la Red BIM GOB Latam está compuesta por ocho países: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, México, Perú y Uruguay y tiene como objetivo:

“Aumentar la productividad de la industria de la construcción a través de la transformación digital, acelerando los programas nacionales de implementación de BIM mediante el trabajo colaborativo que favorezca y promueva lineamientos comunes, el intercambio comercial y el conocimiento en la región” (Red BIM GOB Latam, s.f.).

Actualmente la Red cuenta con apoyo y financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo BID.

Tabla 35*Adopción e implementación BIM en Países Escandinavos*

País	Organización Principal	Año de obligatoriedad	Descripción de requerimientos	Otros datos
Dinamarca	Property Agency	Desde 2007 (adopción ampliada en 2011)	Desde enero de 2007, todos los proyectos públicos de más de 3 millones de euros debían utilizar el IFC como requisito para BIM. Desde junio de 2011, el Parlamento danés extendió la adopción obligatoria de BIM a todos los proyectos locales y regionales de más de 2,7 millones de euros mientras que los proyectos de la administración central tienen un umbral más bajo, de 677.000 euros.	Entre sus publicaciones destacadas, se tiene al <i>“3D Working Method guideline”</i> .
Finlandia	Senate Properties	Desde 2007	Se exigió el modelado BIM que cumpla con el formato IFC desde 2007. Desde 2012, tras la publicación de los Requisitos Comunes BIM (COBIM), se exigió a las empresas realizar sus proyectos BIM con dicha guía.	Las universidades y politécnicos imparten formación sobre BIM a sus estudiantes. En 2015, se publicaron los requisitos BIM para su uso en Infraestructuras.
Noruega	STATSBYGG (Directorate of Public Construction and Property)	Desde el 2016	Utilizan BIM en sus proyectos desde 2007 y exigen BIM conforme a IFC desde el 2010 El gobierno noruego estableció su mandato nacional en 2016 para reducir los errores, mejorar la coordinación, aumentar la eficiencia energética de sus edificios y, en general, ganar en eficiencia.	En 2011, La Asociación Noruega de Constructores de Viviendas (NHA) elaboraron un manual BIM, destinado a ser una ayuda práctica para quienes realizan viviendas residenciales.
Suecia	Administración de Transporte de Suecia	No existe un mandato obligatorio	El mayor propietario de proyectos de Suecia, la Administración de Transporte de Suecia, publicó una estrategia BIM en 2013 con el objetivo de incluir BIM en todos los proyectos de inversión nuevos a partir de junio de 2015.	Aunque el BIM no es obligatorio en Suecia, cinco empresas públicas están colaborando para establecer exigencias y normas relativas a la adopción del BIM en sus proyectos.

Nota. BICP Global BIM Study - Lessons for Ireland’s BIM Program (2017).

La Red no está pensada para que todos los países sigan un solo estándar central, sino que se genere un espacio de colaboración donde se comparta que está haciendo cada país, que lecciones aprendidas tienen, que les ha funcionado y que no, en consecuencia, esto les enseña a los demás países a ir más rápido y a ser más eficientes. Lo que sí se genera son ciertas bases comunes de BIM como lineamientos, ya que a medida que todos tengan un mismo entendimiento de BIM, va a ser más fácil intercambiar conocimiento e impulsar el desarrollo y la productividad en conjunto (RED BIM GOB LATAM, 2020).

En las figuras 37 y 38, se muestran los programas nacionales de cada país junto a sus fechas, como se puede ver cada uno tiene plazos distintos, algunos recién han iniciado y otros ya tiene años implementando su estrategia.

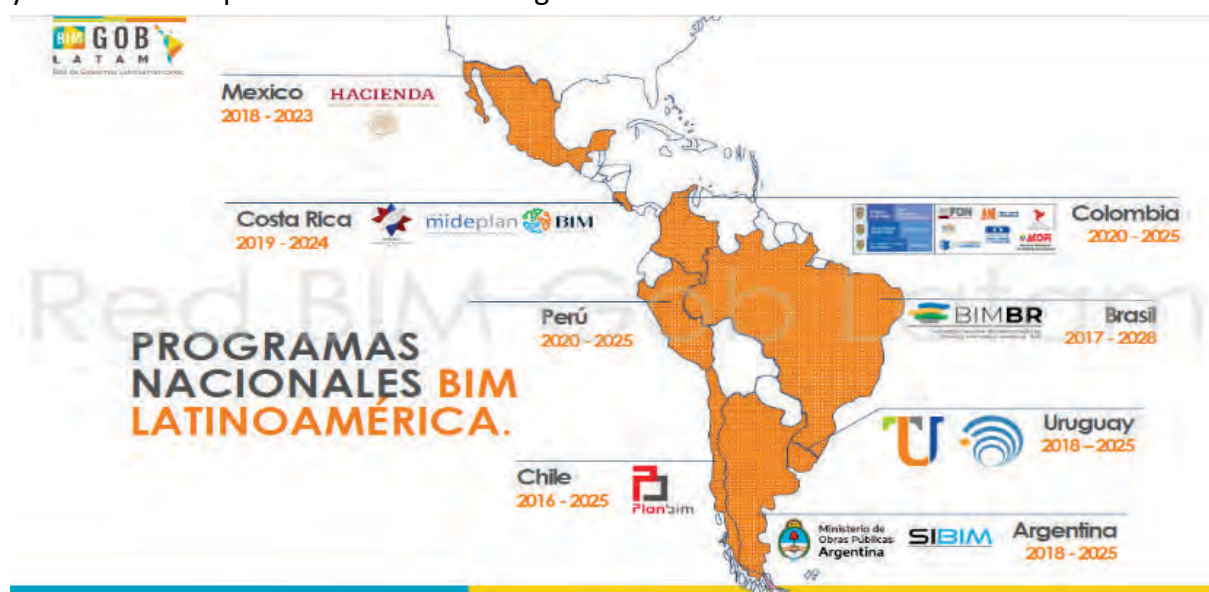


Figura 37. Programas Nacionales de los países de la RED BIM GOB LATAM

Fuente: Adaptado de Seminario Avance de la Implementación de BIM en Latinoamérica, por Red BIM GOB Latam, 2020, Red BIM GOB Latam (<https://redbimgoblatam.com>).

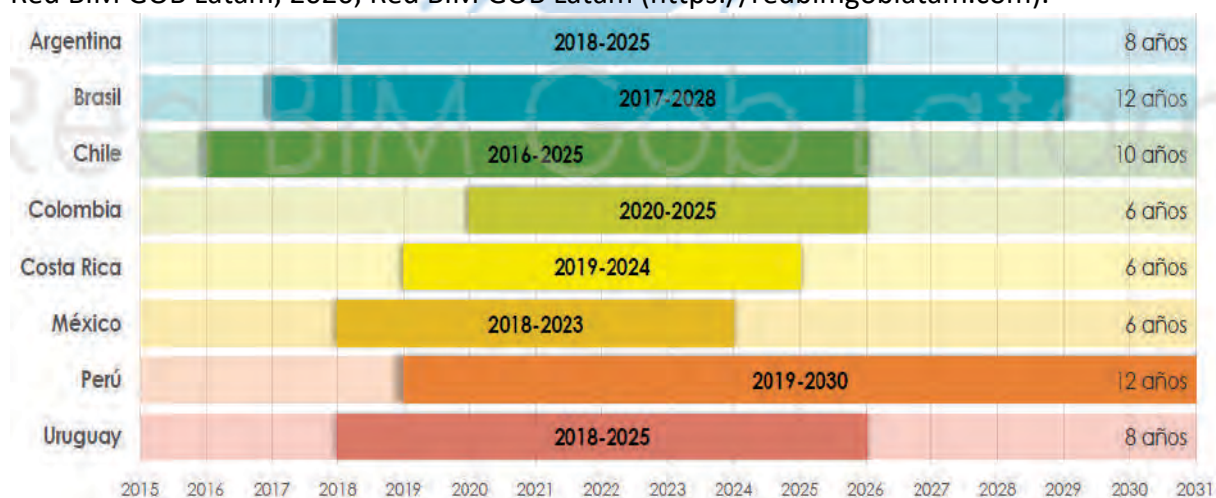


Figura 38. Fechas de la Estrategia Nacional BIM por cada país

Fuente: Adaptado de Seminario Avance de la Implementación de BIM en Latinoamérica, por Red BIM GOB Latam, 2020, Red BIM GOB Latam(<https://redbimgoblatam.com>).

Entre las metas principales de cada país, se pueden visualizar en la figura 39:

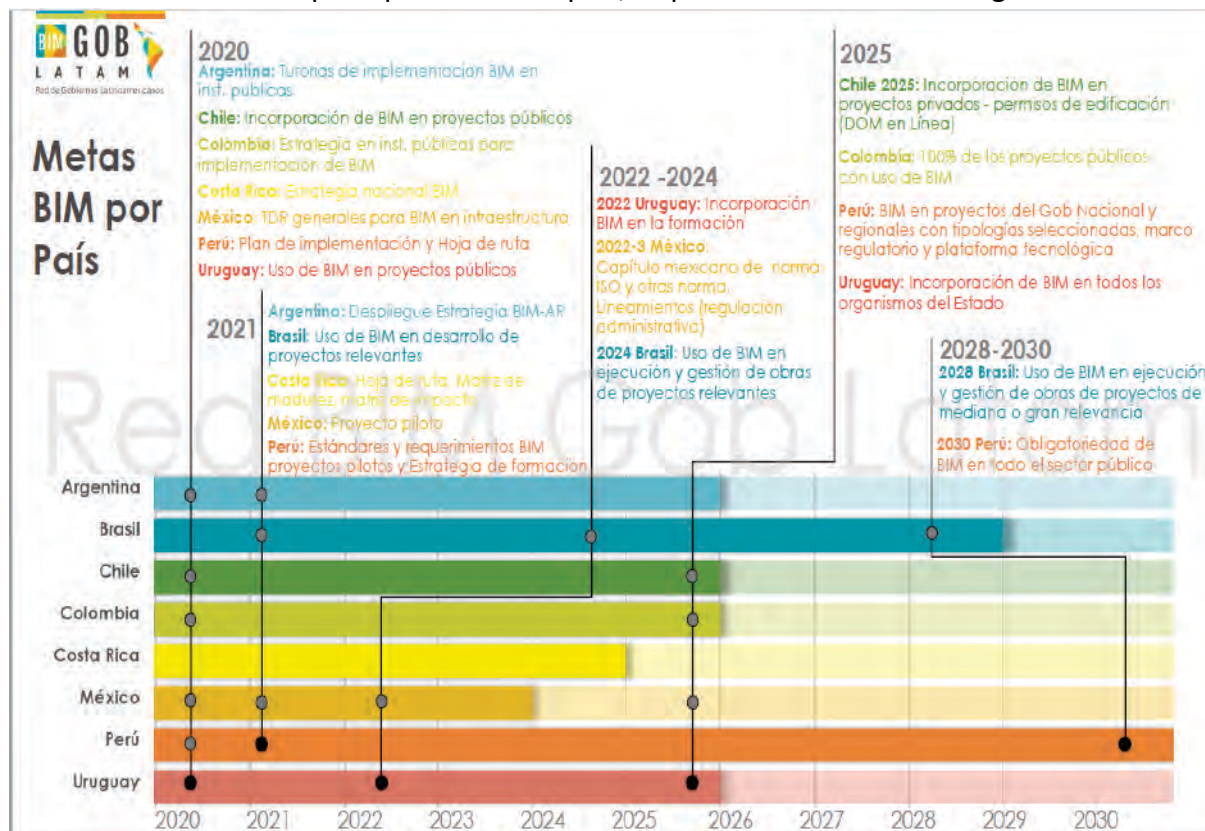


Figura 39. Metas BIM por cada país

Fuente: Adaptado de *Seminario Avance de la Implementación de BIM en Latinoamérica*, por Red BIM GOB Latam, 2020, Red BIM GOB Latam (<https://redbimgoblatam.com>).

Para ahondar más en la adopción de BIM en Latinoamérica, se ha escogido tres de países, para exponer a detalle su estrategia de implementación.

5.3.4.1 BIM en Brasil. Brasil comienza su camino con BIM oficialmente en el año 2017, al establecer el comité CE-BIM y un grupo de soporte técnico GAT-BIM. Estas organizaciones trataban temas específicos y empezaron a trazar los lineamientos para la futura implementación. Es en el año 2018, cuando el gobierno brasileño da un paso muy importante al publicar el primer decreto 9.377 que daba a conocer la Estrategia Nacional de Difusión del BIM cuya finalidad era promover un entorno adecuado para la inversión en BIM y su difusión en el país (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços).

La estrategia es administrada por un comité de gestión CG-BIM, compuesto por una serie de ministerios, y se compone de tres fases que se han ido actualizando en los decretos posteriores (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços).

- Fase 1: Programada para empezar en enero 2021, donde BIM deberá ser utilizado en el desarrollo de proyectos de arquitectura e ingeniería referido a nuevas construcciones, ampliaciones o rehabilitaciones cuando se considere de gran relevancia (RED BIM GOB LATAM, 2020).

Como elaboración de modelos de dichas disciplinas, generación de documentación gráfica, extracción de tablas de cantidades, detección de interferencias, etc. (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços).

- Fase 2: Programada para comenzar en enero 2024, donde BIM deberá ser utilizado en la ejecución directa o indirecta de proyectos de arquitectura e ingeniería y en la gestión de obras, referidas a nuevas construcciones, reformas, ampliaciones o rehabilitaciones, cuando se considere de gran relevancia (RED BIM GOB LATAM, 2020). Incluye actividades como la planificación de la ejecución, elaboración de presupuestos de la obra, representación de los modelos as-built, etc (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços).
- Fase3: Programado para iniciar en enero del 2028. BIM deberá ser utilizado en el desarrollo de proyectos de arquitectura e ingeniería y en la gestión de obras, relacionadas con nuevas construcciones, reformas, ampliaciones y rehabilitación, cuando se considere de mediana o gran relevancia (RED BIM GOB LATAM, 2020). Se buscará dominar todo el proceso y los aspectos relacionados con el ciclo de vida de un edificio, incluyendo el mantenimiento de los activos (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços).

Entre las metas e indicadores más importantes están:

- Aumentar la productividad de las empresas en 10%.
- Reducir los costos de producción en 9.7%.
- Aumentar la adopción de BIM en 10 veces en 10 años.
- Elevar el PBI de la construcción Civil en 28.9%.

En el año 2019, se publica el decreto ley 9.983 donde actualiza las disposiciones dadas en dicha estrategia y se establece un comité directivo llamado BIM BR. Asimismo, la Agencia Brasileña para el Desarrollo Industrial (ABDI) lanza la plataforma BDI BR que alberga la Biblioteca Nacional BIM, donde se pueden cargar y descargar objetos BIM (BIM BR, s.f.).

En cuanto a formación académica BIM, ya se ha ido implementando una célula BIM en tres universidades, que tiene como fin brindar una propuesta pedagógica para la inclusión y difusión de este conocimiento en la comunidad académica (Universidade Federal de Pernambuco, 2021).

Finalmente, en el año 2020, se publicó el decreto 10.306 el cual insta el uso obligatorio de BIM en la ejecución directa o indirecta de obras y servicios de ingeniería que lleven a cabo las dependencias y entidades de administración pública federal.

Este decreto formaliza lo establecido en decreto del año 2018, su obligación es solo para determinados órganos vinculados al Ministerio de Defensa y el Ministerio de Infraestructura, pero puede ser adoptado por otros organismos, ampliando así el requerimiento del uso de BIM en otros sectores distintos a la edificación (Fettermann, 2020).

5.3.4.2 BIM en Chile. La implementación de la estrategia BIM en Chile, está a cargo de “PlanBim”, que nace en el año 2016 a través de un acuerdo público-privado, entre varios organismos, principalmente CORFO (Corporación de Fomento de la producción) y el Ministerio de Economía (RED BIM GOB LATAM, 2020).

El plan tiene como objetivo “incrementar la productividad y sustentabilidad-social, económica y ambiental de la industria de la construcción mediante la incorporación de procesos, metodologías de trabajo y tecnologías de información y comunicaciones que promueven su modernización a lo largo de todo el ciclo de vida de los proyectos” (Planbim, s.f.).

PlanBim tiene 3 metas:

- Implementación BIM: Chile tiene como primer meta la utilización de la metodología BIM para el desarrollo y operación de edificación e infraestructura pública a partir del año 2020 y también la incorporación de BIM en proyectos privados al 2025.
- Estandarización: Planbim ya ha comenzado a publicar el estándar BIM para proyectos públicos en el año 2019, el cual está basado en estándares internacionales como la ISO 19650. Además, ha definido términos de referencia para solicitar BIM de manera estandarizada en diversas tipologías de proyectos del Estado, ha desarrollado plataformas, tutoriales y guías técnicas para un mejor entendimiento de BIM.
- Capacidades digitales: Han definido una matriz de roles y capacidades BIM para que sea integrado en las mallas curriculares de las universidades y centros de formación, en ese mismo sentido, ha incorporado BIM también en los liceos de enseñanza media técnico profesional en conjunto con el MINEDUC y otras instituciones públicas y privadas.

Para el 2025, también se busca integrar BIM en la plataforma de permisos de edificación online que tiene el Ministerio de Vivienda llamado DOM, lo que permitirá recibir los modelos en dicha plataforma (RED BIM GOB LATAM, 2020).

En cuanto a documentos nacionales, destaca el estándar BIM, dirigido a proyectos públicos de diversa complejidad independiente de su tipología (edificación o infraestructura) o envergadura, a lo largo de todo su ciclo de vida (puede ser utilizado para proyectos privados). Se debe tener en cuenta que este estándar no es una norma ni es una ley, si bien actualmente en Chile, se requiere BIM en las licitaciones públicas, dichos requerimientos están acorde al nivel de madurez de los solicitantes y proveedores.

De la misma forma que Brasil, Chile en su marco de procesos de implantación, ha establecido la Librería Nacional BIM, desarrollada por la Cámara Chilena de Construcción, con el apoyo de BIM Fórum Chile. Esta plataforma contiene archivos de objetos BIM

estandarizados y verificados para el uso público y de forma gratuita, lo que lo convierte en un elemento clave para fomentar el uso de BIM a lo largo de todo el sector de construcción, (Comisión BIM, s.f.).

Con respecto a la formación académica, Chile tiene un programa llamado e+BIM para la creación, implementación y promoción de BIM en la Educación Media Técnico Profesional, además se tiene al 2020, que el 85% de las universidades y el 79% de los institutos técnicos tienen a BIM como asignatura obligatoria, además el 90% de universidades declaran enseñar BIM (RED BIM GOB LATAM, 2020), el aumento de enseñanza BIM se puede visualizar en la figura 40.

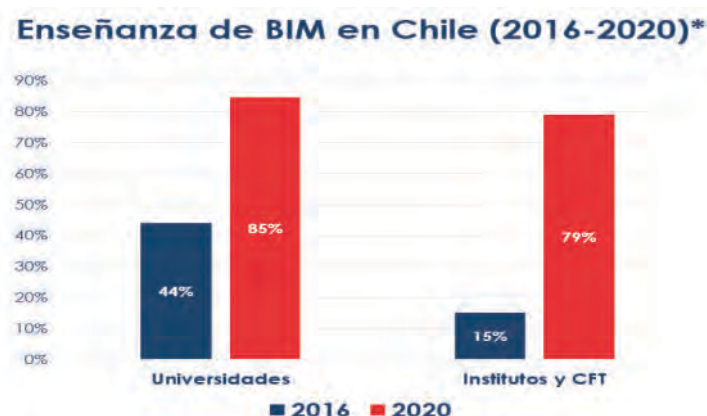


Figura 40. Comparación del porcentaje de enseñanza de BIM en Chile en 2016 y 2020

Fuente: Adaptado de *Enseñanza de BIM en Chile: avances 2016-2020*, por Plan BIM Chile, 2021, Plan BIM Chile (<https://planbim.cl/ensenanza-de-bim-en-chile/>).

Por último, se ha recurrido a la más reciente edición de la Encuesta Nacional BIM que publica la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile cada tres años y se conforma a través de un cuestionario en línea. Los resultados de la encuesta muestran un alto nivel de aceptación, ya que el 69% de los encuestados utilizan la tecnología BIM, frente al 53% en 2016 y el 39% en 2013 (Universidad de Chile, 2019) (ver figura 41).

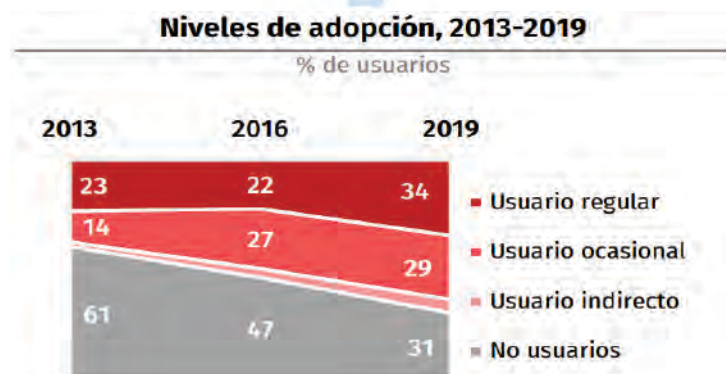


Figura 41. Niveles de adopción BIM a través de los años en Chile

Fuente: Adaptado de *Encuesta Nacional BIM 2019*, por Universidad de Chile, 2019.

5.3.4.3 BIM en Colombia. Colombia empieza su trayecto BIM por los resultados de un estudio de productividad y riesgos sectoriales realizado por la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) y McKinsey&Co en el año 2017. Dicho estudio demostró que las empresas líderes del país adoptaban en promedio 6 de cada 10 mejores prácticas que se aplican a nivel global, en consecuencia, la mayor brecha existía en las prácticas relacionadas con la adopción de tecnología, donde solo se adoptan 14% de las tecnologías disponibles en el mundo (ver figura 42).

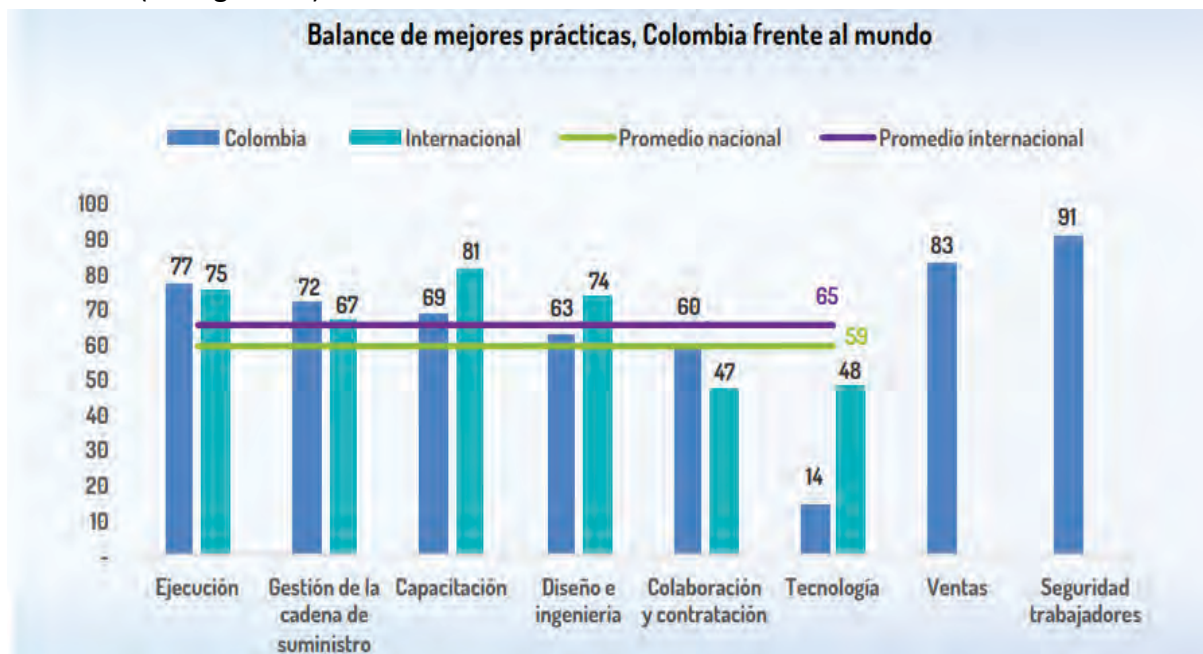


Figura 42. Porcentaje de aplicación de mejores prácticas en Colombia frente a los resultados internacionales

Fuente: Adaptado de *Informe de Productividad*, por CAMACOL, 2018.

En ese marco, se lanza BIM Fórum Colombia, definido como una estrategia para articular diversos actores de la cadena de valor de la construcción en torno a la digitalización del sector, y promover la adopción tecnológica y el desarrollo productivo del sector (Fundación Compartir, 2018).

Los primeros en adoptar BIM fueron las empresas al sector privado, es por ello por lo que, en el año 2020 para integrar al sector público, el Departamento Nacional de Planeación del Gobierno Colombiano lanzó oficialmente la Estrategia de Adopción BIM Colombia (Florez, 2021).

La estrategia tiene como propósito impulsar la transformación digital del sector de la construcción para un mejor uso de los recursos disponibles y una mayor productividad, y se trazó como meta que a 2026 el 100 % de los proyectos de construcción públicos se desarrollen con BIM (Florez, 2021).

Tiene 3 objetivos principales:

1. Consistencia: realizar un marco BIM colaborativo.

2. Eficiencia: Lograr mínimo un 10 % de ahorro en costos en proyectos de construcción e infraestructura pública de orden nacional.
3. Eficacia: Gestionar información de manera digital a través de un entorno común de datos (CDE).

Los pilares se muestran en la figura 43:



Figura 43. Pilares de la Estrategia BIM en Colombia

Fuente: Adaptado de *Estrategia Nacional BIM*, por Gobierno de Colombia, 2020.

La estrategia prevé una implementación progresiva de 7 años para la capacitación y digitalización del sector de la construcción y operación. El año pasado se inició con la creación del marco de colaboración inicial para la implementación en los proyectos piloto, lo que se busca este año es definir las estrategias de transformación organizativa de las entidades e iniciar los proyectos piloto.

En el año 2022 se proyecta el requerimiento de uso de BIM entre el 10% y 25% de los proyectos de construcción públicos. Este porcentaje crece a 35% y 50% en el año 2023 y así gradualmente ir aumentando hasta su implementación mandataria en 2026, para proyectos de construcción públicos de orden nacional. Además, se prevé establecer una estrategia para permear los conocimientos y requerimientos también a niveles regionales (Gobierno de Colombia, 2020).

En cuanto a documentos nacionales, destaca la Guía de Aplicación BIM, basada en estándares internacionales como la ISO 19650. Asimismo, con respecto a normativas, en el año 2020 se lanzó la resolución 0441, que hace posible la modalidad de licencia electrónica para obras nuevas, donde se pueden presentar los modelos en formato IFC (RED BIM GOB LATAM, 2020).

Por último, se tiene una iniciativa para el sector académico llamada BIM Academic Fórum Colombia que está pensada para fomentar la investigación y el conocimiento de BIM (RED BIM GOB LATAM, 2020).

5.4 Desarrollo de BIM en Perú

En Perú, la implementación de BIM inició en el año 2005 y estuvo a cargo de las empresas constructores preocupadas por incrementar su productividad en los proyectos. Para dar a conocer BIM al resto de personas del sector, se crea el Comité BIM del Perú en 2012, el cual pertenece a la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) (Almeida, 2019).

Posteriormente, en el 2017 y con la necesidad de reglamentar BIM en el país, el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) aprobó la conformación del Comité Técnico de Normalización de Edificaciones y Obras de Ingeniería Civil que suma al Subcomité de Organización de la Información sobre Obras de Construcción. Este subcomité, generó las primeras normas técnicas peruanas sobre BIM (Almeida, 2019).

- NTP-ISO/TS 12911:2018 Guía marco para el modelado de información de la edificación (BIM).
- NTP-ISO 29481-2:2018 Modelado de la información de los edificios. Manual de entrega de la información. Parte 2: Marco de trabajo para la interacción.

En el año 2018, el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) lanza en su página web el Plan BIM Perú, el cual se define como “La medida de política que define la estrategia nacional para la implementación progresiva de la adopción y uso de BIM en los procesos de las fases del ciclo de inversión desarrollados por las entidades y empresas públicas sujetas al Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones, de manera articulada y concertada, y en coordinación con el sector privado y la academia” (Ministerio de Economía y Finanzas, s.f.).

El objetivo principal del Plan BIM Perú es “Garantizar una adecuada ejecución de las inversiones de edificaciones e infraestructura desde el sector público, incorporando procesos, metodologías y tecnologías de información a lo largo del ciclo de inversión.” (Ministerio de Economía y Finanzas, s.f.).

Las metas por cumplir en el Plan BIM Perú, se muestran en la tabla 36:

Tabla 36

Metas del Plan BIM Perú

Hito 1	Hasta julio 2021	Hasta julio 2025	Hasta julio 2030
Proyecto de Decreto Supremo que regula BIM (septiembre, 2019)	Estándares y requerimientos BIM elaborados	BIM aplicado en todo el Gobierno nacional y en tipologías seleccionadas del Gobiernos regionales.	Biblioteca BIM Perú, como repositorio digital colaborativo para uso de todo el sector público.

Hito 1	Hasta julio 2021	Hasta julio 2025	Hasta julio 2030
Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM Perú (octubre, 2020).	Proyectos piloto aplicando la metodología BIM.	Marco regulatorio para la aplicación de BIM en el sector público. Biblioteca BIM Perú, como repositorio digital colaborativo para sectores priorizados por el Gobierno nacional.	Obligatoriedad normada de BIM en todo el sector público.

Nota. Ministerio de Economía y Finanzas (s.f.).

Actualmente, en el 2022 existe una incorporación progresiva de BIM aplicándose en inversiones públicas de proyectos representativos del Gobierno Nacional y Gobiernos Regionales seleccionados para ser proyectos piloto, trazando una ruta hacia la obligatoriedad y normatividad del uso de BIM en el 2030 para todo el sector público.

El plan de implementación se apoya en 4 líneas estratégicas, que se muestran en la figura 44.



Figura 44. Líneas Estratégicas del Plan BIM Perú

Fuente: Adaptado de *Plan BIM Perú*, por el Ministerio de Economía y Finanzas, s.f., (<https://www.mef.gob.pe/planbimperu/planbim.html>).

Un logro bastante importante en la normativa fue la aprobación en agosto del 2020, de los Lineamientos para la Utilización de la Metodología BIM en las inversiones públicas. Entre otras normas relacionadas a BIM, se tiene:

- NTP- ISO 22263:2019 Organización de la Información relacionada a las obras de construcción. Marco de referencia para la gestión de la información del proyecto.
- NTP-ISO 29481-1:2019 Modelado de Información de los edificios: Manual de Entrega de Información. Parte 1: Metodología y formato.

De la misma forma, a inicios de 2021, se lanza la NTP- ISO 19650 Parte 1 y 2, que adapta el estándar internacional de BIM al contexto nacional (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2021). Esta adopción ha servido para crear posteriormente, la Guía BIM Perú, publicada en julio del 2021. Esta guía busca que desde el sistema de inversiones y desde los actores que forman parte de la ejecución de cualquier inversión pública, puedan aplicar la metodología BIM en los proyectos públicos de manera homogénea y estandarizada (RED BIM GOB LATAM, 2020).

El plan BIM Perú también ha definido sus actores involucrados, entre los que se encuentran: sector público, sector privado, academia y Organismos Internacionales.

Los esfuerzos por parte del sector público se están aplicando en la infraestructura vial mediante el organismo PROVIAS, que viene realizando talleres y capacitaciones y ha inaugurado una Sala BIM, como parte de su plan para implementarlo en todo el ciclo de vida de los proyectos de carreteras y puentes. Esta sala también permitirá la capacitación continua y el desarrollo de proyectos piloto (Escuela Nacional de Control, 2021).

Asimismo, el Ministerio de Educación ha desarrollado el Proyecto Especial de Inversión Pública Escuelas Bicentenario (PEIB-EB), que tiene en su cartera 75 proyectos, con los que se busca mejorar la infraestructura de los colegios a nivel nacional. Estos proyectos se realizarán bajo la metodología BIM y serán acuerdos Gobierno a Gobierno (El Regional Piura, 2021).

Otro grupo de obras que se vienen realizando bajo acuerdos de Gobierno a Gobierno y que implican el uso de BIM, están a cargo del Programa Nacional de Inversiones en Salud (PRONIS) del Ministerio de Salud y son los hospitales Sergio Bernales en Lima y Antonio Lorena en Cusco (Escuela Nacional de Control, 2021).

En el sector privado, se tiene a empresas como Cosapi, Cumbra, Marcan, Productiva, entre otras que vienen utilizando BIM en sus proyectos hace varios años. Entre los primeros trabajos destacan: La Estación Central del Metro (2015-GyM) y La Torre Banco de la Nación (2014-Cosapi).

En la academia, destaca la Universidad de Lima, que ha implementado de forma integral la metodología BIM en su malla curricular, y además realizaron una investigación para mostrar el escenario del nivel académico en Perú, y detectaron que el 33% y el 35% ha incorporado BIM en Instituciones Privadas y Públicas a nivel pregrado respectivamente. Un dato interesante es la falta de maestrías en el sector público, y en ambos casos, tampoco existen doctorados sobre BIM (ver imágenes 45 y 46) (Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2021).

En cuanto a organismos internacionales, se tiene el apoyo continuo del Gobierno de Reino Unido y de otras entidades extranjeras que puedan contribuir a mejorar la implementación de BIM en el país, a través del intercambio de experiencias y conocimiento, tal como ocurre en la Red BIM GOB Latam.



Figura 45. Incorporación de BIM en instituciones privadas peruanas

Fuente: Adaptado de Plan BIM Perú: eficacia, transparencia y calidad en las inversiones públicas por el Ministerio de Economía y Finanzas del Perú,

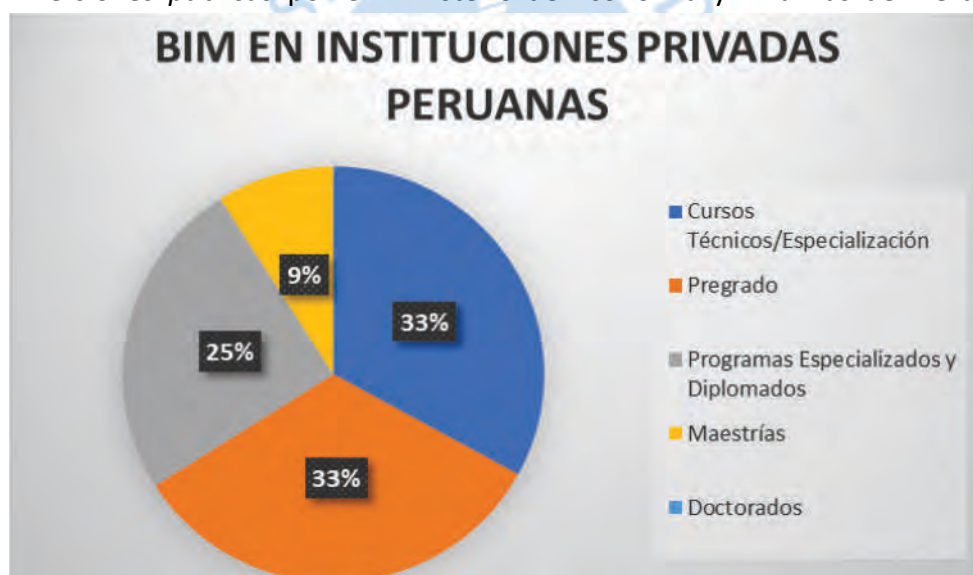


Figura 46. Incorporación de BIM en instituciones públicas peruanas

Fuente: Adaptado de Plan BIM Perú: eficacia, transparencia y calidad en las inversiones públicas por el Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, 2021, (<https://cutt.ly/aGrTBOS>).

5.4.1 Aplicaciones BIM en Perú

5.4.1.1 Colegio de alto rendimiento de Ica. El Banco de Crédito del Perú (BCP) y el Minedu firmaron en el 2017 el Convenio de Inversión para el financiamiento, diseño y construcción del COAR (Colegios de Alto Rendimiento) en Ica, bajo el mecanismo de Obras por Impuestos. Tras ello, el BCP seleccionó a la empresa Cosapi, para convertirse en la empresa ejecutora, y llevar a cabo el diseño y construcción del proyecto. En la figura 47 se ve una comparación del modelo 3D y el proyecto real.



Figura 47. Proyecto real y modelo 3D

Fuente: Adaptado de *Revista informativa de Cosapi 188*, por Cosapi, 2021 (<https://cutt.ly/sGftI9H>).

El proyecto consiste en la construcción del centro educativo para 300 alumnos, con un área de 20391 m², en un terreno de 36071 m², ubicado en el distrito de La Angostura, Ica. El costo del proyecto fue de 80.8 millones de soles, con un plazo de ejecución de 14 meses iniciando la obra en febrero del 2019.

En el desarrollo y ejecución de este proyecto se utilizó la metodología BIM, que permitió gestionar de manera conjunta todas las herramientas del diseño y construcción en tiempo real. Asimismo, se ha implementado el uso de drones para el control panorámico del avance de la obra, una medida con la que se ahorran recursos.

El primer reto fue obtener la aprobación del expediente técnico. Esto implicó una coordinación permanente y mesas de trabajo entre el equipo de Ingeniería, el soporte del BCP y la Supervisión del Programa Nacional de Infraestructura Educativa (Pronied), para lograr consensos en el planteamiento de las soluciones técnicas. En la figura 48 se detalla el desarrollo del expediente técnico.



Figura 48. Proceso de elaboración y revisión del expediente técnico

Fuente: Adaptado de Revista informativa de Cosapi 188, por Cosapi, 2021 (<https://cutt.ly/sGftI9H>).

Los usos BIM utilizados en el proyecto para hacer frente a los problemas encontrados se muestran en la tabla 37:

Tabla 37

Desarrollo BIM del proyecto

Entendimiento del alcance	Revisión de cuantificación de partidas	Coordinación con modelos BIM	Control de Avance
Generación de modelos BIM de todas las especialidades LOD300 y LOD400. El modelado de los elementos se hizo siguiendo los procesos constructivos.	Cuantificación de las partidas a partir de modelos BIM e identificación de actividades más incidentes en relación precio/suministro.	Coordinación con modelos BIM, identificación de incompatibilidades y uso de CDE para la solución de las mismas en las sesiones ICE.	Control de avance con modelos BIM en trabajo colaborativo con las diferentes áreas y SC del proyecto. Control de desperdicio en el concreto e indicadores de avance. Control de avance y seguimiento a las actividades de obra gruesa con modelos BIM y UAVs.

Nota. Fondo de Prosperidad Programa BIM Perú (2020).

Se obtuvo como resultados del uso de BIM en el proyecto:

- Resultado 1: Se logró un 90% de entendimiento del alcance real del proyecto.
- Resultado 2: Revisión y validación de partidas del presupuesto e identificación.

- Resultado 3: Se identificó 400 incompatibilidades en el proyecto con al menos 10 incompatibilidades de mayor impacto previa a la ejecución.
- Resultado 4: Se logró un 100% de control y seguimiento del avance diario.

5.4.1.2 Nueva sede del Banco De la Nación. BIM puede parecer una tarea compleja cuando las compañías cuentan con un nivel de adopción distinto, por lo que se vuelve crucial llegar a un acuerdo de colaboración. Para la construcción de la nueva sede del Banco de la Nación, en la coordinación BIM del proyecto participaron ocho compañías -Cosapi, Arquitectónica, GCAQ, PROTERM, ESSAC, PRICSAC, HAGIA y Cosapi Data- donde se han modelado las especialidades de arquitectura, estructuras, así como instalaciones mecánicas, eléctricas, sanitarias, contra incendios y de data. En la figura 49 se ve una comparación del modelo 3D y el proyecto real (Villanueva-Meyer & Mallqui Saravi, 2014).



Figura 49. Proyecto real y modelo 3D

Fuente: Adaptado de *Revista informativa de Cosapi* 169, por Cosapi, 2015 (<https://cutt.ly/sGftI9H>).

El desarrollo del Plan de Ejecución BIM (PEB) fue el punto de inicio donde se estableció los objetivos, roles, procesos y requerimientos. Asimismo, se logró el éxito del uso de BIM con muchos trabajadores mediante el empleo de un sistema de gestión de información novedoso basado en la nube, el cual era controlado y gestionado por un coordinador BIM dentro de Cosapi (Villanueva-Meyer & Mallqui Saravi, 2014).

El manejo del software de Autodesk brindó un acceso remoto y centralizado a la información del proyecto, donde cada uno de los especialistas compartía su modelo. Se buscó tener un modelo maestro integrado por las ocho disciplinas para luego ser evaluado de forma conjunta en sesiones colaborativas de ingeniería concurrente (ICE) en presencia de todos los involucrados (Villanueva-Meyer & Mallqui Saravi, 2014).

En principio se construyó el proyecto de forma digital, con el fin de resolver las interferencias de forma anticipada. En consecuencia, el impacto en la etapa de construcción fue favorable y se reflejó en el ahorro en los costos por reprocesos, disminuyendo los errores de diseño y los tiempos de espera que estos implican (Villanueva-Meyer & Mallqui Saravi, 2014).

El uso de BIM permitió detectar un total de 1859 interferencias, las cuales fueron resueltas antes de la ejecución del proyecto, donde las instalaciones mecánicas representaron un 44.2% del total de incompatibilidades en el proyecto. Además, durante la ejecución se detectaron 16 interferencias adicionales, las cuales fueron de ubicación de tuberías sanitarias y cableado eléctrico, este resultado muestra la ayuda que brindó tener un modelo BIM antes de la ejecución, en la figura 50 vemos la comparación de interferencias encontradas en el proyecto, donde el lado izquierdo podemos ver las interferencias en fase de diseño y en la derecha durante su ejecución.

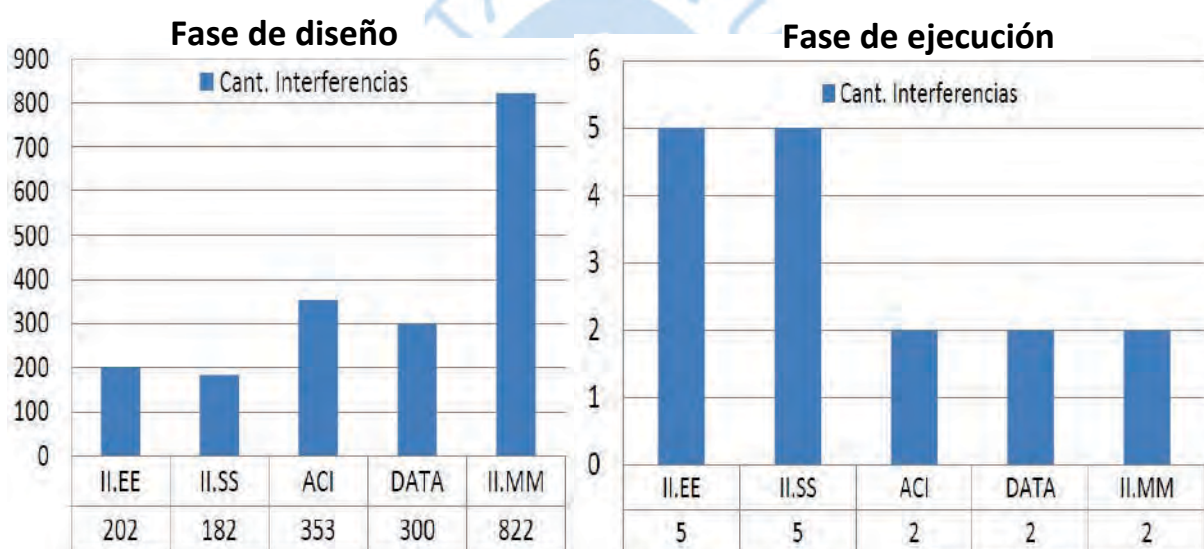


Figura 50. Resultados de Interferencias obtenidas en fase de diseño y ejecución

Fuente: Adaptado de *El BIM en La Nueva Sede Institucional Del Banco de La Nación*, por Mallqui B., s.f., Scribd (<https://cutt.ly/2GfaiCA>).

5.4.1.3 Prefabricados en Perú. El desarrollo de prefabricados en Perú ha tenido un gran auge gracias al desarrollo de BIM por parte de la empresa TSC Innovation, la cual es una empresa de ingeniería que trabaja con modelos BIM y brindan armaduras industrializadas con su servicio denominado "ACEDIM", siendo el área de Ingeniería y soporte tecnológico de los servicios de la corporación Aceros Arequipa (TSC Innovation, s.f.).

En TSC Innovation, enlazan los cronogramas con un modelo BIM estructural, el cual está vinculado directamente a la línea de producción automatizada, de esta forma logran industrializar la producción, entrega y montaje de barras de acero de refuerzo (TSC Innovation, s.f.).

Ha realizado proyectos importantes en Perú como la Modernización de La Refinería Talara, Puente Nanay, Vía Ducto Armendáriz, etc. (ver figura 51).

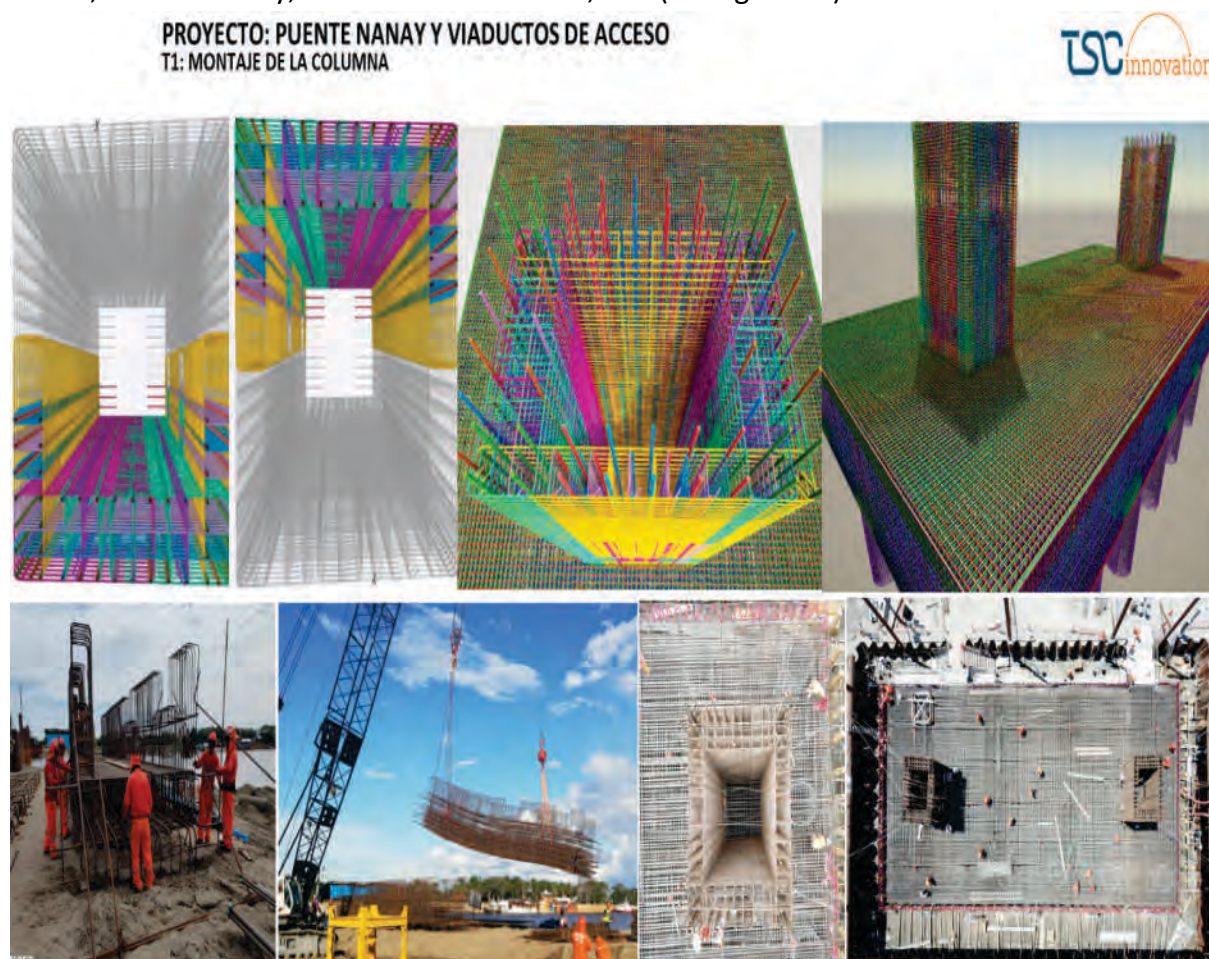


Figura 51. Modelado 3D de acero del puente Nanay

Fuente: Adaptado de *Tekla Awards 2020*, por TSC Innovation, 2020, Construsoft BIM Awards, (<https://construsoftbimawards.com/es/puente-nanay-y-viaductos-de-acceso/>).

En estos proyectos brindaron a sus clientes:

- Desarrollo de modelo estructural (Concreto, Acero de refuerzo e Insertos) para validar constructibilidad, fabricación digital, montaje en obra y uso de cliente en software de gestión como Navisworks, Tekla BIMSight o Trimble Connect.
- Determinación de la cantidad exacta de material y detección de posibles desviaciones en las cuantías.
- Integración del 2D y 3D. Esta metodología integra las segunda y tercera dimensión interconectadas entre sí, mejorando la visión del proyecto global.
- Generar de forma automática toda la documentación del proyecto: presupuestos, planificación estructuras, etc. consiguiendo un aumento de la productividad y, por tanto, un ahorro de tiempo y costes.
- Información en tiempo real para control de avance.

Conclusiones

Se ha realizado una revisión de literatura sobre el concepto, desarrollo y aplicación BIM, desarrollados desde 2010 hasta 2020, haciendo uso de palabras claves para su búsqueda. La investigación revisó sistemáticamente 39 artículos de revisión, 12 actas de conferencia y 6 libros relacionada con BIM, y el análisis de esta literatura proporcionó referencias para cuatro puntos de vista: concepto BIM, integración de tecnología, aplicaciones y desarrollo e implementación, de donde se pudo concluir lo siguiente:

BIM, ha existido en la industria AEC por más de una década, su crecimiento en varias áreas de desarrollo y su adopción internacional por distintas organizaciones y países ha generado una gran variedad de definiciones que generan confusión. Sin embargo, lo que se debe tener en claro es que BIM no es un software, sino que utiliza tecnología mediante el uso de softwares para crear modelos paramétricos que contienen información, la cual se comparte en un entorno colaborativo. BIM además, está presente en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto.

Los softwares BIM se pueden dividir en plataformas BIM y herramientas BIM. Los primeros son aquellos donde se desarrolla el modelo BIM, que contiene información y datos -su característica principal-, a diferencia de los modelos 3D. Por otro lado, una herramienta BIM es aquella que usa como base el modelo BIM en un flujo de trabajo colaborativo BIM. Cabe señalar que ningún software es mejor que otro, sino que existe un software BIM para cada tipo de profesional con una necesidad distinta.

La interoperabilidad con los formatos supone un gran avance porque rompe las barreras entre los profesionales que utilizan softwares de distintas compañías; asimismo los entornos de datos comunes, los acerca y les brinda la oportunidad de trabajar de forma colaborativa.

Una de las aplicaciones BIM más usadas desde un principio fue la detección de interferencias. Sin embargo, se ha demostrado que BIM se puede aplicar en cualquier tipo de obra desde edificios hasta carreteras y en todas las etapas de un proyecto de construcción desde la concepción hasta la demolición. Además, cada vez más investigadores exploran nuevas aplicaciones de BIM en conjunto con las tecnologías emergentes como VR, GIS, IoT, etc., que permitirá llevar el sector de la construcción al siguiente nivel.

El desarrollo de BIM ha demostrado que tiene grandes beneficios en todas las fases de un proyecto y que los retos que suponen en su implementación se pueden superar con éxito. Esto ha dado como resultado que más países se sumen a la adopción de BIM, entre ellos los países latinoamericanos, quienes apuestan por un cambio progresivo.

BIM no es nuevo en el Perú, puesto que existen varios proyectos realizados en el ámbito privado, a pesar de ello, el plan de implementación BIM busca que su uso sea obligatorio en los proyectos públicos, por lo que se debe tomar más acción en cuanto a capacitación a los profesionales, especialmente a los alumnos de pregrado que finalmente son quienes se enfrentaran a esta nueva forma de trabajo.

Es importante señalar que se ha intentado abarcar el mayor contenido y más relevante sobre BIM en la última década, pero debido a su extraordinario y progresivo incremento en el número de publicaciones científicas, esta sintaxis sobre BIM deberá ser actualizada con nuevos conceptos, aplicaciones y usos en esta metodología, teniendo como base esta investigación.

Finalmente se puede concluir que el desarrollo de la tecnología permitirá el desarrollo de BIM en nuevos campos desconocidos. La integración de métodos cualitativos, cuantitativos y científicos seguirá ampliando el horizonte en este tema.



Recomendaciones

En la investigación de literatura, se encontró que los factores de riesgo más comunes para BIM en todos los niveles son la experiencia inadecuada en el proyecto y la falta de personal capacitado. Teniendo en cuenta que no basta con la capacitación en un determinado software, se debe contemplar el uso de protocolos y normativas para una correcta implementación. Además, esta investigación se puede complementar con la guía nacional BIM Perú, para contemplar los requerimientos solicitados por el estado peruano para la ejecución de obras públicas.

Esta es un área de investigación actual y futura, la cual seguirá evolucionando conforme el avance de la tecnología, apareciendo nuevas aplicaciones teniendo como referente el uso de BIM, abarcando nuevos sectores de la industria, sin limitarse al sector de la construcción. Como recomendación de los autores, al comprender correctamente que es BIM y como se aplica correctamente, el paso siguiente es mantenerse informado sobre su desarrollo en la tecnología. Con base de su uso en big data, diseño generativo, inteligencia artificial, siendo un trampolín hacia la automatización del sector de la construcción, donde todo apunta que será la siguiente revolución en la industria.



Glosario

AEC: Architecture, Engineering and Construction.

CAD: Computer Aided Design.

AIA: American Institute of Architects.

BDS: Building Description System.

NBS: National Building Specification.

NBIMS-US: National BIM Standard United States.

VDC: Virtual Design Construction.

LOD: Level of development.

IFC: Industry Foundation Classes.

MEP: Mechanical, Electrical and Plumbing.

API: Application Programming Interface.

CMMS: Computerized Maintenance Management System.

IoT: Internet of Things.

CDE: Common Data Environment.

DBMS: Data Base Management System.

MVD: Model View Definition.

COBie: Construction Operations Buildings Information Exchange.

BSI: British Standards Institution.

CIC: Construction Industry Council.

LPS: Last Planner System.

FM: Facility Management.

GIS: Geographical Information System.

RFI: Request for Information.

XR: Extended Reality.

BEP: BIM Execution Plan.

KPI: Key Performance Indicator.

GSA: General Services Administration.

ICE: Integrated Concurrent Engineering.



Referencias bibliográficas

- Abdirad, H., & Dossick, C. S. (2016). BIM curriculum design in architecture, engineering, and construction education: a systematic review. *Information Technology in Construction*.
- Acca Software. (s.f.). Obtenido de <https://www.accasoftware.com/es/requisitos-de-sistema?prog=edificius>
- Acca Software. (2021). *Acca Software*. Obtenido de <https://www.accasoftware.com/es/software-diseno-arquitectonico-3d>
- ACH. (s.f.). *ACH*. Obtenido de <https://panelesach.com/latam/pe/espacio-arquitectos-peru-pe/tecnologia-paneles-bim-pe/>
- Alizadehsalehi, S., Hadavi, A., & Chuenhuei Huang, J. (2020). From BIM to extended reality in AEC industry. *Automation in Construction*.
- Allplan. (2020). *Allplan 2020 QuickStart*. Obtenido de Allplan: <https://www.allplan.com/es/tutorial-de-cad/allplan-2020-tutorials/>
- Allplan. (2021). *Allplan*. Obtenido de [https://connect.allplan.com/es/soporte/sysinfo/2021.html?&tx_maritfaq_pi%201\[FaqID\]=105584&no_cache=1](https://connect.allplan.com/es/soporte/sysinfo/2021.html?&tx_maritfaq_pi%201[FaqID]=105584&no_cache=1)
- AllPlan. (2021). *AllPlan*. Obtenido de <https://www.allplan.com/es/>
- Almeida, A. (2019). *BIM en el Perú*. Lima.
- Aouad, G., Wu, S., Lee, A., & Onyenobi, T. (2012). *Computer Aided Design Guide for Architecture, Engineering and Construction*. Oxon: Taylor and Francis.
- Autodesk. (agosto de 2019). *Interfaz del usuario*. Obtenido de Autodesk: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/revit/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/Revit-GetStarted/files/GUID-3197A4ED-323F-4D32-91C0-BA79E794B806-htm.html>
- Autodesk. (2021). *Autodesk*. Obtenido de <https://latinoamerica.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR>
- Autodesk. (2021). *Autodesk*. Obtenido de Requisitos del sistema de los productos de Revit 2021: <https://knowledge.autodesk.com/es/support/revit/learn->

explore/caas/sfdarticles/sfdarticles/ESP/System-requirements-for-Autodesk-Revit-2021-products.html#revitlt

Autodesk. (s.f.). *Autodesk*. Obtenido de <https://www.autodesk.com/solutions/cad-software>

Autodesk. (s.f.). *Autodesk*. Obtenido de <https://www.autodesk.es/solutions/bim/civil-engineering>

Autodesk. (s.f.). *Generative Design*. Obtenido de Autodesk: <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>

Autodesk Help. (14 de junio de 2017). *Autodesk*. Obtenido de <https://knowledge.autodesk.com/support/3ds-max/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/3DSMax/files/GUID-E4AFBB22-114A-4E44-B372-5432FA500DEA-htm.html>

Ayman, R., Alwan, Z., & McIntyre, L. (2020). BIM for sustainable project delivery: review paper and future development areas. *Architectural Science Review*.

Azure Microsoft. (21 de noviembre de 2015). *What is cloud computing?* Obtenido de <https://azure.microsoft.com/en-us/overview/what-is-cloud-computing/#benefits>

Badawy, A. (2019). Applying BIM to achieve sustainability throughout. *International Journal of Construction Management*.

Barco, D. (11 de agosto de 2017). *BIMchannel*. Obtenido de <https://bimchannel.net/es/livewebinar-uso-bim-practico-7d/>

Barnes, P., & Davies, N. (2015). *BIM in Principle and in Practice* (Primera ed.). London: ICE Publishing.

Barnes, P., & Davies, N. (2019). *BIM in Principle and in Practice* (Segunda ed.). London: ICE Publishing.

Bentley. (2021). *Bentley*. Obtenido de <https://www.bentley.com/es/products/product-line/building-design-software/openbuildings-designer>

Bentley Systems. (s.f.). *Bentley Systems*. Obtenido de FAQ - OpenBuildings Designer CONNECT Edition:

https://communities.bentley.com/products/building/building_analysis__design/w/building_analysis_and_design__wiki/47964/faq---openbuildings-designer-connect-edition

Bentley Systems. (s.f.). *OpenBuilding Designer*. Obtenido de Bentley Systems: https://www.bentley.com/en?utm_source=geoengineer.org&utm_medium=affiliate&utm_campaign=px-gen-mktg&utm_content=en__learn-more__&utm_term=visit-website__txt&partnerref=geoengineer.org

- Biblus Acca Software. (s.f.). *Biblus Acca Software*. Obtenido de <https://biblus.accasoftware.com/es/el-building-information-modeling-en-la-fase-de-diseno-como-obtener-ventajas-con-el-bim/>
- Biblus. (s.f.). *Biblus*. Obtenido de <https://biblus.accasoftware.com/es/ifc-coordination-view/>
- Biblus. (s.f.). *Biblus*. Obtenido de <https://biblus.accasoftware.com/es/de-0-a-3-que-son-los-niveles-de-madurez-bim/>
- Biblus. (s.f.). *Biblus Acca Software*. Obtenido de <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-adoption-in-usa-the-first-country-to-implement-bim-is-now-lagging-behind/#:~:text=The%20introduction%20of%20BIM%20in,of%20BIM%20technology%20in%20constructions.>
- BIM BR. (s.f.). *Plataforma BIM BR*. Obtenido de <https://plataformabimbr.abdi.com.br/bimBr/#/conteudo/122>
- BIM Corner. (2020). *BIM Corner*. Obtenido de <https://bimcorner.com/cde-solution-according-to-iso-19650/>
- BIM FORUM. (2013). *BIM FORUM*. Obtenido de <https://bimforum.org/LOD>
- BIM FORUM. (2020). *Level of Development (LOD) Specification Part I and Commentary*.
- BIM FORUM CHILE. (2018). *BIM FORUM CHILE*. Obtenido de <https://www.bimforum.cl/2018/03/29/software-de-gestion-de-activos-en-entorno-bim/>
- BIM Industry Working Group. (2011). *A report for the Government Construction Client Group*. Reino Unido.
- BIM MIND MAP. (s.f.). *Youtube*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=24nHO6941JM&t=9s&ab_channel=BIMMINDMAP
- BIMCOMMUNITY. (2016). *BIM Forum Chile*. Obtenido de <https://bimforum.cl/2016/10/17/bim-en-el-mundo/>
- Bolpagni, M. (2016). *BIM THINK SPACE*. Obtenido de The many faces of "LOD": <https://www.bimthinkspace.com/information-management/>
- Bottaccioli, L., Aliberti, A., Ugliotti, F. M., Osello, A., Macii, E., Patti, E., & Acquaviva, A. (2017). Building energy modelling and monitoring by integration. *2017 IEEE 41st Annual Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)* (págs. 914-922). Turin: IEEE.
- British Standards Institution [BSI]. (2013). *PAS 1192-2:2013*.
- BSI. (2021). *Little book of BIM*.

- BSI. (s.f.). *BSI*. Obtenido de <https://www.bsigroup.com/es-ES/iso-19650/>
- BSI. (s.f.). *BSI Group*. Obtenido de <https://www.bsigroup.com/en-GB/standards/Information-about-standards/What-is-a-standard/>
- Building Smart Spain. (2020). *Guía BIM para Propietarios y Gestors de Activos*.
- buildingSMART. (s.f.). *buildingSMART*. Obtenido de <https://www.buildingsmart.org/standards/calls-for-participation/ifcroad/>
- buildingSMART International*. (s.f.). Obtenido de <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>
- buildingSMART International. (s.f.). *buildingSMART International*. Obtenido de <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc>
- buildingSMART Spain. (s.f.). *buildingSMART Spain*. Obtenido de <https://www.buildingsmart.es/bim>
- buildingSMART-España*. (12 de noviembre de 2016). Obtenido de <https://www.buildingsmart.es/bim/qu%C3%A9-es/>
- Cámara Colombiana de Construcción [CAMACOL]. (2018). *INFORME DE PRODUCTIVIDAD*.
- Cambridge Dictionary. (s.f.). *Definition 3*. Obtenido de <https://dictionary.cambridge.org/es-LA/dictionary/english-chinese-traditional/spline>
- Cañon, G. (1 de noviembre de 2017). *LinkedIn*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/cuales-son-los-conocientos-que-debe-tener-un-modelador-canon/?originalSubdomain=es>
- Chahrour, R., Atif Hafeez, M., Mohammad Ahmad, A., Ibnauf Sulieman, H., Dawood, H., Rodriguez-Trejo, S., . . . Dawood, N. (2021). Cost-benefit analysis of BIM-enabled design clash detection and resolution. *Construction Management and Economics*, 55-72.
- Chapman, D., Providakis, S., & Rogers, C. (2019). BIM for the Underground – An Enabler of Trenchless Construction. *Underground Space*.
- Chong, H.-Y., Lee, C.-Y., & Wang, X. (2017). A mix review of the adoption of Building Information Modeling(BIM) for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 4114-4126.
- Comisión BIM. (s.f.). *Comisión Interministerial BIM*. Obtenido de <https://cbim.mitma.es/bim-en-el-mundo/chile>
- Cosapi. (septiembre de 2015). *Revista informativa de Cosapi 169*. Obtenido de Revista cuadrilla: <https://www.cosapi.com.pe/Site/Index.aspx?aID=14>

- Costin, A., Adibfar, A., Hu, H., & Chen, S. (2018). Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure—Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction*, 257-281.
- Davtalab, O., Kazemian, A., & Khoshnevis, B. (2018). Perspectives on a BIM-integrated software platform for robotic construction through Contour Crafting. *Automation in Construction*, 13-23.
- DCV consultores. (13 de junio de 2017). *¿Qué es BIM?* Obtenido de DCV consultores: <https://www.dcvconsultores.com/que-es-bim/>
- de Santiago, A. (12 de marzo de 2020). *Editeca*. Obtenido de <https://editeca.com/usos-y-objetivos-bim/>
- Dijk, R., & Stuij, J. (2019). From Revit Model to Production: A Detailed Look into the Workflow at Voorbij Prefab. *Connect and Construct Summit 2019* (pág. 19). San Francisco: Autodesk University. Obtenido de Autodesk University: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Revit-Model-Production-Detailed-Look-Workflow-Voorbij-Prefab-2019>
- Dirección General de Programación Multianual de Inversiones. (2020). *PLAN DE IMPLEMENTACIÓN Y HOJA DE RUTA DEL PLAN BIM PERÚ*. Lima.
- Edificius. (s.f.). *Biblus Acca Software*. Obtenido de Biblus Acca Software: <https://biblus.accasoftware.com/es/el-building-information-modeling-en-la-fase-de-diseno-como-obtener-ventajas-con-el-bim/>
- El Regional Piura. (2021). *Diario El Regional de Piura*. Obtenido de <https://www.elregionalpiura.com.pe/index.php/nacionales/154-politica/48042-minedu-convoca-concurso-para-ejecutar-75-escuelas-bicentenario>
- Ellis, M. (enero de 2019). *REBIM*. Obtenido de <https://rebim.io/goodbye-bs1192-hello-iso19650/>
- Equipo BIMnD. (2019). *BIMnD Building New Dimensions*. Obtenido de <https://www.bimnd.es/que-es-el-6d-en-bim/>.
- Escuela Nacional de Control. (2021). *Youtube*. Obtenido de BIM en Sector Público: Algunas aplicaciones en infraestructura vial y educativa 2021: <https://www.youtube.com/watch?v=aXW8IZuz7qE&t=4194s>
- EU BIM Task Group. (s.f.). *EU BIM Task Group*. Obtenido de <http://www.eubim.eu/>
- Fazli, A., Fathi, S., Hadi, M., Fazli, M., & Fathi, B. (14 de noviembre de 2014). Appraising effectiveness of Building Information Management. *Procedia Technology*, 1116-1125.
- Fettermann, P. (2020). *ABDI*. Obtenido de <https://www.abdi.com.br/postagem/decreto-estabelece-utilizacao-do-bim-em-obras-publicas>

- Filehorse. (2021). *Filehorse*. Obtenido de <https://www.filehorse.com/es/descargar-vectorworks/imagenes/>
- Fischer, M., & Kunz, J. (22 de enero de 2020). Virtual design and construction, Construction Management and Economic. *Construction Management and Economics*, 355-363. doi:10.1080/01446193.2020.1714068
- Florez, T. (enero de 2021). *El Universal*. Obtenido de <https://www.eluniversal.com.co/especial/construccion/bim-la-estrategia-para-que-las-construcciones-del-pais-sean-mas-eficientes-YX4044177>
- Fondo de Prosperidad BIM Perú. (s.f.). Día de intercambio de conocimientos SSE BIM. *Capacitación Fundamentos BIM*.
- Fondo de Prosperidad Programa BIM Perú. (26 de agosto de 2020). *mef.gob.pe*. Obtenido de Capacitación Usos BIM: Casos de éxito: https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/capacitaciones/usos_BIM_casos_de_exito.pdf
- Fundación Compartir. (octubre de 2018). Obtenido de <https://fundacioncompartir.org/noticias/bim-forum-colombia-apuesta-por-digitalizacion-productividad-de-construccion>
- Gao, X., & Pishdad-Bozorgi, P. (2018). Past, Present, and Future of BIM-Enabled Facilities Operation and Maintenance. *Construction Research Congress 2018* (págs. 51-61). Atlanta: ASCE.
- Gerrish, T., Ruikar, K., Cook, M., Johnson, M., Phillip, M., & Lowry, C. (2017). BIM application to building energy performance visualisation and management: Challenges and potential. *Energy and Buildings*.
- Ghaffarianhoseini, A., Tookey, J., Ghaffarianhoseini, A., Naismitha, N., Azhar, S., Efimovaa, O., & Raahemifar, K. (2016). Building Information Modelling (BIM) uptake: Clear benefits, understanding its implementation, risks and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Gobierno de Colombia. (2020). *Estrategia Nacional BIM 2020-2026*.
- Graphisoft. (2021). *Empezar a Trabajar con Archicad*. Obtenido de Graphisoft: <https://graphisoft.com/es/try-ArchiCAD/learn-the-basics>
- Graphisoft. (2021). *Graphisoft*. Obtenido de <https://graphisoft.com/es/solutions/products/archicad>
- Graphisoft. (s.f.). *Graphisoft*. Obtenido de Requerimientos de Sistema: <https://graphisoft.com/es/resources-and-support/system-requirements/#archicad-system-requirement>

- Grupsa. (s.f.). *Grupsa Perú*. Obtenido de <https://grupsa.pe/grupsa-incorpora-la-metodologia-bim/>
- Guerra, B., Leite, F., & Faust, K. (2020). 4D-BIM to enhance construction waste reuse and recycle planning: Case studies on concrete and drywall waste streams. *Waste of Management*, 79-90.
- Hamil, S. (octubre de 2018). *NBS*. Obtenido de <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-cobie>
- Hamil, S. (9 de septiembre de 2021). *NBS*. Obtenido de <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim>
- Hardin, B., & Mccool, D. (2015). *BIM and CONSTRUCTION MANAGEMENT*. Indianapolis: Wiley-Blackwell.
- Hassan, A. (14 de marzo de 2017). *BIM 10 DIMENSIONS*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/bim-10-dimensions-prof-akram-hassan-phd-mba-opm3-pmp-/>
- Heigermoser, D., García de Soto, B., Sidney, E., & Huat Chua, D. (2019). BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management. *Automation in Construction*, 246-254.
- Ianni, M. (2020). *Econova Institute of Architecture and Engineering*. Obtenido de <https://econova-institute.com/blog/que-es-green-building-studio/>
- IHS Markit Standards Store. (s.f.). *IHS Markit Standards Store*. Obtenido de https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?&document_name=ISO%2012006%2D2&item_s_key=00385888&item_key_date=840730&.
- IHS Markit Standards Store. (s.f.). *IHS Markit Standards Store*. Obtenido de https://global.ihs.com/doc_detail.cfm?document_name=ISO%2012006%2D3&item_s_key=00411180
- innovation, T. (17 de mayo de 2020). *Construsoft BIM Awards*. Obtenido de Tekla Awards 2020: <https://construsoftbimawards.com/es/puente-nanay-y-viaductos-de-acceso/>
- Jing, W., Hao, G., Li, C., Wei, W., & Cheng, J. (2019). BIM Application Approach on Highway Maintenance and Management. *CICTP 2019* (págs. 776-786). ASCE.
- Kamardeen, I. (2010). 8D BIM modelling tool for accident prevention through design. *26th Annual ARCOM Conference* (pág. 288). Leeds: Association of Researchers in Construction.
- Kamel, E., & Memari, A. (2019). Review of BIM's application in energy simulation: Tools, issues, and solutions. *Automation in Construction*, 164-180.

- Kassem, M., Kelly, G., Dawood, N., Serginson, M., & Lockley, S. (2015). BIM in facilities management applications: a case study of a large university complex. *Built Environment Project and Asset Management*, 261-277.
- Kim, S., Peavy, M., Huang, P.-C., & Kim, K. (2021). Development of BIM-integrated construction robot task planning and simulation system. *Automation in Construction*.
- Lévy, F., & Ouellette, J. W. (2019). *BIM for Design Firms: Data Rich Architecture at Small and Medium Scales*. John Wiley & Sons.
- Mallqui Saravia, B. (s.f.). *El BIM en la Nueva Sede Institucional del Banco de la Nación*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/document/437979098/Ing-Badin-Mallqui-El-BIM-en-la-nueva-sede-institucional-del-Banco-de-la-Nacion-pdf>
- Marin, R. (2018). *Linkedin*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/edificios-el-desconocido-eslab%C3%B3n-perdido-del-bim-entremar%C3%ADn/?originalSubdomain=es>
- Martínez-Aires, M., López-Alonso, M., & Martínez-Rojas, M. (2018). Building information modeling and safety management: A systematic review. *Safety Science*, 11-18.
- McArthur, J. (14 de septiembre de 2015). A Building Information Management (BIM) Framework and Supporting Case Study for Existing Building Operations, Maintenance and Sustainability. *Procedia Engineering*, 1104-1111.
- McAuley, B., Hore, A., & West, R. (2017). *BICP Global BIM Study - Lessons for Ireland's BIM Programm*. Construction IT Alliance (CitA). doi:10.21427/D7M049
- McKinsey Global Institute. (2015). *Digital America: A tale of the haves and have-mores*.
- McKinsey Global Institute. (2017). *REINVENTING CONSTRUCTION: A ROUTE TO HIGHER PRODUCTIVITY*.
- McPartland, R. (noviembre de 2014). *NBS*. Obtenido de <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>
- McPartland, R. (6 de setiembre de 2017). *NBS*. Obtenido de <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-the-government-construction-strategy>
- McPartland, R. (setiembre de 2017). *NBS*. Obtenido de <https://www.thenbs.com/knowledge/what-are-bim-objects>
- Meng, Q., Zhang, Y., Li, Z., Shi, W., Wang, J., Sun, Y., . . . Wang, X. (2020). A review of integrated applications of BIM and related technologies in whole building life cycle. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 1647-1677.
- Migilinskas, D., Pavlovskis, M., Urba, I., & Zigmund, V. (2017). Analysis of problems, consequences and solutions for BIM application in reconstruction projects. *Journal of Civil Engineering and Management*, 1082-1090.

- Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. (s.f.). *Gobierno de Brasil*. Obtenido de Gobierno de Brasil: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/campanhas-e-eventos/semana-do-planejamento/2a-semana-do-planejamento/4-estrategia-disseminacao-bim-pedro-reckziegel.pdf>
- Ministerio de Economía y Finanzas. (27 de julio de 2021). *mef.gob.pe*. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/planbimperu/docs/recursos/guia_nacional_BIM.pdf
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (2021). *Youtube*. Obtenido de Plan BIM Perú: eficacia, transparencia y calidad en las inversiones públicas: https://www.youtube.com/watch?v=uuu40yKDry4&ab_channel=MinisteriodeEconom%C3%ADayFinanzasdelPer%C3%BA
- Ministerio de Economía y Finanzas del Perú. (junio de 2021). *Youtube*. Obtenido de Plan BIM Perú: eficacia, transparencia y calidad en las inversiones públicas: https://www.youtube.com/watch?v=uuu40yKDry4&ab_channel=MinisteriodeEconom%C3%ADayFinanzasdelPer%C3%BA
- Ministerio de Economía y Finanzas. (s.f.). *mef.gob.pe*. Obtenido de Plan BIM Perú: <https://www.mef.gob.pe/planbimperu/planbim.html>
- Moret Colmer, S. (13 de octubre de 2020). *LinkedIn*. Obtenido de Píldoras de Revit: <https://www.linkedin.com/pulse/dimensiones-bim-vs-usos-salvador-moret-colomer/?originalSubdomain=es>
- NBIMS-US*. (2016). Obtenido de <https://www.nationalbimstandard.org/about#scope>
- NBS*. (2020). *10th Annual BIM Report*. Reino Unido.
- Ortega, B. (octubre de 2018). *Espacio BIM*. Obtenido de <https://www.espaciobim.com/cobie>
- Pavco Wavin. (s.f.). *Pavco Wavin*. Obtenido de <http://bim.pavcowavin.com.pe/es/Paginas/default.aspx>
- Pérez Arnal, I. (15 de agosto de 2018). *BIM Community*. Obtenido de <https://www.bimcommunity.com/news/load/490/why-don-t-we-start-at-the-beginning>
- Pezeshki, Z., & Ivvari, S. (2018). Applications of BIM: A Brief Review and Future Outline. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 273-312.
- Phiri, M. (2016). *BIM in Healthcare Infrastructure: Planning, Design and Construction*. London: ICE Publishing.
- Plan BIM Chile. (s.f.). *Plan BIM Chile*. Obtenido de <https://planbim.cl/bim/>
- Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). (2021). *Segundo Estudio de Adopción BIM en Proyectos de Edificación en Lima y Callao*. Lima.

- Pramod Reddy, K. (2012). *BIM for Building Owners and Developers: Making a Business Case for Using BIM on Projects*. Wiley.
- Preidel, C., & Borrmann, A. (2015). Automated Code Compliance Checking Based on a Visual Language and Building Information Modeling. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction* (p. 32). Oulu, Finland: ISARC.
- RED BIM GOB LATAM. (2020). *YouTube*. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=bFIECa5_ge0&t=5529s&ab_channel=REDBIMG OBLATAM
- Red BIM GOB Latam. (s.f.). *Red BIM GOB Latam*. Obtenido de <https://redbimgoblatam.com/>
- Revista informativa de Cosapi 188. (junio de 2021). *Cosapi*. Obtenido de Revista cuadrilla: <https://www.cosapi.com.pe/Site/Index.aspx?aID=14>
- Sacks , R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz , P. (2018). *BIM Handbook : A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractros, and Facility Managers* (Tercera ed.). Hoboken: Wiley.
- Sampaio , A. Z., & Berdeja, E. (2017). Collaborative BIM environment as a support to conflict analysis in building design. *4th Experiment@ International Conference* (págs. 77-82). Portugal: IEEE.
- See, R. (2007). *Journal of Building Information Modeling*.
- Shahrour, I., Alileche, L., & Alfurjani, A. (2017). Smart cities: System and tools used for the digital modelling of physical urban systems. *2017 Sensors Networks Smart and Emerging Technologies (SENSET)* (págs. 1-4). Beiriut: IEEE.
- Shillcock, P. (15 de enero de 2019). *NBS*. Obtenido de <https://www.thenbs.com/knowledge/from-bs-1192-to-iso-19650-and-everything-in-between#:~:text=Based%20upon%20the%20UK%201192,to%20the%20management%20of%20information.>
- Sidani, A., Matoseiro Dinis, F., Sanhudo, L., Duarte, J., Santps Baptista, J., Pocas Martins, J., & Soeiro, A. (2019). Recent Tools and Techniques of BIM-Based Virtual Reality: A Systematic Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*.
- Siemens. (s.f.). *PLM AUTOMATION SIEMEMS*. Obtenido de <https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-design-cad/12507>
- Sika. (s.f.). *Sika*. Obtenido de <https://per.sika.com/es/soporte-digital/objetos-bim.html>
- Smith, P. (2014). BIM Implementation - global strategies. *Creative Construction Conference* (págs. 482-492). Sydney: ElSevier.

- Song, Y., Wang, X., Tan, Y., Wu, P., Sutrisna, M., Cheng, J., & Hampson, K. (2017). Trends and Opportunities of BIM-GIS Integration in the Architecture, Engineering and Construction Industry: A Review from a Spatio-Temporal Statistical Perspective. *ISPRS international journal of geo-information*, 397.
- Succar, B. (2008). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 357-375.
- Tang, S., Shelden, D., Eastman, C., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X. (2019). A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Automation in Construction*, 127-139.
- The Infrastructure and Projects Authority. (2016). *Government Construction Strategy 2016-20*.
- The Pennsylvania State University. (12 de agosto de 2019). Obtenido de <https://psu.pb.unizin.org/bimprojectexecutionplanning/back-matter/bim-use-descriptions/>
- TSC Innovation. (s.f.). *Servicios: TSC Innovation*. Obtenido de TSC Innovation: <https://tscinnovation.com/es#menu4>
- UK BIM Alliance. (s.f.). *UK BIM Alliance*. Obtenido de <https://www.ukbimalliance.org/>
- UK BIM FRAMEWORK. (2020). *Information management according to BS EN ISO 19650 Guidance Part C*.
- Ullah, K., Lill, I., & Witt, E. (2019). An Overview of BIM Adoption in the Construction Industry: Benefits and Barriers. *10th Nordic Conference on Construction Economics and Organization* (págs. 297-303). Emerald Publishing Limited.
- Universidad de Chile. (2019). *Encuesta Nacional BIM 2019* .
- Universidade Federal de Pernambuco. (2021). *Universidade Federal de Pernambuco*. Obtenido de https://www.ufpe.br/agencia/noticias/-/asset_publisher/dlhi8nsrz4hK/content/ufpe-e-a-segunda-universidade-do-pais-a-abrigar-uma-celula-bim/40615
- Van Berlo, L., & Bomhof, F. (2014). Creating the Dutch National BIM Levels of Development. *COMPUTING IN CIVIL AND BUILDING ENGINEERING*, 129-136.
- Vectorworks. (2021). *Vectorworks*. Obtenido de <https://www.vectorworks.net/es-US/education>
- Vectorworks. (2021). *Vectorworks*. Obtenido de Vectorworks 2021 System Requirements: <https://www.vectorworks.net/sysreq>

- Vigneault, M.-A., Botton, C., Chong, H.-Y., & Cooper-Cooke, B. (2019). An Innovative Framework of 5D BIM Solutions for Construction Cost Management: A Systematic Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*.
- Villa, J. (2017). Implementación de tecnologías BIM-REVIT en los procesos de diseño de proyectos en la empresa consultora Jc Ingenieros S.R.L. Cajamarca.
- Villanueva-Meyer, S., & Mallqui Saravi, B. (2014). *Las 3 "C" del BIM en la nueva sede del Banco de la Nación*. REVISTA COSTOS.
- Weber Saint-Gobain. (s.f.). *Weber Saint-Gobain*. Obtenido de <https://www.es.weber/weberbiblioteca/bim#:~:text=Los%20objetos%20BIM%20son%20representaciones,contenido%20BIM%20contiene%20representaciones%203D.&text=A%20continuaci%C3%B3n%20te%20podr%C3%A1s%20descargar,familia%20de%20productos%20y%20sistemas>.
- Wu, K., García de Soto, B., Zhang, F., & Adey, B. (2018). Automatic Generation of the Consumption for Temporary Construction Structures Using BIM: Applications to Formwork. *2018 Proceedings of the 35th ISARC*, (págs. 72-79). Berlin.
- Xu, J. (2017). Research on Application of BIM 5D Technology in Central Grand. *13th Global Congress on Manufacturing and Management, GCMM 2016* (págs. 600-610). China: ELSERVIER.
- Yaringaño, M. (octubre de 2021). *Diplomado de Alta Especialización en Gestión de Proyectos BIM*. Obtenido de Instituto Peruano de Asuntos Públicos, Política y Gobierno.
- Zigurat Global Institute of Technology. (2018). *Zigurat Global Institute of Technology*. Obtenido de <https://www.e-zigurat.com/blog/es/que-software-bim-debo-utilizar/>