



**Estrategia Metodológica para la Implementación BIM en el sector AEC
con Énfasis en la Fase de Preconstrucción**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Constructor en Arquitectura e Ingeniería

Fabián Orlando Nieto Amézquita

Construcción en Arquitectura e Ingeniería

Facultad de Ciencias y Tecnología

Universidad Santo Tomás

Directora de Proyecto: Mg. Olga Lucia Vanegas Alfonso

2-683-73226: Opción de Grado

Julio de 2023

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Resumen

Palabras clave: Fase de preconstrucción, Modelado de Información de Construcción, BIM, AEC.

El siglo XXI ha dado testimonio del surgimiento de nuevos avances tecnológicos para la gestión de las distintas fases en las que se desarrolla un proyecto constructivo, a saber: Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento. En tal sentido, el Building Information Modeling (BIM, por sus siglas en inglés) es una de las tecnologías que más ha impactado el sector de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC, por sus siglas en inglés) en las últimas décadas. BIM es un enfoque metodológico que optimiza el análisis de riesgos al proporcionar toda la información relacionada con el proyecto a lo largo de todo su ciclo de vida. Constituye una herramienta fundamental para la planificación y el control del proceso constructivo en la etapa que sigue a la aprobación de los diseños y precede a la construcción. Por medio de la información generada por los modelos BIM, se pueden llevar a cabo tareas como la planificación de la construcción, la coordinación de los diferentes equipos de trabajo, la simulación de procesos constructivos, entre otras actividades preliminares, lo que permite detectar y corregir problemas antes de iniciar las tareas de construcción. En la etapa de preconstrucción, BIM desempeña un papel fundamental en la administración de los datos pertinentes a los materiales y equipos requeridos para la ejecución de la obra. Asimismo, facilita la planificación de las labores a realizar y la gestión de los recursos económicos asociados. Con base en estos preceptos, la presente tesis de grado recopila los conceptos generales, estándares y aplicabilidad de BIM a nivel mundial, con el fin de plantear una estrategia para su implementación dentro del sector AEC en Colombia, particularmente, en lo relacionado con la fase de preconstrucción de los proyectos, una vez son aprobados los diseños para su ejecución. Dicha estrategia metodológica se fundamenta en los lineamientos de la norma internacional ISO 19650 y es adaptada al ámbito colombiano a través de la incorporación del *BIM Kit*, herramienta desarrollada por el BIM Fórum Colombia para la implementación de BIM en el país.

Abstract

Keywords: Pre-construction phase, Building Information Modelling, BIM, AEC.

The 21st century has witnessed the emergence of new technological advances for the management of the different phases in which a construction project is developed, namely: Design, Construction, Operation and Maintenance. In this sense, Building Information Modeling (BIM) is one of the technologies that has most impacted the Architecture, Engineering and Construction sector (AEC) in recent decades. BIM is a methodological approach that optimizes risk analysis by providing all the information related to the project throughout its entire life cycle. It constitutes a fundamental tool for planning and controlling the construction process in the stage that follows the approval of the designs and precedes construction. Through the information generated by the BIM models, tasks such as construction planning, coordination of the different work teams, simulation of construction processes, among other preliminary activities, can be carried out, which allows detecting and correcting problems before starting construction work. In the pre-construction stage, BIM plays a fundamental role in the administration of the data relevant to the materials and equipment required for the execution of the work. Likewise, it facilitates the planning of the tasks to be carried out and the management of the associated economic resources. Based on these precepts, this thesis compiles the general concepts, standards and applicability of BIM worldwide, in order to propose a strategy for its implementation within the AEC sector in Colombia, particularly, in relation to the phase of pre-construction of the projects, once the designs are approved for their execution. This methodological strategy is based on the guidelines of the international standard ISO 19650 and is adapted to the Colombian environment through the incorporation of the BIM Kit, a tool developed by the BIM Forum Colombia for the implementation of BIM in the country.

Contenido

Resumen	3
Abstract.....	4
Introducción.....	11
1. Planteamiento del Problema	13
2. Justificación.....	15
3. Objetivos	18
3.1. Objetivo General	18
3.2. Objetivos Específicos.....	18
4. Antecedentes	19
4.1. Proyecto Thames Tideway Tunnel (Londres).....	19
4.2. Proyecto Puente Røfors (Suecia)	20
4.3. Torres Atrio (Bogotá)	25
4.4. Línea 1 Metro de Bogotá (Bogotá).....	25
5. Marco Referencial.....	28
5.1. Marco Geográfico	28
5.2. Marco Histórico.....	30
5.2.1. BIM en el Ámbito Internacional	30
5.2.2. BIM en Colombia.....	34
5.3. Marco Legal.....	39
5.3.1. Estándares BIM en el Ámbito Internacional	39
5.3.2. Normas BIM en Colombia	44
5.4. Marco Teórico	55
5.4.1. ¿Qué es BIM?	56

5.4.2. Dimensiones BIM	62
5.4.3. Diseño y Construcción Virtual (VDC).....	65
5.4.4. Entrega Integrada de Proyectos (IPD).....	66
5.4.5. Niveles de Madurez BIM.....	68
5.4.6. Implementación BIM en el Sector AEC	72
5.4.7. Aplicaciones de BIM en la Fase de Preconstrucción	83
6. Alcances y Limitaciones	98
7. Metodología.....	100
7.1. Aspectos sobre la Investigación.....	100
7.1.1. Tipo	100
7.1.2. Población de Estudio.....	100
7.1.3. Muestra.....	100
7.1.4. Instrumentos.....	101
7.1.5. Divulgación.....	101
7.1.6. Evidencias.....	101
7.2. Diagnóstico sobre la Implementación de BIM Para la Fase de Preconstrucción en el Sector AEC en Colombia	103
7.3. Concepto de Expertos	104
7.4. Estrategia de Implementación BIM para la Fase de Preconstrucción en el sector AEC	107
7.4.1. Hoja de Ruta.....	113
7.4.2. Roles BIM en la Fase de Preconstrucción	121
7.4.3. Plan de Capacitación	124
7.4.4. Plan de Ejecución BIM (BEP) para la Fase de Preconstrucción	126
7.4.5. Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) para la Fase de Preconstrucción.....	134

8. Resultados Esperados	138
9. Conclusiones y Recomendaciones	140
9.1. Conclusiones	140
9.2. Recomendaciones	141
Lista de Referencias	144
Anexo 1	149
Anexo 2	184
Anexo 3	191
Anexo 4	196

Lista de Tablas

Tabla 1. Normas y/o proyectos BIM publicados por el subcomité ISO/TC 59/SC 13	40
Tabla 2. Normas BIM publicadas por el ICONTEC	52
Tabla 3. Estrategia metodológica para la implementación de BIM en la fase de preconstrucción.....	110
Tabla 4. Roles BIM para la fase de preconstrucción y sus funciones.....	122
Tabla 5. Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) para la fase de preconstrucción.....	134

Lista de Figuras

Figura 1. Comparativo entre el proceso de entrega de proyectos con base en CAD (2D) y entregas basadas en BIM	20
Figura 2. Vistas orientadas a la producción (POV)	21
Figura 3. Vistas orientadas a la producción (POV) con etiquetas 3D creadas en una escena de realidad virtual (VR)	22
Figura 4. Usos del modelo BIM para el Puente Randselva (Noruega)	24
Figura 5. Replanteo del proyecto con modelos BIM para el Puente Randselva (Noruega).....	24
Figura 6. Proyecto Torres del Atrio (Bogotá)	25
Figura 7. Proyecto Metro de Bogotá (Bogotá).....	26
Figura 8. Mapa de países con mandatos BIM	28
Figura 9. Localización de Colombia en el mundo.....	29
Figura 10. Cronología de la tecnología BIM	32
Figura 11. Nivel de implementación BIM a nivel global	34
Figura 12. Expectativas de implementación en empresas AEC sin BIM	37
Figura 13. Acciones tomadas para la implementación BIM en empresas AEC en Colombia	37
Figura 14. Pilares Estrategia Nacional BIM 2020 - 2026	48
Figura 15. Hoja de ruta Estrategia Nacional BIM 2020 - 2026.....	49
Figura 16. Aplicaciones de BIM a lo largo de la cadena de valor AEC.....	57
Figura 17. Curva MacLeamy – Esfuerzo vs. Tiempo. Proceso de diseño CAD vs. BIM	59
Figura 18. Actividades principales para el uso de BIM durante la fase de Diseño / Preconstrucción.....	62
Figura 19. Dimensiones BIM	64
Figura 20. Método IPD	68
Figura 21. Niveles de madurez BIM	72

Figura 22. Visualización de modelos BIM en obra mediante realidad aumentada	80
Figura 23. Diseño y modelado del sitio de obra con modelos BIM	85
Figura 24. Análisis de interferencias y detección de conflictos en modelos BIM	87
Figura 25. Secuenciación y programación de actividades con modelos BIM	89
Figura 26. Estimación de costos y presupuesto a partir de modelos BIM	91
Figura 27. Software para diseño de cimbras y encofrados	92
Figura 28. Simulaciones y análisis de rendimiento con modelos BIM	95
Figura 29. Coordinación y colaboración entre equipos con BIM	97
Figura 30. Estrategia de implementación BIM en la fase de preconstrucción	109
Figura 31. Implementación BIM en la fase de preconstrucción: Etapa de Inicio	114
Figura 32. Implementación BIM en la fase de preconstrucción: Etapa de Planificación	115
Figura 33. Implementación BIM en la fase de preconstrucción: Etapa de Ejecución	117
Figura 34. Implementación BIM en la fase de preconstrucción: Etapa de Control	119
Figura 35. Implementación BIM en la fase de preconstrucción: Etapa de Cierre	120

Introducción

Con la llegada del nuevo milenio, en Colombia, el sector de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC, por sus siglas en inglés) ha mostrado un vertiginoso crecimiento, convirtiéndose en un sector dinámico en términos de generación de empleo y desarrollo para el país. Esta tendencia sugiere que, debido a la demanda del mercado, los proyectos son cada vez más multidisciplinares y complejos; requieren ser completados en menor tiempo; están siempre sometidos a las exigencias y presión ejercidas por los clientes para acelerar la culminación de las obras, sin la debida anticipación y gestión de los problemas que a menudo ocurren durante la etapa de construcción.

Deficiencias comunes en los proyectos, tales como la falta de información y especificación, inconsistencias en la compatibilidad de los planos, interferencias no coordinadas, por nombrar algunas, ocasionan dificultades en la ejecución de las obras que se traducen en retrasos, sobrecostos y estrés del equipo de trabajo. Estos problemas están asociados a diversos factores, tales como la mala articulación entre las fases de diseño y construcción, procesos colaborativos deficientes, falta de procedimientos planificados y bien estructurados para el manejo de la información, planos e información insuficientes, entre otras situaciones de común ocurrencia durante el desarrollo de proyectos de construcción.

La metodología BIM muestra un gran potencial como alternativa de solución a la problemática mencionada, pero, al mismo tiempo, se presenta como un desafío frente a la coordinación de las diferentes disciplinas involucradas, asegurando la transición del sistema de trabajo CAD, realizado en 2D, con un bajo nivel tecnológico y de manera lineal, hacia un proceso integrado, sincrónico y cíclico. La implementación de esta metodología resulta ser una tecnología habilitante para la colaboración y coordinación de las distintas especialidades implicadas en un proyecto de construcción. La preconstrucción del proyecto bajo un ambiente digital, minimiza la ocurrencia de interferencias entre los diseños a través de la coordinación multidisciplinar, lo cual reduce significativamente los costos generados por los reprocesos comúnmente encontrados en una obra de construcción.

La implementación de esta tecnología al interior del sector AEC requiere la adaptación al entorno cambiante y evolutivo que presenta la industria 4.0, además del reaprendizaje de conocimientos y la participación colaborativa de todos los actores involucrados. En tal sentido, la adopción de BIM posibilita la alineación de los objetivos e intereses de clientes, contratistas, interventores, proveedores y compañías dentro de un mismo lenguaje que haga más eficiente y productivo los procesos de planificación, diseño, construcción y operación del activo.

De acuerdo con lo anterior, en el presente trabajo de grado se propone formular una estrategia metodológica de trabajo para integrar los procesos de diseño y construcción desarrollados por el sector AEC mediante una guía para el uso de BIM durante la fase de preconstrucción de proyectos de edificación. Para tal fin, en este documento se traza una hoja de ruta para la implementación de BIM al interior del sector AEC, adaptando los lineamientos establecidos en la norma ISO 19650 e incorporando las recomendaciones surtidas por CAMACOL mediante el BIM Kit para adelantar este proceso en el sector AEC en Colombia. Esta estrategia y guía BIM para la fase de preconstrucción se proponen como referentes para el sector AEC en el país, con el ánimo de proyectarla hacia el ámbito internacional.

En la presente tesis de grado se desarrolla, en primera instancia, la base conceptual sobre la cual se cimenta el BIM, analizando su desarrollo histórico, así como sus fundamentos normativos y conceptuales. Finalmente, se establece la metodología en la cual se propone una estrategia para la implementación BIM en el sector AEC, haciendo énfasis en la intervención de los procesos posteriores a la aprobación de los diseños por parte del cliente y previos a la ejecución de las tareas de construcción propiamente dichas.

1. Planteamiento del Problema

A nivel global, la industria de la construcción pierde significativas cantidades de tiempo y dinero en procesos que, de manera casi normal, resultan ser ineficientes y hasta improvisados durante todo el ciclo de vida de un proyecto arquitectónico o de ingeniería, haciéndose más evidentes durante la etapa de ejecución. Aún hoy en día, en la construcción de edificaciones se siguen aplicando procedimientos y técnicas tradicionalistas (haciendo referencia a profesionales y personal resistentes a la adopción de nuevas metodologías) que se acercan más a la práctica de labores manuales y artesanales, en contraposición con el acelerado desarrollo tecnológico experimentado durante los últimos 60 años en todas las áreas del conocimiento humano, de lo cual no es ajeno el sector AEC.

Estas nuevas tecnologías han llegado para automatizar y efficientizar las fases de diseño, planificación, ejecución y operación de proyectos constructivos. Quizás, uno de los acrónimos más empleados en la actualidad por arquitectos, ingenieros y constructores es BIM, o modelado de información para la construcción (por sus siglas en inglés). La implementación de esta metodología de trabajo al interior del sector AEC ha demostrado ser un instrumento para mejorar la colaboración entre los profesionales involucrados en los proyectos y anticipar problemas de constructibilidad aplicando diseño y construcción virtual (VDC, por sus siglas en inglés), así como mediante simulaciones 4D y 5D.

La gestión digital y colaborativa de proyectos, promovido por BIM, ha revolucionado la industria de la construcción alrededor del mundo, permitiendo un mejor desempeño y mayor productividad durante la concepción, materialización y operación de un activo. No obstante, el análisis de los beneficios del BIM (o la forma en que el sector AEC lo ha venido adoptando) muestra que el enfoque de esta metodología está más orientado a mejorar los procesos de diseño y planificación de los proyectos en términos de tiempo y costo, descuidando la incorporación de soluciones que permitan abordar de manera adecuada todo lo que sucede entre la aprobación de los diseños del proyecto y el inicio de las labores de construcción. Aunque, hoy en día, el mercado cuenta con una amplia variedad de

herramientas BIM para el control de obra, el personal a cargo todavía no cuenta con la capacitación necesaria para su gestión y, tal vez más importante aún, es la ausencia de un análisis previo sobre las condiciones del sitio de obra y demás aspectos a considerar dentro de una etapa que se puede denominar como “preconstrucción” o “logística del sitio de obra”.

En lo concerniente al proceso de diseño, arquitectos, ingenieros, modeladores y demás involucrados se han visto obligados a desarrollar competencias en conceptualización BIM y el manejo de herramientas digitales para la gestión de los proyectos. Sin embargo, una vez éstos son aprobados para adelantar su construcción, toda la planificación hecha durante la etapa de diseño se ve comprometida debido a la inexistencia de un procedimiento estructurado para, primero, planificar las condiciones en las que se desarrollará la obra y, posteriormente, controlar su ejecución.

En tal sentido, el presente trabajo busca plantear una estrategia metodológica para llevar a cabo la implementación BIM en el sector AEC, haciendo énfasis en la integración de la etapa de preconstrucción y tomando como referencia los lineamientos del estándar ISO 19650, norma internacional sobre la gestión de la información mediante la utilización de modelos digitales. Este proyecto investigativo está orientado a ofrecer alternativas de solución para una industria caracterizada por mantener vigentes técnicas y procedimientos tradicionales fuertemente arraigados y en donde se hace necesaria una transformación digital para la estandarización, optimización y automatización de sus procesos productivos, con el propósito de incrementar la competitividad de la actividad edificadora.

Dicho lo anterior, el presente proyecto de investigación se plantea dar respuesta a la pregunta:

¿Cuáles son las estrategias clave que las organizaciones del sector AEC en Colombia pueden emplear para garantizar la adopción e integración exitosas de BIM en la fase de preconstrucción?

2. Justificación

La industria de la construcción se caracteriza por ser una de las cadenas productivas en donde la penetración tecnológica ha sido más escasa, incluso menor que en el sector agropecuario. La actividad edificadora constituye un propulsor de la economía mundial, pero la creciente necesidad de hacerla más eficiente y productiva durante todas las etapas de un proyecto de construcción requiere el modelado digital de información para su gestión eficiente y acorde con los últimos avances tecnológicos. Es decir, la implementación de BIM.

Actualmente, BIM está ingresando de manera insoslayable en la industria edificadora y, aunque el sector AEC en Colombia ya se encuentra en un proceso de reconocimiento y adaptación a la metodología, BIM todavía no se desarrolla integralmente debido a la falta de alineación de todos los *stakeholders* o partes interesadas en el proyecto: cliente, profesionales, contratista/constructor, proveedores y gobierno, quienes aún no operan bajo un lenguaje unificado y estandarizado en cuanto a la planeación, diseño, ejecución y operación de un activo construido. Además, aún predomina la carencia de profesionales bien calificados, capaces de coordinar eficientemente los procesos, los flujos de trabajo, el personal, los activos y la tecnología que requiere la adopción de BIM.

La metodología BIM fomenta la participación activa de todos los partícipes del proyecto en términos de dedicación y esfuerzo desde las fases más tempranas del proyecto. De esta manera, BIM busca abordar cualquier modificación necesaria de manera efectiva y con el menor costo, evitando trasladar los problemas a la obra de construcción, donde los retrasos y sobrecostos son mucho mayores. A pesar de sus innegables ventajas, la implementación de BIM en el sector de la construcción no ha logrado, aún, incorporar de manera efectiva la realidad que se presenta en los sitios de obra: se enfrentan retos para realizar análisis detallados de las condiciones del lugar y la planificación logística necesaria para el desarrollo normal y eficiente de los proyectos. Por tales razones, el potencial que BIM puede aportar en la industria de la construcción se está aprovechando de manera parcial.

En la actualidad, el desarrollo de un país y el nivel de madurez alcanzado en términos de implementación BIM están directamente correlacionados. De hecho, muchos gobiernos se encuentran adoptando la digitalización dentro de las regulaciones para los procesos de licitación, licenciamiento y construcción. En tal sentido, Latinoamérica presenta un nivel de implementación BIM menor en comparación con los países desarrollados, pues mientras los segundos ya tienen normativas vigentes para la estandarización y regulación de la metodología, los primeros recién se encuentran adelantando la etapa de planeación de estas reglamentaciones.

Con el fin de estimar los niveles de implementación, el Banco Interamericano de Desarrollo realizó una encuesta a 846 empresas de construcción de todo el continente, y encontró que BIM es utilizado, principalmente, por empresas con experiencia superior a los 12 años en diseño y construcción de edificios e interiores. También, descubrió que el 40.9% de las firmas que utilizan esta metodología llevaban menos de dos años de adopción, remarcando la prematuridad del asunto (Lacaze, 2021, p. 12). Este análisis concluyó que, si bien la metodología es vista de manera positiva por la mayor parte del sector AEC, todavía existen motivos suficientes para decidir no implementarla, dentro de los cuales se cuentan la poca demanda por parte de los clientes, la inversión económica necesaria y la dificultad para hallar personal capacitado, entre otros.

En Colombia, la adopción total de BIM por parte del sector AEC aún se encuentra distante. No obstante, resulta fundamental impulsar la normalización de su uso y concientizar acerca de sus beneficios con el propósito de mejorar la eficiencia y la productividad en esta actividad. BIM ha sido determinante en la transformación digital del sector AEC, permitiendo la colaboración multidisciplinar y la gestión de datos e información en todas las etapas de un proyecto de construcción. Esta metodología se apalanca en conceptos surgidos con el arribo de la revolución industrial inteligente, o Industria 4.0, tales como el manejo de la información, gemelos digitales, diseño generativo, construcción virtual, prefabricación, realidad aumentada, inteligencia artificial, entre otros.

En la construcción de edificaciones, es esencial cumplir con los objetivos de tiempo, costo y calidad planteados para el proyecto, lo cual requiere considerar todas las variables inherentes al proceso constructivo, dentro de las cuales se encuentran los aspectos relacionados con la preconstrucción y la logística del sitio de obra. La metodología BIM simplifica la interacción entre los promotores y los profesionales de diversas disciplinas involucradas en el proceso, con el fin último de optimizar la materialización del proyecto de construcción y su posterior operación. Las innegables ventajas de BIM demuestran la imperiosa necesidad que hoy tiene el sector AEC de adoptar las nuevas tecnologías germinadas a partir del desarrollo de BIM, así como de alinearse con los requerimientos de eficiencia, eficacia y consistencia en los procesos de construcción que plantea la transformación digital del sector y el contexto económico mundial.

Por tales razones, el presente proyecto investigativo se propone integrar la metodología BIM en los procesos de ejecución de las obras mediante la formulación de una estrategia metodológica para la implementación de procesos BIM en la fase de preconstrucción, replicable y escalable en todo el sector AEC, con el propósito de minimizar las insuficiencias presentadas durante la etapa del diseño y controlar de manera más efectiva el costo y el tiempo durante la ejecución del proyecto. Esta propuesta resulta pertinente para crear conciencia en los profesionales del sector AEC sobre la importancia de priorizar una adecuada logística de preconstrucción para los proyectos con base en los lineamientos que plantea la metodología BIM. Además, para el autor, esta investigación es una oportunidad para aplicar los conocimientos adquiridos durante el programa de construcción en arquitectura e ingeniería sobre la gestión de proyectos de construcción, profundizando en lo concerniente a la preconstrucción de edificaciones mediante el uso de BIM.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Formular una estrategia metodológica para la implementación de BIM, mediante la cual se articularán personas y tecnologías informáticas para la gestión de la fase de preconstrucción de edificaciones por parte del sector AEC en Colombia.

3.2. Objetivos Específicos

1. Describir los elementos de la metodología BIM aplicables en la fase de preconstrucción de edificaciones por parte del sector AEC en Colombia
2. Determinar la estrategia y la hoja de ruta para la implementación de tecnologías BIM en el sector AEC en Colombia, para el mejoramiento de los procesos de diseño de proyectos y su integración efectiva con el sitio de obra en la fase de preconstrucción.
3. Formular los indicadores para la medición y evaluación de los procesos relacionados con la fase de preconstrucción en proyectos de edificación a la luz de los fundamentos de la metodología BIM.
4. Elaborar una guía BIM para la fase de preconstrucción de edificaciones por parte del sector AEC en Colombia, como herramienta de articulación entre las etapas de diseño y de ejecución de proyectos de construcción.

4. Antecedentes

BIM es una tecnología innovadora que viene transformando la forma en que se entregan los proyectos de construcción alrededor del mundo. Esta tecnología se ha implementado ya con diferentes niveles de éxito dentro del sector AEC, lo que ha dado lugar a progresos significativos en la entrega y la calidad de los activos. A continuación, se revisan algunos casos de estudio, de índole global y local, en los que se adoptó BIM para la gestión de proyectos de construcción.

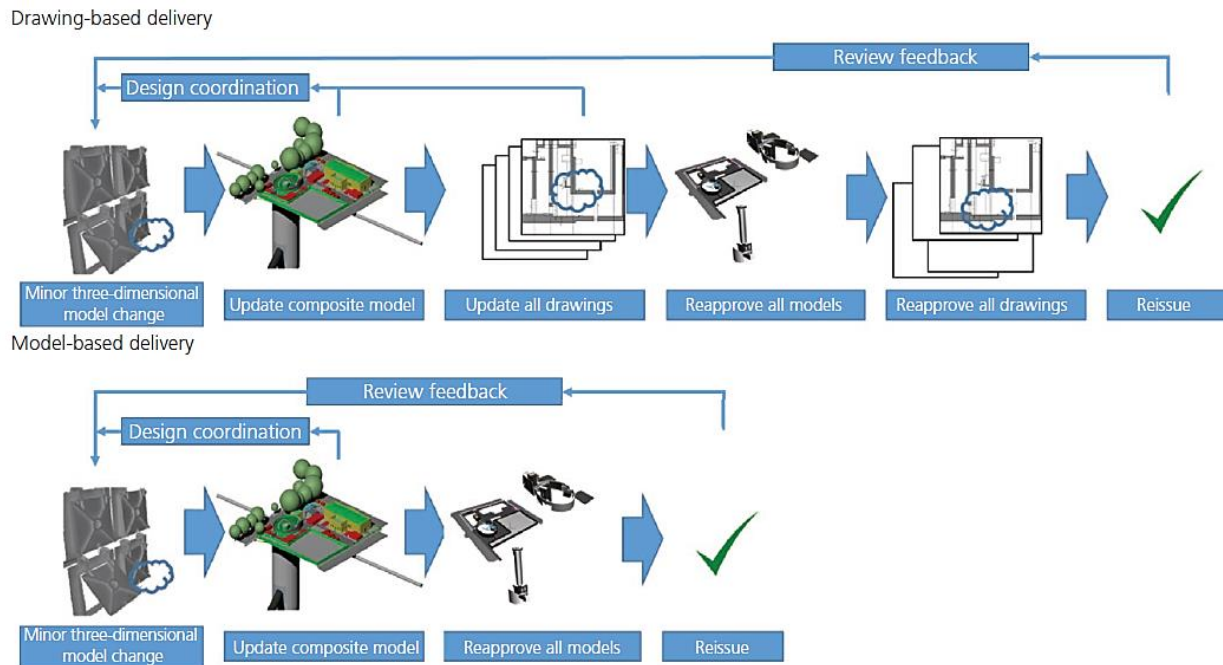
4.1. Proyecto Thames Tideway Tunnel (Londres)

Ha habido algunos intentos anteriores de impulsar la implementación completa de BIM en la etapa de construcción de un proyecto. En el proyecto Thames Tideway Tunnel, en 2017, para la construcción de un Súper Alcantarillado de 25 km bajo el río Támesis para interceptar derrames y limpiar sus aguas, aspiraban a eliminar los dibujos en 2D y que todas las partes interesadas se centraran en una única fuente de verdad para el diseño, el modelo BIM (Gaunt, 2017, p. 50). Consideraron que enfocar la entrega de modelos 3D era mucho más eficiente que producir planimetría, pero de todos modos se produjeron, ya que eran los documentos para la legalización de la construcción. Por lo tanto, la implementación de BIM se limitó a la fase de diseño. Los ahorros obtenidos al implementar BIM en la etapa de diseño fueron menores frente al potencial ofrecido para la etapa de construcción. Sin embargo, el diseño de las Puertas 2 y 3 del proyecto demostró un ahorro del 32% en el cronograma de diseño, gracias a la eliminación de la producción de planos (Gaunt, 2017, p. 56). Se concluyó que los niveles de competencia, el compromiso y el software deben mejorar para que se produzca un enfoque BIM más holístico. Aunque el uso de BIM en este proyecto generó ahorros en la etapa de diseño, se requirieron esfuerzos y gastos adicionales para producir los planos de construcción en paralelo, limitando los beneficios potenciales y el valor de BIM. A continuación, la Figura 1 muestra la reducción significativa en el proceso de modificación de los diseños al adoptar modelos 3D como herramienta

principal de las revisiones de diseño, la cual se centra en la eliminación de la actualización manual de planos por parte de los usuarios.

Figura 1

Comparativo entre el proceso de entrega de proyectos con base en CAD (2D) y entregas basadas en BIM



Nota: Tomado de "BIM Model-based Design Delivery: Tideway East, England, UK" [Entrega de Diseños con Base en Modelos BIM: Tideway East, England, UK], por Gaunt, 2017, <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/jsmic.17.00011>

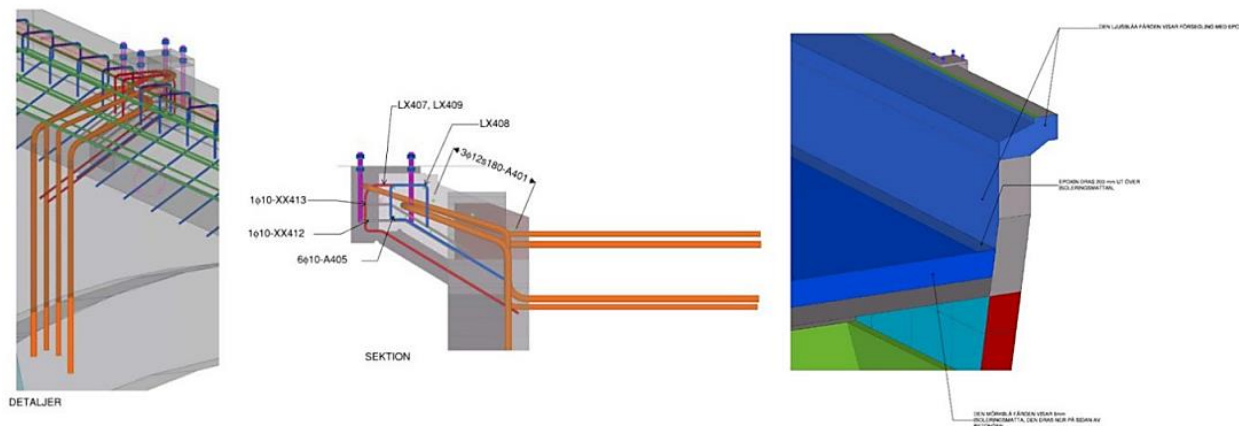
4.2. Proyecto Puente Røfors (Suecia)

En 2013, el proyecto para el Puente Røfors, en Suecia, se realizó sin utilizar dibujos tradicionales. Únicamente se empleó el modelo 3D durante su ejecución sin la impresión de planos en papel. El propósito principal del uso de BIM en este proyecto, era utilizar el modelo digital creado para generar la información en el sitio de obra, de importancia fundamental para el desarrollo del proyecto: exportación de cantidades a software de cálculo de caja; planificación del sitio con el modelo; refuerzo 3D,

incluyendo especificaciones; programación y control de tiempos; preparación de tareas de trabajo; planificación: compras y entregas; planificación: presupuesto y flujo de caja.

Figura 2

Vistas orientadas a la producción (POV)



Nota: Tomado de “BIM and Virtual Reality (VR) at the Construction Site” [BIM y Realidad Virtual (VR) en el Sitio de Obra], por Johansson, et al., 2019,

https://www.researchgate.net/publication/340088309_BIM_and_Virtual_Reality_VR_at_the_construction_site

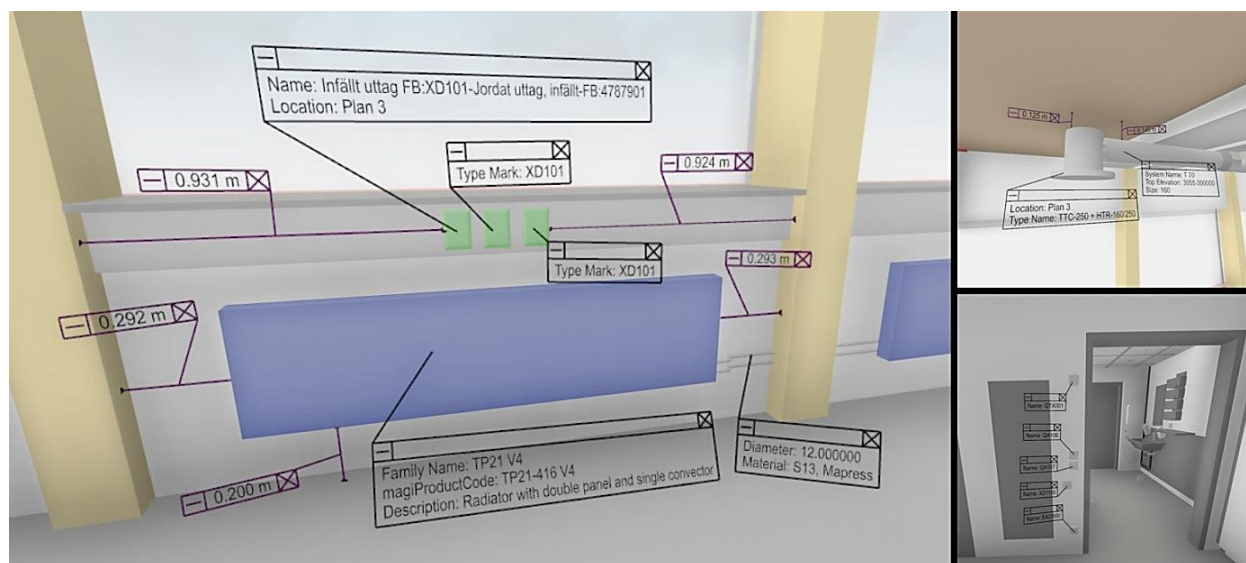
Según Johansson y Roupé (2019, p. 1), se establecieron acuerdos que otorgaron al estándar BIM el mismo estatus legal que las especificaciones de construcción, situándolas por encima de los “planos”, según las Condiciones Generales de Contratación. El modelo fue accesible en el sitio a través de tabletas digitales y la inmersión en un sistema de realidad virtual (VR). Sin embargo, debido a las limitaciones del software visualizador (BIM-viewer) en ese momento, los trabajadores del sitio no pudieron extraer medidas precisas e información específica del modelo. Para resolver este problema, el proyecto contó con un ingeniero estructural en el sitio para crear vistas orientadas a la producción (POV) a partir del modelo en consulta con los trabajadores de la construcción (Figura 2).

Las vistas contenían medidas, dimensiones, secciones, información de objetos y estaban codificadas por colores, pero solo eran capturas de pantalla tomadas del modelo BIM y no ofrecían

ninguna interacción. Estas vistas se cargaron en un repositorio de modelos compartido al que se podía acceder mediante tabletas para continuar el desarrollo del proyecto. Si bien era un concepto innovador en ese momento, la creación de los puntos de vista requería recursos adicionales y los trabajadores de obra no podían extraer la información del modelo por sí mismos. Por lo tanto, se impusieron exigencias adicionales a la organización del proyecto. Por ejemplo, para crear y controlar completamente la disposición de la información para las vistas orientadas a la producción, se implementó un concepto denominado Etiquetas 3D (Figura 3). Al seleccionar las propiedades del objeto o realizar mediciones, una etiqueta 3D que contiene la información se coloca automáticamente en la escena 3D.

Figura 3

Vistas orientadas a la producción (POV) con etiquetas 3D creadas en una escena de realidad virtual (VR)



Nota: Tomado de “BIM and Virtual Reality (VR) at the Construction Site” [BIM y Realidad Virtual (VR) en el Sitio de Obra], por Johansson, et al., 2019,

https://www.researchgate.net/publication/340088309_BIM_and_Virtual_Reality_VR_at_the_construction_site

El proyecto Randselva Bridge, en Noruega, fue un reciente ganador de los premios Tekla Global BIM 2020 al mejor proyecto BIM. Fue construido completamente sin planos, donde los modelos IFC se

utilizaron predominantemente para la construcción y es el puente más largo construido sin planos hasta la fecha. Según Ulvestad y Vieira (2021), las principales razones para trabajar con BIM y el diseño “sin dibujos” fueron facilitar la comprensión sobre el alcance del trabajo, resolver conflictos entre disciplinas, realizar diseño paramétrico, colaboración sin fronteras, facilitar el proceso de adquisición de materiales y prepararse para una mayor automatización en el futuro (p. 10).

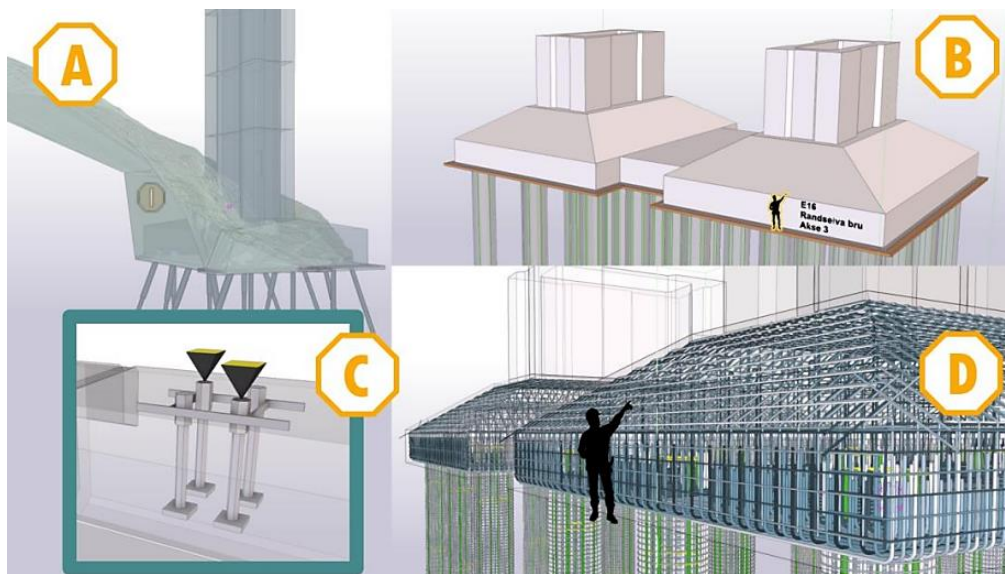
El software Tekla, especializado en estructuras, fue empleado para modelar las barras de refuerzo y se ordenaron directamente desde el modelo, lo que eliminó la necesidad de programaciones de doblado de barras hechas manualmente. Al principio del proyecto, la planificación se centró en definir para qué y quién usaría el modelo, además de delimitar la información que necesitarían extraer de él (Uvestad y Vieira, 2021, pp. 11-12). Con este fin, se definieron cuatro usos principales para el desarrollo del modelo BIM durante la etapa de construcción (Figura 4 y Figura 5):

- A. Movimiento de tierras y relleno.
- B. Construcción de andamios | Topografía.
- C. Producción y colocación de productos de terceros.
- D. Instalación de refuerzo (y postensado).

El objetivo final era generar un modelo construido (as-built) que se pudiera utilizar como un gemelo digital. El proyecto demostró que era posible realizar proyectos de esta manera, y que, incluso, puede ser el método preferido en el futuro para proyectos grandes y complejos. A pesar de esto, aún se presentaron desafíos de software. En aquel momento, Solibri, software para la coordinación de modelos 3D, no tenía su propia solución en la nube y era difícil asignar datos a la geometría a través de anotaciones simples utilizando los visores BIM disponibles. No obstante, la implementación de BIM en este proyecto demostró la necesidad de depurar la información contenida en los modelos y las dificultades ocasionadas por el clima en el uso de dispositivos electrónicos en obra.

Figura 4

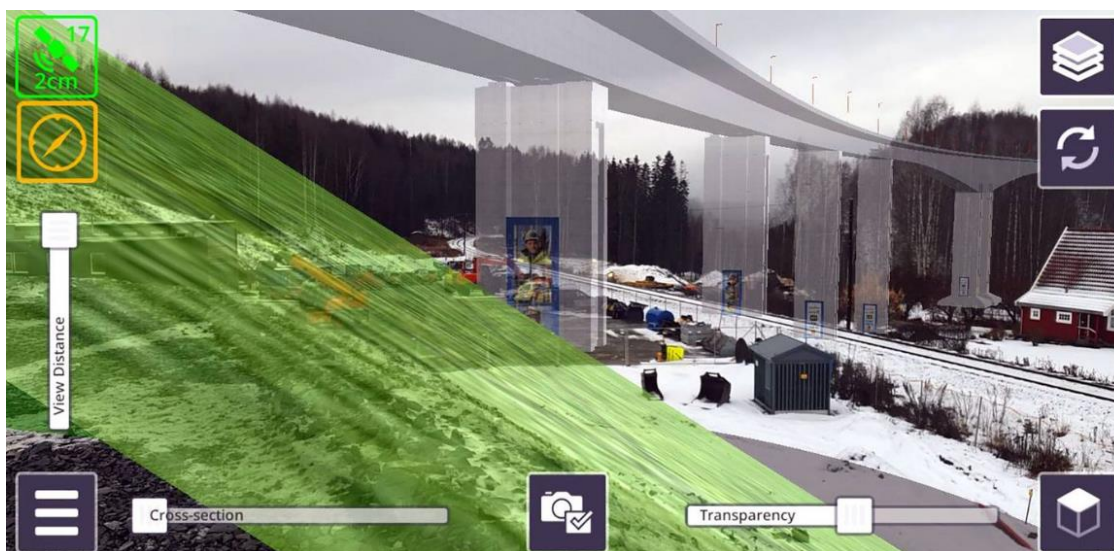
Usos del modelo BIM para el Puente Randselva (Noruega)



Nota: Tomado de “Randselva Bridge: Planning and Building a 634m Long Bridge Solely Based on BIM Models”, por Ulvestad et al., 2021, <https://e-mosty.cz/wp-content/uploads/e-mosty-Sept21.pdf>

Figura 5

Replanteo del proyecto con modelos BIM para el Puente Randselva (Noruega)



Nota: Tomado de “Randselva Bridge”, por Porr Group, 2023, <https://porr-group.com/en/projects/randselva-bridge/>

4.3. Torres Atrio (Bogotá)

Este proyecto, del Grupo QBO y ARPRO, representa un claro ejemplo del uso de BIM en Colombia. Múltiples agentes se involucraron en el proyecto, entre los que se encontraban arquitectos e ingenieros localizados en diferentes partes del mundo, lo cual hubiera supuesto una dificultad para el cumplimiento de los plazos establecidos sin el uso de herramientas colaborativas de diseño como, por ejemplo, Revit, considerado uno de los principales softwares asociados a la metodología BIM.

Cabe destacar que la Torre Atrio busca obtener la certificación LEED Gold, la cual respalda su carácter de edificación eficiente energéticamente y ambientalmente sostenible. Además, se trata de la primera construcción en Colombia que se ha valido del sistema de construcción de alta complejidad SRC (Concreto Reforzado con Acero, por sus siglas en inglés) (Structuralia, 2022).

Figura 6

Proyecto Torres del Atrio (Bogotá)



Nota: Tomado de “El Panorama BIM en Colombia”, por Structuralia, 2022,

<https://blog.structuralia.com/bim-colombia>

4.4. Línea 1 Metro de Bogotá (Bogotá)

La construcción de la Primera Línea del Metro de Bogotá (PLMB) representa la materialización del primer sistema de metro en la capital de Colombia. Este proyecto comprende 19 estaciones a lo

largo de 24 km, comenzando en Carrera 94 y finalizando en Calle 100. Para su diseño, se realizaron diversas simulaciones computacionales, con el objetivo de analizar los distintos parámetros de operatividad y posibles inconvenientes asociados con la ejecución de una obra de esta magnitud en una de las urbes con más problemas de movilidad del mundo.

Gracias a las simulaciones realizadas, se determinó que la mejor solución para la PLMB era un metro superficial, a una altura de casi 14 metros, en lugar de un metro subterráneo, común para este tipo de sistemas de transporte. Esta solución, si bien controversial, supone un ahorro presupuestario del 28% y reduce el tiempo de ejecución en 24 meses. Estas conclusiones fueron posibles gracias al uso de BIM durante la etapa de desarrollo del proyecto, en la que se integraron más de 170 modelos de diseño interdisciplinarios que abarcan los 24 km que componen la fase inicial del proyecto (Structuralia, 2022). Este proyecto ya se encuentra en ejecución, pero no se logró hallar información con respecto al uso de BIM durante la preconstrucción o las tareas de construcción propiamente dichas. A continuación, la Figura 7 muestra una imagen fotorealística de una de las estaciones que conforman el proyecto.

Figura 7

Proyecto Metro de Bogotá (Bogotá)



Nota: Tomado de “El Panorama BIM en Colombia”, por Structuralia, 2022,

<https://blog.structuralia.com/bim-colombia>

En general, los anteriores referentes muestran que la implementación de tecnología (software, interoperabilidad y estandarización) puede ser un factor limitante en el impulso hacia el uso de BIM en todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción, ya que se requiere adoptar métodos de trabajo adicionales. Otros obstáculos identificados son la calidad de los modelos, la educación en el sitio de obra, el soporte técnico y la facilidad de uso del software (Sundquist, Leto, Gustafsson, Johansson, & Roupe, 2020). También existen aspectos contractuales por definir, tales como quién controla la entrada de datos en el modelo, quién es responsable de las imprecisiones y de mantener el modelo BIM actualizado, problemas de licenciamiento, propiedad del modelo y costos de software. Este costo, a menudo, constituye una razón para el uso limitado de BIM en proyectos, específicamente, por su alto costo y las dificultades para capacitar a los trabajadores en el uso de estas nuevas tecnologías.

Por ejemplo, la falta de capacitación de los trabajadores para tomar medidas directamente desde el software BIM en el sitio ha sido uno de los problemas centrales de su uso, lo que resulta en una forma de trabajo mixta (digital y en papel). La construcción con BIM puede llegar a eliminar el uso de planos impresos en obra, que son costosos, requieren gran esfuerzo para producir, imprimir, conservar y actualizar, sumado al riesgo de estar consultando documentos incorrectos o desactualizados.

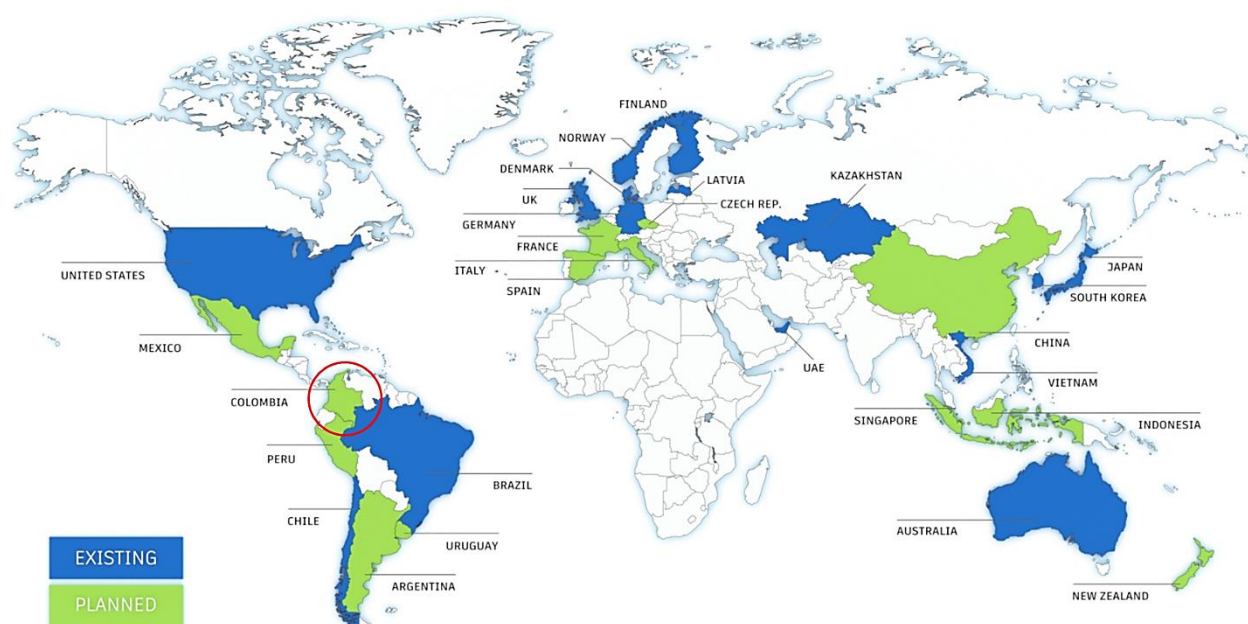
5. Marco Referencial

5.1. Marco Geográfico

El crecimiento exponencial de la población mundial, proyectado por la ONU para las próximas décadas, y la consecuente necesidad de vivienda e infraestructura, ha llevado a la industria AEC global a encontrar enfoques más sofisticados y eficientes para el diseño y la construcción. Además de satisfacer las necesidades de los usuarios, mediante la creación de espacios más inteligentes y perdurables, estas iniciativas buscan incrementar la productividad y rentabilidad del sector AEC, con la adopción de herramientas tecnológicas para el mejoramiento de los procesos de diseño, construcción y operación de activos. En este contexto, los requerimientos y normativas relacionadas con BIM están experimentando un incremento significativo a nivel mundial (ver Figura 8).

Figura 8

Mapa de países con mandatos BIM



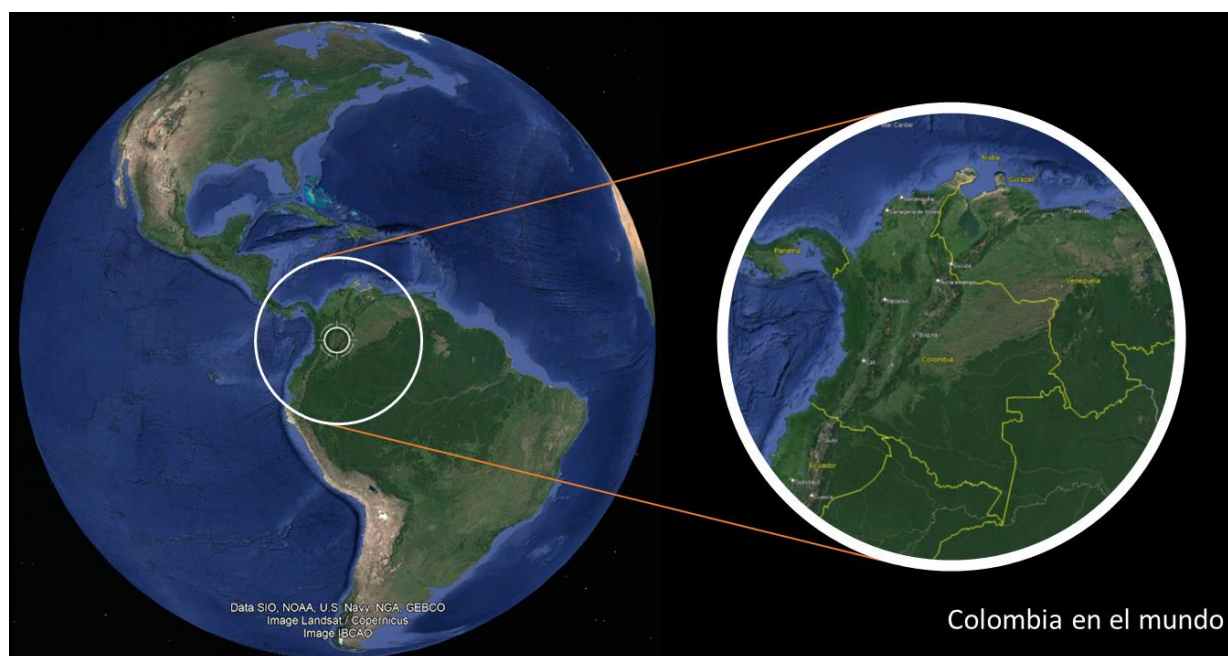
Nota: Adaptado de What are the Benefits of Bim? [¿Cuáles son los Beneficios de BIM?], por Autodesk (2023). <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/bim/images/world-map-r1-white-1920x1000.png>.

En el contexto del sector AEC en Colombia, se ha evidenciado un incremento en la incorporación de BIM en la ejecución de proyectos, especialmente en aquellos de carácter gubernamental y de gran envergadura en infraestructura. No obstante, aún existe un camino por recorrer en términos de establecer estándares y difundir su utilización en proyectos de vivienda y edificación en general. La adopción de BIM se ha fomentado en los últimos años a través de la implementación de normas técnicas, entre las cuales destaca la NTC-ISO 19650. Esta norma establece los principios y requisitos para la gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de edificios y otras estructuras. Además, en el país se han llevado a cabo diversas iniciativas para la formación y capacitación en BIM mediante programas educativos y eventos especializados.

El presente trabajo sobre implementación de metodología BIM al interior del sector AEC se desarrolla dentro del ámbito colombiano. El marco geográfico se define a nivel nacional, pues la implementación de BIM en el país no está limitada a una región específica (ver Figura 9).

Figura 9

Localización de Colombia en el mundo



Nota: Adaptado de Google Earth.

5.2. Marco Histórico

5.2.1. BIM en el Ámbito Internacional

El uso del BIM se ha difundido de significativamente durante los últimos años, pero su historia se remonta a las décadas de 1960 y 1970, cuando se comenzaron a desarrollar los primeros sistemas de modelado 3D. Las semillas de BIM se sembraron cuando la industria de la construcción comenzó a utilizar software de diseño asistido por computadora (CAD) para generar dibujos 2D de edificios. En las décadas de 1980 y 1990, la tecnología BIM comenzó a evolucionar rápidamente. La introducción de capacidades de modelado 3D y la capacidad de intercambiar datos entre diferentes plataformas hizo que BIM fuera más práctico para su uso en proyectos de construcción del mundo real. El primer software BIM disponible en el mercado, ArchiCAD, fue lanzado en 1984 (Graphisoft, 2023, prr. 3). Sin embargo, no fue hasta finales de la década de 1990 que se acuñó el término "Modelado de información de construcción" y el concepto comenzó a ganar un amplio reconocimiento en el sector AEC.

En 1998, el Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción (NIBS, por sus siglas en inglés) estableció el Comité para el Estándar BIM Nacional, que desarrolló un estándar para el modelado de la información para la construcción en Estados Unidos. Al año siguiente, Autodesk, uno de los principales fabricantes de software para modelado 3D, presentó Autodesk Revit, un programa de software BIM que permitió a los usuarios crear un modelo digital único y completo de un edificio, que podría usarse para diseñar, construir y operar activos. A principios de la década de 2000, otros proveedores de software comenzaron a desarrollar sus propios programas BIM y su uso comenzó a extenderse rápidamente al interior del sector de la construcción. Otros proveedores de software, tales como Graphisoft y Bentley Systems, también lanzaron al mercado sus propias soluciones para el modelado 3D de edificaciones e infraestructura (Wierzbicki, et al., 2011). La Figura 10 muestra la cronología sobre la aparición de algunas de las herramientas BIM más empleadas en el sector AEC y sus correspondientes proveedores.

BIM, en términos de implementación, se ha adoptado a diferentes ritmos en diferentes países del mundo, los cuales se encargaron de realizar investigaciones y redactar directrices con el fin de crear su propia guía de implementación BIM.

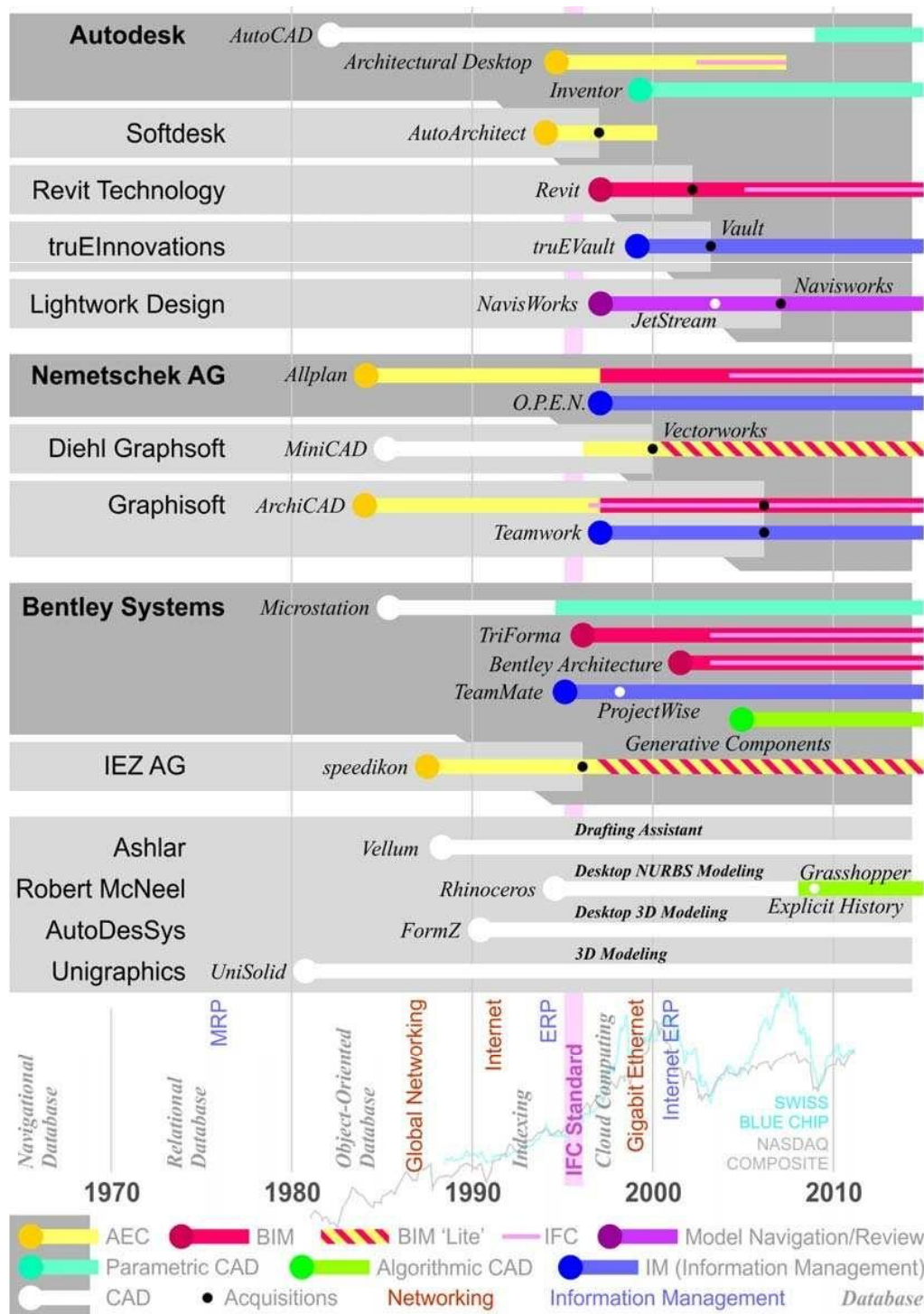
En tal sentido, América del Norte es el continente más avanzado con respecto a la adopción de BIM, seguido por Oceanía y Europa, cuya mayoría de países tienen un alto nivel de desarrollo. África y Suramérica, por su parte, se catalogan como early adopters (implementadores prematuros) de la metodología, mostrando que los países que conforman estos continentes muestran un nivel de adopción insuficiente y, por lo tanto, no han entrado en la discusión de manera definitiva (Jung et al., 2015, p. 513).

Nueva Zelanda fue uno de los países que más rápido comenzó a investigar sobre la metodología BIM (año 2014) y así creó el BIM Handbook, para fomentar el uso de BIM en el diseño, mantenimiento y operación de activos constructivos de calidad en este país. Además, se encarga de seguir la progresión normal de un proyecto, desde la prefactibilidad hasta la operación, considerando sus implicaciones legales, explorando los requisitos del cliente y regulando la práctica de modelado y documentación mediante la creación del Plan de Ejecución BIM (BEP, por sus siglas en inglés). El mismo año, Australia, mediante su Guía Nacional del BIM, se encargó de facilitar la implementación BIM, mediante capítulos más enfocados en la implementación que en la metodología en sí.

En Estados Unidos muchas universidades han realizado sus propios estándares, basados en el Estándar Nacional BIM de su país, y entre tales se encuentran Georgia Tech y Penn State University que son referencia mundial. Se encontró que ambas universidades cuentan con lineamientos muy concretos y apropiados para facilitar la implementación de la metodología, recomendando desde la conformación de equipos hasta el desarrollo de entregables.

Figura 10

Cronología de la tecnología BIM



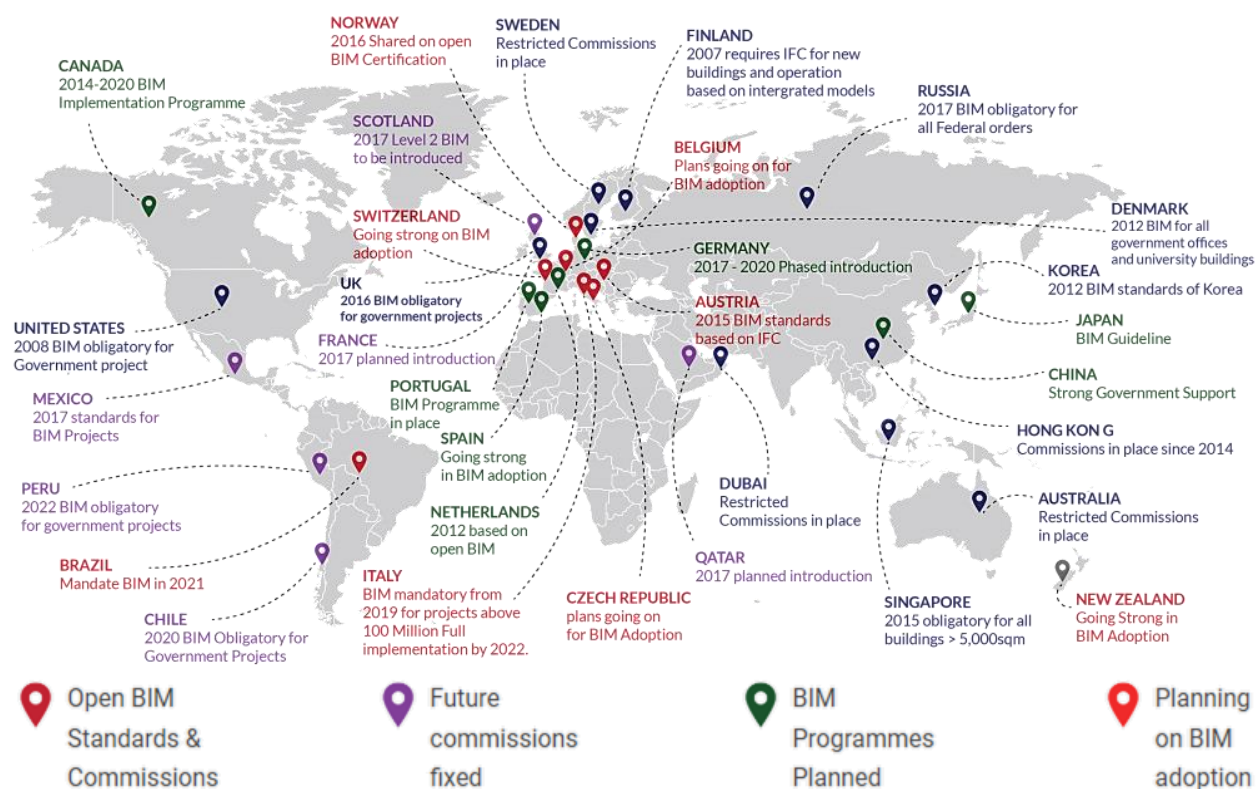
Nota: Tomado de BIM–History and Trends [BIM-Historia y Tendencias], por Wierzbicki, et al. (2011).

https://www.researchgate.net/publication/259390230_BIM_-_History_and_Trends

En el ámbito latinoamericano, Chile fue uno de los países pioneros en la implementación de BIM, cuando, en 2015, comenzó a generar discusiones con el sector constructor mediante un BIM Fórum, con el fin de establecer las directrices para la implementación BIM. Este foro tiene como propósito “canalizar las inquietudes técnicas, el conocimiento y la información relacionados con BIM [...] y fomentando las buenas prácticas para el desarrollo tecnológico en el sector de la construcción” (BIM Fórum Chile, 2022). A partir de los consensos encontrados en el foro, se creó la Guía Inicial para Implementar BIM en las Organizaciones, enfocada hacia la comprensión de BIM y sus beneficios.

En 2018, la Organización Internacional de Normalización (ISO, por sus siglas en inglés) anunció la publicación de la ISO 19650. Este estándar proporciona pautas para el empleo de BIM en proyectos de construcción, definiendo procesos y procedimientos para la gestión de esta metodología. ISO 19650 está diseñado para ser utilizado por todas las partes involucradas en una construcción, incluidos arquitectos, ingenieros, contratistas y propietarios. La norma, dividida en cinco partes, abarca todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción, desde la fase de diseño hasta la operación y mantenimiento del edificio terminado (BIM Fórum Chile, 2019, pp. 1-2). La adopción de ISO 19650 ha sido lenta pero constante. Muchos países han comenzado a adoptar el estándar, incluidos el Reino Unido, Australia y Singapur. En Colombia, para el año 2021 las cinco partes de la norma fueron traducidas y contextualizadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) a través de la serie NTC-ISO 19650, facilitando la adopción de este estándar internacional BIM en el sector de la construcción nacional.

En resumen, una vez acuñado el término "Modelado de Información de Construcción", a finales del Siglo XX, el concepto comenzó a ser reconocido en muchos países del mundo, incluido Colombia. Desde entonces, BIM no ha dejado de evolucionar, convirtiéndose en una herramienta imprescindible para la actividad edificadora. A continuación, la Figura 11 ilustra el estado actual del nivel de desarrollo BIM en todo el mundo para el año 2021.

Figura 11*Nivel de implementación BIM a nivel global*

Nota: Tomado de BIM Implementation, por Tecture (2021).

<https://techturglobal.com/blog/portfolio/bim-management-implementation/>

5.2.2. BIM en Colombia

En Colombia, el uso de BIM aún se encuentra en sus primeras etapas, pero está ganando notoriedad rápidamente. Si bien el uso de esta metodología en por parte del sector AEC en Colombia no se ha extendido como en otras latitudes, el país ha avanzado significativamente en su adopción. BIM ha estado presente en Colombia desde la década de 1990, pero su uso se limitó a proyectos grandes y complejos debido al alto costo de la tecnología y la experiencia requerida. A principios de la década de 2000, se introdujeron los primeros programas de software BIM en el país. En 2005, el gobierno colombiano comenzó a promover el uso de BIM en la industria constructora. El gobierno reconoció que

BIM podría ayudar a reducir los costos de construcción, mejorar la calidad y aumentar la eficiencia. En 2007, el Gobierno Nacional lanzó la política de vivienda gratuita para las personas más pobres del país, lo que generó una mayor demanda por construcciones rápidas y de alta calidad. En este contexto, el uso de BIM se convirtió en una herramienta clave para mejorar las condiciones de las construcciones.

A partir de ese momento, esta metodología también fue impulsada por el sector privado, con grandes constructoras que comenzaron a implementar BIM en sus proyectos. Una de las primeras empresas en usar BIM fue la constructora Conconcreto, que empezó a utilizarla en 2009 para el desarrollo de varios proyectos de construcción de edificaciones de gran altura en la ciudad de Medellín. Desde entonces, otras empresas como Grupo Argos, Sacyr, Cemex y Constructora Bolívar también han adoptado BIM para sus proyectos, invirtiendo en tecnología BIM y capacitando a sus empleados en su uso. En los últimos años, el uso de BIM en Colombia ha seguido creciendo, con más empresas y profesionales de la construcción adoptando esta tecnología.

En 2012, el gobierno colombiano presentó el Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, el cual estableció la necesidad de incrementar la productividad y competitividad de la industria de la construcción. Como parte del citado Plan, se amplió la cobertura del Fondo Nacional de Formación Profesional de la Industria de la Construcción (FIC), mediante el cual se busca fortalecer las competencias de los trabajadores del sector en regiones con baja capacidad de obra en Colombia (Departamento Nacional de Planeación – DNP, 2011).

En 2013, se implementó una política por parte del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio para fomentar el uso de BIM en el sector de la construcción en Colombia. El objetivo principal de esta política fue impulsar la utilización de BIM en la edificación de viviendas, infraestructuras y equipamientos. Para alcanzar este propósito, se pusieron en marcha diversas iniciativas destinadas a incentivar la adopción de BIM. Algunas de estas medidas fueron la creación de cursos de capacitación, la elaboración de guías técnicas y la promoción de proyectos piloto.

Si bien Chile fue uno de los pioneros en implementar BIM en Latinoamérica, países como Colombia partieron de los avances de la región para desarrollar sus propios foros y estándares. La Cámara Colombiana de Construcción (CAMACOL), asociación gremial sin ánimo de lucro de la construcción en el país, a partir del estudio *Reinventing Construction* realizado por McKinsey & Co. en 2017, en donde se mostró que el sector de la construcción tiene una de las tasas más bajas de crecimiento de la productividad y uno de los menores índices de digitalización en el sector, adoptó BIM como una metodología altamente efectiva para impulsar la transformación digital y mejorar la productividad del sector constructivo (CAMACOL, 2020c).

Según estudios preliminares realizados por CAMACOL en 2019, se estimó que alrededor del 45% de las empresas constructoras colombianas, que aún no habían utilizado BIM en sus proyectos, estaban evaluando activamente su adopción; un 22% se abría a explorar su potencial; otro 22% cree en el valor que esta tecnología aporta a sus empresas, pero aún no han evaluado su implementación; y el restante 11% no contaba aún con el conocimiento suficiente para evaluar su implementación (Figura 12). En este mismo estudio, se consultó a las empresas constructoras que ya venían usando BIM sobre las acciones tomadas para la implementación de esta metodología en sus organizaciones, dando como resultado que un 63% de estas empresas habían adoptado BIM mediante iniciativas de autoaprendizaje, demostrando la falta de acceso a información consolidada y estandarizada con respecto al modo en que las empresas deben abordar sus procesos de implementación BIM (Figura 13).

Figura 12

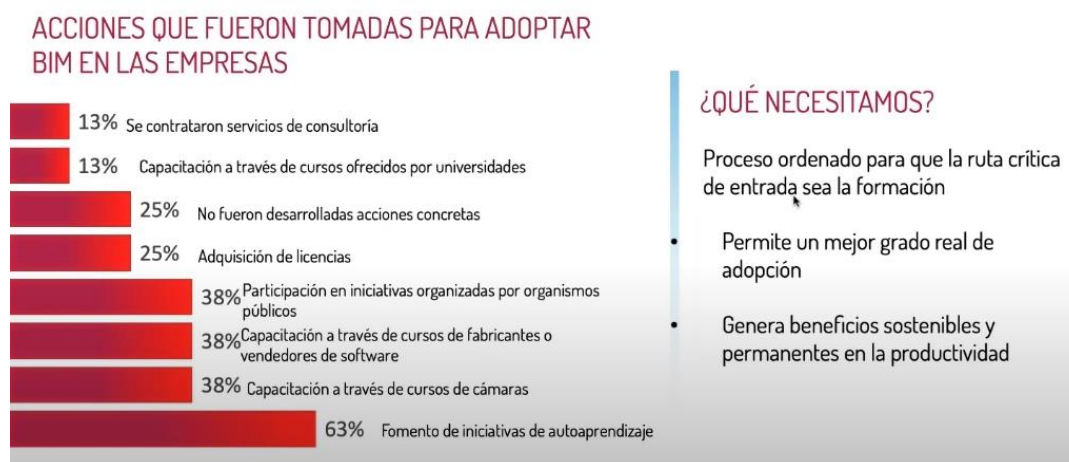
Expectativas de implementación en empresas AEC sin BIM



Nota: Tomado de Webinar | Transformación Digital para Impulsar el Sector de la Construcción [Video], por CAMACOL (2020c), <https://www.youtube.com/watch?v=Zdk8AkYr6II>

Figura 13

Acciones tomadas para la implementación BIM en empresas AEC en Colombia



Nota: Tomado de Webinar | Transformación Digital para Impulsar el Sector de la Construcción [Video], por CAMACOL (2020c), <https://www.youtube.com/watch?v=Zdk8AkYr6II>

Con base en estos datos, y proyectando el vertiginoso crecimiento de BIM en el país, CAMACOL creó el BIM Fórum Colombia, una plataforma de gestión del conocimiento y articulación de actores, la

cual tiene como objetivo discutir la implementación de tecnología digital en el ámbito de la construcción, con el fin de mejorar la productividad de las empresas y aumentar la competitividad en la actividad de la construcción en Colombia (CAMACOL, 2020a). El resultado principal de este foro fue la creación del BIM Kit Colombia, un conjunto de guías para la implementación de esta metodología y promover la transformación digital en el sector de la construcción en el país. Mediante el uso de esta herramienta, CAMACOL proyecta que, al finalizar esta década, la mayoría de proyectos de construcción se estarán desarrollando bajo metodología BIM, fortaleciendo la institucionalidad gubernamental para brindar el soporte y desarrollar las herramientas necesarias para su implementación en el sector constructor.

A pesar de estos avances, el uso de BIM en Colombia aún enfrenta algunos desafíos. Uno de los mayores desafíos es la falta de procesos y pautas BIM estandarizados. Si bien la Estrategia Nacional BIM ha ayudado a establecer algunos estándares, todavía se necesitan pautas y regulaciones más completas. Otro desafío es la disponibilidad limitada de profesionales BIM capacitados. Si bien se han desarrollado programas de capacitación, aún persiste la escasez de profesionales con las habilidades y el conocimiento BIM necesarios.

La tecnología BIM ha experimentado un progreso significativo desde su concepción inicial. En la actualidad, su implementación se ha extendido ampliamente a nivel internacional, incluyendo el contexto colombiano. Esta metodología tiene el potencial de generar una transformación en el sector de la construcción, al ofrecer un enfoque más eficiente y rentable para el diseño, construcción y gestión de edificios e infraestructuras. La adopción de la norma ISO 19650 representa un hito importante para el sector de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC) en el país, al establecer un enfoque estandarizado para la gestión de proyectos BIM. A medida que la tecnología BIM continúa evolucionando, se espera que desempeñe un papel cada vez más relevante en la industria de la construcción a nivel nacional.

5.3. Marco Legal

A partir del desarrollo de programas de diseño 3D y la consecuente digitalización de los procesos constructivos, surge la necesidad de establecer estándares y normas, tanto para el ámbito local como el internacional, que definan los requerimientos para obtener, usar y gestionar información en los proyectos de construcción. En el contexto internacional, la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, por sus siglas en inglés) redactó la norma ISO 19650, en la cual se compilan los lineamientos y estándares sobre la gestión e intercambio de información para modelaciones paramétricas de información desarrolladas para proyectos de construcción (BuildingSMART, 2021). Por su parte, la gran mayoría de países ha desarrollado una serie de lineamientos acerca del modelado paramétrico de la construcción (BIM Kits, BIM Handbooks o BIM Guidelines), con los cuales se ofrecen guías para orientar a las empresas del sector AEC en su transformación tecnológica para la gestión de proyectos. A continuación, se resumen los aspectos normativos más importantes relacionados con BIM a nivel mundial.

5.3.1. Estándares BIM en el Ámbito Internacional

5.3.1.1. Orígenes Normativos BIM

En el ámbito internacional, existe el Subcomité ISO/TC 59/SC 13, grupo encargado de la estandarización y el establecimiento de normas para el uso de la metodología BIM, el cual se enfoca en organizar y digitalizar la información de construcciones e infraestructuras utilizando BIM. El subcomité tiene, como objetivo principal, establecer normas comunes para el uso de BIM con el fin de facilitar la transferencia de información de cualquier tipo durante todas las etapas del proceso de construcción y entre todas las entidades que participan en el proyecto. Según lo afirma la International Organization for Standardization [Organización Internacional para la Estandarización] – ISO (s.f), los estándares internacionales divulgados por el ISO/TC 59/ SC 13 son los mostrados, a continuación, en la Tabla 1:

Tabla 1

Normas y/o proyectos BIM publicados por el subcomité ISO/TC 59/SC 13

Norma	Descripción
ISO 12006-2:2015	Construcción de edificios - Organización de la información sobre obras de construcción - Parte 2: Marco para la clasificación
ISO 12006-3:2022	Construcción de edificios - Organización de la información sobre obras de construcción - Parte 3: Marco para la información orientada a objetos
ISO 12911:2023	Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluyendo la modelización de información de construcción (BIM) - Marco para la especificación de la implementación de BIM
ISO 16354:2013	Directrices para las bibliotecas de conocimientos y las bibliotecas de objetos
ISO 16739-1:2018	Clases fundamentales de la industria (IFC) para el intercambio de datos en las industrias de construcción y gestión de instalaciones - Parte 1: Esquema de datos
ISO 16757-1:2015	Estructuras de datos para catálogos de productos electrónicos para servicios de construcción - Parte 1: Conceptos, arquitectura y modelo
ISO 16757-2:2016	Estructuras de datos para catálogos de productos electrónicos para servicios de construcción - Parte 2: Geometría
ISO 19650-1:2018	Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluyendo la modelización de información de construcción (BIM) - Gestión de información utilizando la modelización de información de construcción - Parte 1: Conceptos y principios
ISO 19650-2:2018	Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluyendo la modelización de información de construcción (BIM) - Gestión de información utilizando la modelización de información de construcción - Parte 2: Fase de entrega de los activos
ISO 19650-3:2020	Organización y digitalización de la información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluyendo la modelización de información de construcción (BIM) - Gestión de información utilizando la modelización de información de construcción - Parte 3: Fase operativa de los activos

ISO 19650-4:2022	Organización y digitalización de información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluyendo el modelado de información de construcción (BIM) - Gestión de la información utilizando el modelado de información de construcción - Parte 4: Intercambio de información
ISO 19650-5:2020	Organización y digitalización de información sobre edificios y obras de ingeniería civil, incluyendo el modelado de información de construcción (BIM) - Gestión de la información utilizando el modelado de información de construcción - Parte 5: Enfoque de seguridad para la gestión de la información
ISO 21597-1:2020	Contenedor de información para la entrega de documentos vinculados - Especificación de intercambio - Parte 1: Contenedor
ISO 21597-2:2020	Contenedor de información para la entrega de documentos vinculados - Especificación de intercambio - Parte 2: Tipos de enlaces
ISO 22263:2008	Organización de la información sobre obras de construcción - Marco para la gestión de la información del proyecto
ISO/TR 23262:2021	Interoperabilidad SIG (geoespacial) / BIM
ISO 23386:2020	Modelado de información de construcción y otros procesos digitales utilizados en la construcción - Metodología para describir, autorizar y mantener propiedades en diccionarios de datos interconectados
ISO 23387:2020	Modelado de información de construcción (BIM) - Plantillas de datos para objetos de construcción utilizados en el ciclo de vida de los activos construidos - Conceptos y principios
ISO 29481-1:2016	Modelos de información de construcción - Manual de entrega de información - Parte 1: Metodología y formato
ISO 29481-2:2012	Modelos de información de construcción - Manual de entrega de información - Parte 2: Marco de interacción
ISO 29481-3:2022	Modelos de información de construcción - Manual de entrega de información - Parte 3: Esquema de datos

Nota. Adaptado de “Standards by ISO/TC 59/SC 13” por Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, 2010, p. A-34 (<https://www.idrd.gov.co/sitio/idrd/sites/default/files/imagenes/3titulo-c-nsr-100.pdf>).

Todas estas normas están relacionadas con la organización y digitalización de información en la construcción y sus servicios complementarios. La tabla anterior muestra que existe un extenso listado de normas a nivel internacional en relación a BIM. Debido a la gran cantidad de normas existentes, en el presente documento no se ahondará en cada una de ellas, para hacer énfasis en el estándar ISO 19650, cuyo enfoque se ocupa de la gestión de la información necesaria para llevar a cabo un proyecto de construcción en todas sus fases. Este estándar se divide en cinco partes que serán descritas en detalle a continuación.

5.3.1.2. ISO 19650

A continuación, se presentan los conceptos y principios para la gestión de la información en una etapa madura conocida como "Building Information Modelling (BIM) de acuerdo con la serie de normas ISO 19650" (Ver Anexo 3). Según afirma The British Standards Institution [Instituto de Estándares Británicos] – BSI (2022, prr. 1), La norma ISO 19650 ha sido concebida como un estándar de alcance mundial que aborda la gestión de la información en todas las fases del ciclo de vida de un activo construido, haciendo uso de la metodología de modelado de información para la construcción. Esta norma se presenta como un hito significativo al ser la primera de su tipo en enfocarse en el BIM y la transformación digital del sector de la construcción, siendo considerada como el referente principal para el desarrollo de otras normas dentro de este ámbito. Esta norma es válida para todas las etapas que atraviesa cualquier bien edificado, desde la planificación a largo plazo hasta la culminación de su período de utilidad, incluyendo los primeros diseños hasta el desarrollo detallado de la ingeniería; la generación de la documentación pertinente para su construcción; su operación diaria y mantenimiento; así como la restauración, renovación, o desuso.

La norma ISO 19650 tiene como propósito unificar el conjunto de regulaciones relacionadas con la gestión de la información BIM en el ámbito de la construcción. Surgió a partir de las normas británicas PAS 1192, las cuales han quedado obsoletas. Su principal objetivo es promover una colaboración más

efectiva entre los distintos agentes involucrados en todas las etapas del ciclo de vida de un edificio, abarcando desde la fase de diseño y construcción hasta la posterior operación y mantenimiento. Esto implica tanto a los profesionales del sector de la construcción como a aquellos encargados de la gestión de los activos construidos una vez que han sido finalizados.

Según la introducción a la ISO 19650 realizada por la ONG buildingSMART Spanish Chapter [buildingSMART Capítulo Español] (2021), ésta se divide en cinco conjuntos de normas:

- El primer apartado establece los principios y estándares recomendados para el manejo de la información a lo largo del ciclo de vida de un activo de construcción. Se enfoca en proporcionar pautas claras y directrices para garantizar la calidad, integridad y accesibilidad de la información en todas las etapas del proyecto.
- En el segundo apartado, se definen los procesos y metodologías para el desarrollo y la gestión de la información durante la etapa de construcción del activo. Se abordan aspectos como la creación y actualización de modelos BIM, la coordinación multidisciplinar y la gestión de cambios, con el objetivo de asegurar una comunicación efectiva y un flujo de información fluido entre los actores involucrados en el proyecto.
- El tercer apartado se centra en los procesos y herramientas para el uso y la gestión de la información durante la fase de operación del activo. Se consideran aspectos como la recopilación y mantenimiento de datos de operación, la gestión del mantenimiento y las mejoras, así como la integración de sistemas y tecnologías para optimizar la eficiencia operativa.
- En el cuarto apartado, se detallan los requisitos y procedimientos para el intercambio de información BIM durante las etapas de desarrollo y operación de la obra. Se establecen los formatos y protocolos de intercambio, así como los roles y responsabilidades de los

actores involucrados, con el fin de asegurar una colaboración efectiva y una transferencia de información sin problemas.

- El quinto apartado establece los requisitos de seguridad para la información, asegurando la confidencialidad, integridad y disponibilidad de los datos. Se abordan aspectos como el control de acceso, la protección de datos sensibles y la implementación de medidas de seguridad adecuadas para prevenir cualquier amenaza o brecha de seguridad.

De esta forma, se observa cómo la organización de la norma permite garantizar una adecuada aplicación a la metodología BIM durante cada una de las fases del proyecto, lo cual es beneficioso para la industria, fomentando el concepto de implementar la metodología no únicamente para el diseño, pero también para cada una de las etapas anteriores y posteriores.

5.3.2. Normas BIM en Colombia

En Colombia, la implementación de BIM por parte del sector AEC está en proceso y se viene realizando de manera gradual, liderada por diferentes entidades gubernamentales y privadas. Actualmente, existen varias normas y guías relacionadas con BIM en Colombia, entre las que se encuentran las descritas a continuación.

5.3.2.1. CONPES 3975: Política Nacional Para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial

El 8 de noviembre de 2019, el Departamento Nacional de Planeación, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y el Departamento Administrativo de la Presidencia de la República emitieron el CONPES 3975, el cual representa una política gubernamental que busca incrementar el valor socioeconómico de la nación mediante la utilización estratégica de tecnologías digitales tanto en el ámbito público como en el privado. Su propósito fundamental radica en mejorar la eficiencia y el bienestar de los ciudadanos, así como preparar a Colombia para los retos y las

oportunidades que plantea la Cuarta Revolución Industrial (4RI), la cual se encuentra fuertemente impulsada por la transformación digital.

La política en cuestión se centra en la transformación digital, la cual desempeña un papel fundamental en la sociedad y se erige como uno de los principales impulsores de la Cuarta Revolución Industrial (4RI). La falta de adopción de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) conlleva oportunidades perdidas para Colombia tanto en términos económicos como sociales. Con el fin de alcanzar los objetivos planteados por esta política, se requiere reducir las barreras que obstaculizan la incorporación de tecnologías digitales, establecer condiciones favorables para la innovación digital, fortalecer las competencias del capital humano y crear las bases necesarias para preparar al país ante los cambios económicos y sociales que implica la inteligencia artificial (IA).

Este documento CONPES también reconoce la importancia de otras tecnologías digitales relacionadas con la 4RI, como el Internet de las cosas, la robótica y la computación cuántica, las cuales podrían tener un impacto económico positivo en el futuro y plantear desafíos para la formulación de políticas públicas (Departamento Nacional de Planeación – DNP, Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones – MINTIC, y Departamento Administrativo de la Presidencia de la República, 2019).

En lo que respecta al sector de la construcción, este documento CONPES establece que entidades como la Financiera de Desarrollo Nacional, el DNP, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el Ministerio de Transporte, entre otros organismos gubernamentales encargados de proyectos de construcción e infraestructura, deben colaborar para desarrollar una estrategia de promoción de la transformación digital en dicho sector. El objetivo principal radica en mejorar la toma de decisiones a través de la coordinación y colaboración en la creación, gestión y transmisión de información en proyectos a lo largo de su ciclo de vida.

Esta estrategia debe incluir un documento estratégico, guías y manuales para la adopción, un plan de comunicación y difusión, un plan para fortalecer capacidades y necesidades, así como una hoja de ruta para fomentar la digitalización de los procesos mediante soluciones tecnológicas sostenibles e innovadoras. La participación de la academia, el sector privado y la sociedad civil resulta crucial para abordar asuntos públicos de alto impacto como la transparencia, la productividad y la eficiencia. Esta acción debía comenzar en noviembre de 2019 y finalizar en enero de 2020, lo cual condujo a la publicación de la Estrategia Nacional BIM 2020 – 2026 por parte del Gobierno Nacional (DNP, et al., 2019, p. 47).

5.3.2.2. Estrategia Nacional BIM 2020 - 2026

La modernización del sector de la construcción y la infraestructura desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico de Colombia. La implementación de la metodología BIM ofrece una solución efectiva para abordar los desafíos existentes, como la variabilidad en los costos y los plazos de los proyectos, así como la baja productividad en la construcción de edificaciones e infraestructuras. Mediante la adopción de BIM, se puede lograr una mayor eficiencia y prosperidad económica en todos los sectores involucrados. La reducción de los costos de los proyectos de infraestructura permite una mejor gestión de los recursos disponibles, lo que a su vez impulsa el crecimiento económico al permitir la ejecución de más proyectos.

En la actualidad, el sector de la construcción se encuentra confrontando diversos retos, entre los cuales se destaca una disminución generalizada de la productividad, resultado de la incertidumbre asociada a los costos y la inestabilidad en los plazos de ejecución de los proyectos tanto públicos como privados. Además, Colombia se enfrenta a la necesidad de fortalecer su infraestructura de transporte multimodal y urbano, y el enfoque en la implementación de BIM facilita la colaboración y articulación de los diversos actores de la cadena de valor de la construcción, lo que contribuye a una mayor prosperidad económica y al logro de los objetivos a largo plazo. (Gobierno de Colombia, 2020, p. 2).

Para afrontar estos desafíos, el Gobierno Nacional ha enfatizado la imperativa de establecer un sistema de estandarización a nivel nacional con el propósito de superar la fragmentación que actualmente se experimenta en el país y mejorar la eficiencia y productividad en el ámbito de la construcción. Además, se considera la importancia de implementar procesos transparentes y auditables que aumenten la confianza de los financiadores y permitan obtener subvenciones para impulsar el desarrollo del país.

Como respuesta a estas necesidades, en noviembre de 2020 el Gobierno Nacional formuló la Estrategia Nacional BIM, con el fin de modernizar el sector de la construcción y la infraestructura mediante procesos colaborativos que utilicen información estandarizada en un entorno digital. Esta estrategia busca incrementar progresivamente la solicitud de servicios relacionados con BIM por parte del sector público. La implementación gradual de esta transformación digital es esencial para el éxito de la estrategia, ya que garantiza la creación de procesos eficientes que han sido previamente evaluados a nivel regional y nacional. Estos procesos y normativas están en constante evolución, adaptándose a las nuevas tecnologías y al nivel de competencia y desarrollo del país.

La Estrategia Nacional BIM 2020 - 2026 está liderada, principalmente, por el Departamento Nacional de Planeación – DNP; la Financiera Nacional de Desarrollo; el Ministerio de Transporte, el Ministerio de Vivienda y CAMACOL. Su formulación persigue tres objetivos principales para ser alcanzados en un horizonte de siete años, que son (Gobierno de Colombia, 2020, p. 4):

1. **Consistencia:** mediante un marco de colaboración BIM.
2. **Eficiencia:** para obtener un ahorro de al menos el 10% en los costos de proyectos relacionados con la construcción e infraestructura pública.
3. **Eficacia:** para la gestión digital de la información a través de un entorno común de datos.

Para el logro de estos objetivos, esta estrategia está soportada en cuatro pilares fundamentales (Gobierno de Colombia, 2020, p. 4), ilustrados en la Figura 14:

Figura 14*Pilares Estrategia Nacional BIM 2020 - 2026*

Nota: Tomado de Estrategia Nacional BIM 2020 - 2026, por Gobierno de Colombia (2020),

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Estrategia-Nacional-BIM-2020-2026.pdf>

- **Desarrollo de capacidades:** Potenciación del capital humano y adaptación del currículo académico.
- **Liderazgo Público:** Encabezar la implementación de la estrategia, evolucionar hacia nuevas corrientes y mantener la cohesión entre el sector público y privado.
- **Comunicaciones y comunidades:** Difundir y posicionar la estrategia, fomentar redes de colaboración.
- **Marco colaborativo:** Incorporación de estándares, elaboración de plantillas técnicas.

La hoja de ruta para el desarrollo de la Estrategia Nacional BIM se muestra en la Figura 15.

Figura 15*Hoja de ruta Estrategia Nacional BIM 2020 - 2026*

Nota: Tomado de Inicio BIM, por Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2023),

<https://minvivienda.gov.co/inicio-bim>

5.3.2.3. Resolución 0441 de 2020

Mediante esta Resolución, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio el 1 de septiembre de 2020, se definen las directrices para los responsables de las curadurías urbanas y las autoridades municipales o distritales con competencia en el estudio, procesamiento y emisión de licencias urbanísticas. Estas entidades están interesadas en participar en un proyecto piloto que busca implementar la emisión de licencias de construcción para obras nuevas a través de medios electrónicos. Esta norma incluye la "Guía de Digitalización de Licencias de Construcción en la Modalidad de Obra Nueva con Uso de Metodología BIM". Tal iniciativa se origina como respuesta a la necesidad de establecer un marco normativo y orientativo para la implementación del enfoque BIM en el contexto del proceso de obtención de licencias urbanísticas. Su propósito primordial radica en facilitar la verificación del cumplimiento de las regulaciones vigentes en el ámbito de la construcción, así como agilizar el

procedimiento de emisión del acto administrativo correspondiente a la licencia de construcción a cargo de la entidad competente en dicha función.

El objetivo de esta directiva es brindar orientación tanto a las partes interesadas como a los entes encargados de la planificación urbana y las autoridades municipales o distritales responsables, en relación con la implementación, cumplimiento y verificación de los requisitos mínimos para la creación de los documentos digitales BIM requeridos para la presentación, análisis y obtención de la licencia de construcción (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2020).

5.3.2.4. NTC-ISO 19650

Como se describió antes en 5.3.1.2, la ISO 19650 es una norma internacional que establece los requisitos para la gestión de información a lo largo del ciclo de vida de un activo construido utilizando BIM. En Colombia, el Instituto Colombiano de Normas Técnicas – ICONTEC ha adaptado la primera, segunda y quinta parte de la serie y se encuentra evaluando la tercera parte. El Comité Técnico de Normalización de ICONTEC (CTN) 254 - Edificaciones y Obras de Ingeniería Civil, creado en septiembre de 2020, se encarga de estudiar y acoger normas internacionales sobre BIM y otros temas relacionados. Este comité está presidido por una delegación del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y cuenta con la participación de diversas entidades gubernamentales, empresariales, universitarias, agremiaciones y profesionales independientes (BIM Management, 2021).

En Colombia, esta norma se titula "Organización y Digitalización de la Información en Edificaciones y Obras de Ingeniería Civil, incluyendo BIM" y, a continuación, se exponen las generalidades sobre las partes ya adaptadas al contexto colombiano, de acuerdo con lo afirmado por ICONTEC (2021).

5.3.2.4.1. NTC-ISO 19650-1:2021 | Parte 1: Conceptos y Principios

Este estándar presenta los principios y conceptos esenciales que guían la gestión de la información en la fase de madurez conocida como BIM, tal como se establece en la serie de normas ISO

19650. En este documento, se proporcionan recomendaciones para establecer un marco de gestión de la información que abarca aspectos como el intercambio de datos, el registro de información, el control de versiones y la organización de todos los participantes involucrados. Este marco se aplica a lo largo de todo el ciclo de vida de cualquier activo construido, desde la etapa de planificación estratégica y diseño inicial, hasta la fase de construcción, operación diaria, mantenimiento, rehabilitación, reparación y finalización de su vida útil.

El alcance de este documento se extiende a activos y proyectos de cualquier tamaño y complejidad, permitiendo la adaptación a las distintas estrategias de selección y asegurando la versatilidad necesaria para no obstaculizar la flexibilidad del proceso. Asimismo, en uno de sus apartados se considera el costo de implementación de estas recomendaciones.

5.3.2.4.2. NTC-ISO 19650-1:2021 | Parte 2: Fase de Entrega de los Activos

La Parte 2 de esta normativa proporciona los requisitos indispensables para la gestión de la información como un procedimiento inherente a la etapa de entrega de activos y al intercambio de información en el contexto del uso de BIM. Dicha norma es de alcance amplio y aplica a todo tipo de activos y organizaciones, sin importar la estrategia de selección que se haya adoptado.

5.3.2.4.3. NTC-ISO 19650-3:2021 | Parte 3: Fase Operacional de los Activos

La norma en cuestión establece los criterios y lineamientos para la administración de la información durante la etapa de operación de los activos y el intercambio de datos empleando el BIM. Dicha normativa es de aplicación amplia, abarcando organizaciones de cualquier tamaño o naturaleza que formen parte de la fase de operación de los activos. Los requisitos establecidos en la norma pueden ser cumplidos directamente por la organización o bien delegados a entidades externas.

5.3.2.4.4. NTC-ISO 19650-5:2021 | Parte 5: Enfoque Orientado a la Seguridad en la Gestión de la Información

Esta norma, que actualmente está en desarrollo, establece los principios y requisitos para la gestión de la información de seguridad en la fase de BIM de acuerdo con la norma ISO 19650. Además, abarca la gestión de la información confidencial adquirida, generada, procesada y almacenada en cualquier proyecto o servicio. Su enfoque principal es fomentar una cultura de seguridad adecuada en las organizaciones que manejan información confidencial y se aplica a lo largo de todo el ciclo de vida de cualquier proyecto, activo o servicio en el ámbito de la construcción. Esta norma también resulta relevante para aquellas organizaciones que buscan salvaguardar su información comercial, personal y propiedad intelectual. Asimismo, establece la necesidad de realizar seguimiento y auditorías para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad.

Asimismo, el ICONTEC ha desarrollado paralelamente una serie de normas técnicas complementarias de la NTC-ISO 19650 relacionadas con la gestión de la información para proyectos de construcción, las cuales se mencionan, a continuación, en la Tabla 2:

Tabla 2

Normas BIM publicadas por el ICONTEC

Norma	Descripción
NTC-ISO 29481-1:2022	Modelos de información de edificaciones. Manual de entrega de la información. Parte 1: Metodología y formato.
NTC-ISO 29481-2:2022	Modelos de información de edificaciones. Manual de entrega de la información. Parte 2: Marco de trabajo para la interacción.
NTC-ISO 23387:2021	Building Information Modelling (BIM). Plantillas de datos para los objetos de construcción utilizados en el ciclo de vida de cualquier activo construido. Conceptos y principios.

NTC-ISO 23386:2021	Building Information Modelling (BIM) y otros procesos digitales utilizados en la construcción. Metodología para describir, crear y mantener propiedades en diccionarios interconectados.
NTC-ISO 16757-1:2021	Estructuras de datos para catálogos electrónicos de productos para servicios de construcción. Parte 1: Conceptos, arquitectura y modelo
NTC-ISO 16757-2:2021	Estructuras de datos para catálogos electrónicos de productos para servicios de construcción. Parte 2: Geometría.
NTC-ISO 16739-1:2021	Intercambio de datos en la industria de la construcción y en la gestión de inmuebles mediante IFC (Industry Foundation Classes). Parte 1: Esquema de datos.

Nota. Adaptado de “Nacionales” por MinVivienda, 2022 (<https://www.minvivienda.gov.co/estandares-nacionales-bim>).

5.3.2.5. BIM Fórum Colombia

Esta iniciativa, desarrollada por la Cámara Colombiana de la Construcción – CAMACOL, se orienta hacia la articulación de actores y la gestión del conocimiento dentro de una progresiva adopción de nuevas tecnologías en el sector de la construcción en Colombia, promoviendo, así, la consolidación y fortalecimiento del sector AEC en el país, haciéndolo más productivo, eficaz y competitivo. Diversos estudios e investigaciones permitieron a CAMACOL reconocer la oportunidad de transformar procesos mediante nuevas tecnologías. Hay evidencia que muestra que, al implementar prácticas mejoradas a nivel mundial, se puede lograr un aumento del 15% en la productividad, y un potencial para incrementar el valor agregado de la actividad edificadora en 4 billones de pesos por año (CAMACOL, 2020a).

Según afirma CAMACOL (2020a), a partir de estas conclusiones fue creado el BIM Fórum Colombia, en 2017, plataforma que conforma un espacio virtual para la colaboración y el intercambio de información con el objetivo de mejorar la eficiencia y eficacia de la industria de la construcción en Colombia a través de la transformación digital. El BIM Fórum Colombia fomenta la digitalización del sector de la construcción y mejorar la productividad y competitividad empresarial en Colombia. Junto

con 10 empresas fundadoras, entre las cuales se cuentan Amarilo, Constructora Bolívar, Conconcreto y Cusezar, entre otras, se han llevado a cabo iniciativas para promover el uso de BIM, incluyendo la formación y definición de un lenguaje común.

El BIM Fórum Colombia trabaja con base en tres ejes principales, que son (CAMACOL, 2020a):

1. Proporcionar herramientas de adopción BIM a organizaciones y el sector de la construcción,
2. Apoyar el desarrollo de competencias técnicas necesarias para adoptar estas metodologías, y
3. Respaldar la política BIM en la estrategia de adopción en el país.

Con base en estos pilares, los esfuerzos del BIM Fórum Colombia han logrado una colaboración efectiva entre la industria, el gobierno nacional y la academia para fortalecer el ecosistema BIM al interior del sector AEC en Colombia. El resultado más destacable del BIM Fórum Colombia es el BIM Kit, el cual es un conjunto de documentos técnicos que proporcionan orientación detallada a las empresas para lograr una implementación efectiva de BIM, un proceso de gestión de información para el diseño, construcción y operación de edificios y estructuras. El principal objetivo de esta herramienta es asegurar que todas las partes involucradas en un proyecto constructivo hablen un mismo lenguaje y adquieran un nivel de conocimiento uniforme para lograr una colaboración efectiva en la implementación de BIM. El BIM Kit está compuesto por tres volúmenes, cada cual subdividido en varios documentos técnicos, así:

- **BIM KIT Vol. 1:**

- 01 - Roles y Perfiles BIM

- 02 - Modelado BIM

- 03 - Flujos de trabajo

- 04 - Gestión de la Información

- 05 - Indicadores BIM

- 06 - Creación de contenido

- 07 - Anexo Contractual

- **BIM KIT Vol. 2:**

08 - Hoja de Ruta para la Implementación BIM

09 - Usos BIM

10 - Requerimientos BIM para Trámites de Licencia

11 - Plan de Implementación BIM (BEP)

Hoja de ruta para el Solicitante

Hoja de ruta para la Curaduría o autoridad competente

I01 - Infraestructura Vial

- **BIM KIT Vol. 3**

Anexo Técnico BIM

Estos recursos, que incluye guías, plantillas, estándares y matrices, tienen como objetivo proporcionar herramientas para implementar BIM de manera efectiva y precisa en todo el sector AEC. Tales herramientas fueron diseñadas para establecer un lenguaje estandarizado y compartido por todos los participantes en la cadena de valor de la construcción para aumentar la productividad y competitividad a través del uso de BIM.

5.4. Marco Teórico

El enfoque de BIM abarca una amplia gama de conceptos que son aplicables a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto. A continuación, se procede a desarrollar el marco teórico relacionado con la implementación de BIM en el sector de Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC), específicamente en lo que concierne a las actividades que siguen a la etapa de diseño y preceden a la ejecución de las tareas de construcción propiamente dichas. Cada tema abordado puede involucrar aspectos técnicos, operativos y de gestión que requieren una consideración detallada al momento de implementar BIM en la organización.

5.4.1. ¿Qué es BIM?

El Modelado de Información para la Construcción, BIM, es una metodología basada en la creación y gestión de información digital de un proyecto de construcción a lo largo de su ciclo de vida. Según la ONG BuildingSMART Spanish Chapter (2021), BIM se define como “una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Su objetivo es centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital creado por todos sus agentes” (prr. 1).

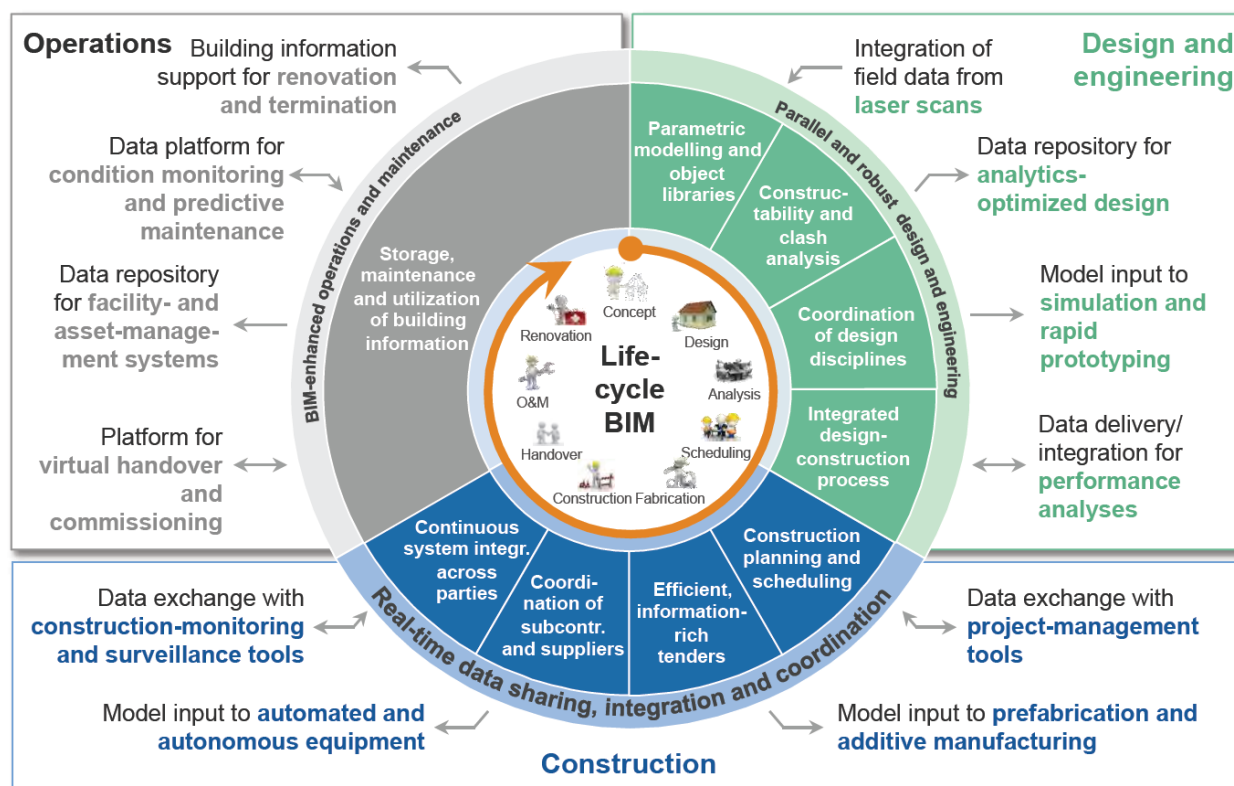
BIM se utiliza para generar y administrar modelos virtuales tridimensionales que contienen información detallada y precisa sobre los elementos constructivos, su geometría, materiales, propiedades, relaciones y otras características relevantes. Estos modelos son colaborativos y permiten la integración y coordinación de los diferentes actores involucrados en el proceso de diseño, construcción y operación de un edificio o infraestructura. BIM facilita la visualización, análisis y simulación del proyecto, lo que contribuye a mejorar la toma de decisiones, la eficiencia, la calidad y la coordinación en todas las etapas del proyecto.

BIM es una metodología de trabajo que busca transformar la gestión del ciclo de vida de un activo construido, pues, en contraste con los métodos de diseño y construcción tradicionales basados en planos, también conocido como Diseño Asistido por Computador (CAD, por sus siglas en inglés), BIM hace uso de la digitalización para analizar distintos tipos de información en tiempo real, incluyendo información geométrica, de costos, tiempos, ambiental y de gestión de infraestructura (FM, por sus siglas en inglés). La digitalización, el desarrollo y despliegue de tecnologías y procesos digitales, son aspectos fundamentales para la transformación requerida en la industria de la construcción. Las innovaciones de este tipo, como BIM, permiten nuevas funcionalidades a lo largo de toda la cadena de valor, desde la fase inicial de diseño hasta el final del ciclo de vida de un activo en la fase de demolición (World Economic Forum, 2016).

BIM ofrece diversas aplicaciones a lo largo de la cadena de valor AEC en las etapas de Diseño e Ingeniería, Licitación, Construcción y Operación, en donde las tres primeras componen el proyecto de construcción (Jurado-Guerra, 2014, prr. 1). En la Figura 16, se resumen las aplicaciones de BIM a lo largo de la cadena de valor AEC en las etapas de Diseño e ingeniería, Construcción y Operación.

Figura 16

Aplicaciones de BIM a lo largo de la cadena de valor AEC



Nota: Tomado de Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology [Dando Forma al Futuro de la Construcción: un Avance en Mentalidad y Tecnología], por World Economic Forum [Foro Económico Mundial], 2016. <https://www.weforum.org/reports/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology/>

En la etapa de Diseño e Ingeniería, BIM permite la creación de modelos virtuales tridimensionales que integran información detallada sobre el proyecto, lo que facilita la visualización, el análisis y la optimización del diseño. Además, BIM permite realizar simulaciones y análisis de

rendimiento, como análisis estructurales, térmicos y de iluminación, lo que ayuda a mejorar la eficiencia y el desempeño del edificio. BIM logra hacer más clara y eficiente la transferencia de la información entre participantes, facilitando así la toma de decisiones. También, permite una mejor comunicación entre disciplinas de diseño, disminuyendo así los errores y haciendo más eficiente la detección de colisiones por medio de una coordinación técnica.

En la etapa de Construcción, BIM se utiliza para la planificación y gestión de la construcción. Permite generar modelos constructivos que facilitan la coordinación entre las diferentes especialidades, la detección temprana de conflictos y la secuenciación de las actividades constructivas. Además, BIM se utiliza para el control de costos y plazos, permitiendo la generación de presupuestos precisos y el seguimiento del avance de la obra. BIM logra identificar y reducir riesgos y reprocesos, así como también realizar cuantificaciones de obra más precisos y seguimientos de los avances de las obras.

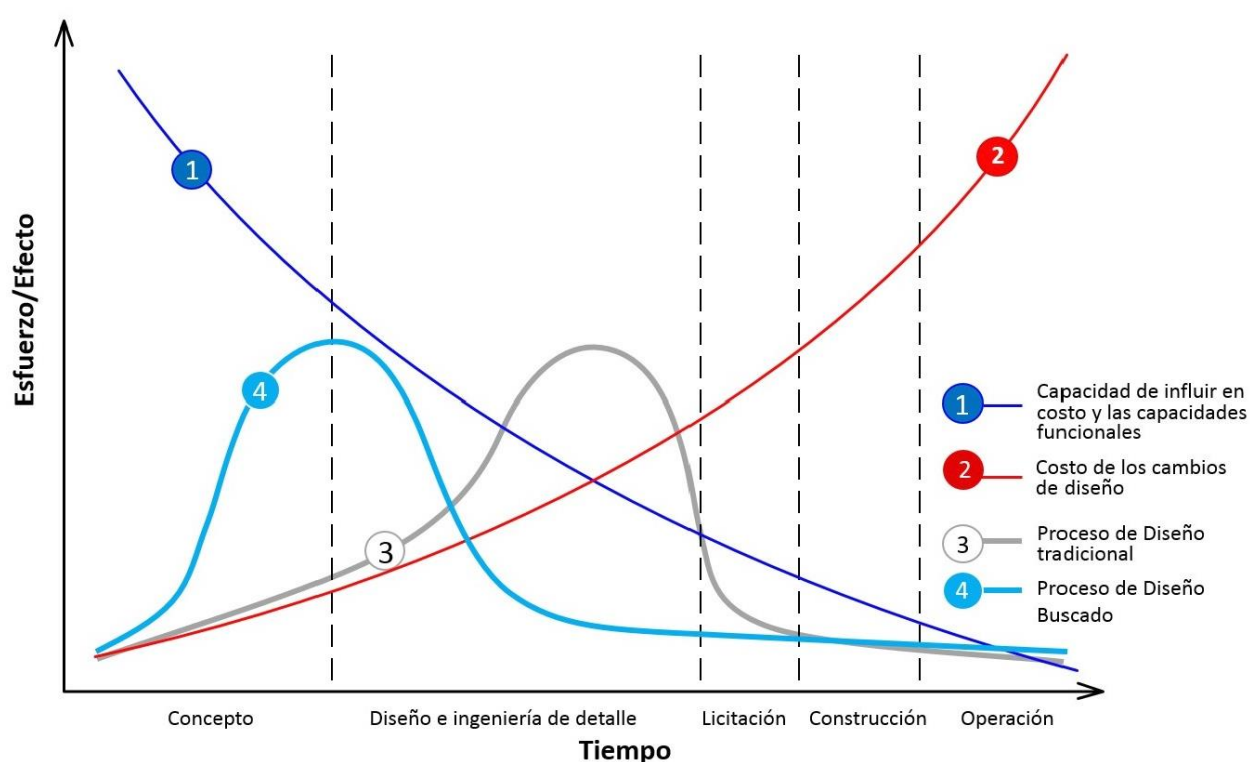
En la etapa de Operación, BIM se utiliza para la gestión y mantenimiento de los edificios. Los modelos BIM se utilizan como una base de datos actualizada que contiene información detallada sobre los componentes del edificio, como sistemas eléctricos, de plomería y de HVAC. Esto facilita la gestión de activos, el mantenimiento preventivo y la planificación de las intervenciones de mantenimiento. BIM logra optimizar costos al almacenar información que garantice un mantenimiento adecuado y a tiempo (Vilutienė, Kiaulakis y Migilinskas, 2021).

Haciendo énfasis en las etapas previas a la operación del activo, el esfuerzo requerido durante la etapa de ejecución ronda el 65% del proyecto, lo cual sobrepasa considerablemente la inversión necesaria para el diseño. Durante esta etapa, los stakeholders (arquitectos e ingenieros, constructor, subcontratistas, proveedores, consultores, clientes y usuarios) toman decisiones que afectan directamente el presupuesto del proyecto, estableciendo los futuros costos de operación de la edificación y los beneficios que recibirá el cliente (Jurado-Guerra, 2014). Por estas razones, es relevante aumentar la inversión en términos de esfuerzo y recursos durante las etapas previas a la ejecución de la

obra, ya que esto influirá directamente en los costos y funcionalidad del proyecto. Lo anterior se ilustra en la Figura 17, la cual señala que las decisiones de diseño, mientras más tempranas sean, mayor será su influencia en los costos y funcionalidad del proyecto, reduciendo sustancialmente los costos por las modificaciones requeridas. Por el contrario, la implementación de cambios, cuando el proyecto se aproxima a su finalización, genera un gran impacto en costo y tiempo de ejecución.

Figura 17

Curva MacLeamy – Esfuerzo vs. Tiempo. Proceso de diseño CAD vs. BIM



Nota: Tomado de Beneficios del BIM en el Diseño de Proyectos, por Jurado-Guerra, 2014.

<http://www.suma.pe/2014/08/01/beneficios-del-bim-en-el-diseno-de-proyectos/>

BIM trajo consigo el potencial para reducir de forma considerable los costos y duraciones de distintos procesos relacionados con la construcción de un proyecto. La capacidad de generar un modelo tridimensional (3D) con alto nivel de desarrollo (LOD) y obtener, por medio de un software especializado, las cantidades de obra con instrucciones simples, así como también realizar análisis

financieros (4D) y ambientales (5D) de forma práctica y eficiente. Estas son algunas de las características innovadoras de BIM que permiten hacer las labores, antes realizadas con métodos tradicionales, de una manera más eficiente y rápida. La modelación en 2D tiende a ser superada por la modelación paramétrica en plataformas BIM, permitiendo una mayor interacción entre los agentes y el diseño, la disminución de los tiempos de espera y evitar procesos innecesarios de transferencia de información.

Lo anterior indica que enfocar los mayores esfuerzos en las etapas previas a la construcción implica determinar los beneficios esperados por el cliente en un tiempo menor, entender las verdaderas necesidades de los usuarios finales y minimizar los tiempos para la resolución de RFI's (Request for Information [Solicitudes de Información]) entre los especialistas. Además, según Jurado-Guerra (2201), BIM tiene como objetivo fundamental mejorar la calidad del diseño a través de la realización de un modelo digital exhaustivo antes del inicio de la construcción. Este enfoque permite incorporar criterios de constructabilidad desde las etapas iniciales del proyecto, lo que se traduce en una optimización tanto del presupuesto como del cronograma de ejecución. Además, el uso de BIM garantiza que el cliente pueda visualizar el proyecto de manera precisa y detallada antes de que se inicie la construcción, lo que facilita la alineación de sus expectativas y contribuye a evitar modificaciones costosas en etapas posteriores.

También, BIM ofrece la posibilidad de optimizar la eficiencia energética del proyecto, lo que implica la reducción del consumo de recursos y la mejora en el rendimiento ambiental. Asimismo, BIM permite reducir las capacidades requeridas de los equipos de trabajo, ya que la información detallada y precisa del modelo digital facilita la toma de decisiones y minimiza la necesidad de intervenciones físicas. Además, la automatización de la elaboración de planos y la mejora de su calidad mediante el uso de BIM resulta en una disminución significativa de los tiempos de elaboración de la documentación, lo que agiliza el proceso global del proyecto asegurando la consistencia entre las diferentes vistas del proyecto (plantas, secciones y detalles constructivos).

Con las ventajas mencionadas, la metodología BIM plantea el reto de culminar la ingeniería detallada de los proyectos durante la etapa de Diseño y no en paralelo con la Licitación y Construcción, lo que es muy común hoy en día. Esta práctica genera mayores costos y esfuerzos para los equipos de obra debido a la generación de diversas versiones de planos, mayores cantidades de RFI's y de reprocesos, cuyos sobrecostos son siempre trasladados al cliente. Para solucionar este problema, se sugiere maximizar el uso de BIM durante el desarrollo del diseño y la preconstrucción de la obra, lo que permitiría generar geometrías, recorridos o requerimientos exactos en 3D y evitar la necesidad de crear diversas versiones de planos, diferentes a las implícitas al desarrollo de los diseños. Con el fin de alcanzar este objetivo, es imperativo que los profesionales especializados trabajen de manera estrecha e integrada en un entorno de datos compartido, utilizando un vocabulario común que facilite la comunicación. Esta colaboración efectiva y comprensión mutua puede lograrse mediante la implementación de una plataforma BIM, que posibilite la colaboración y la coordinación entre los diversos actores involucrados. Al hacerlo, se pueden obtener soluciones concretas y reducir significativamente el tiempo empleado en las consultas y revisiones en cada reunión de diseño.

A continuación, la Figura 18 muestra las principales actividades para las que se usa BIM durante las fases de diseño y preconstrucción, en la cual se observa que esta metodología es utilizada por parte de contratistas, mayormente, para realizar la coordinación multidisciplinaria (60%), visualización de la intención de diseño (52%) y modelado para evaluar la constructabilidad del proyecto (32%). En las últimas posiciones se ubican la planificación 4D (programación) y 5D (presupuestación), la planeación logística del sitio de trabajo y la ingeniería de valor, lo cual evidencia las falencias existentes en términos de implementación BIM durante la fase de preconstrucción (McGraw Hill en Jurado-Guerra, 2014).

En tal sentido, es importante entender que el futuro de la industria de la construcción no se limita a la construcción en sitio, sino al ensamblaje de elementos prefabricados, asemejándose más a la metodología empleada por la industria automotriz. China lidera en este tipo de construcción

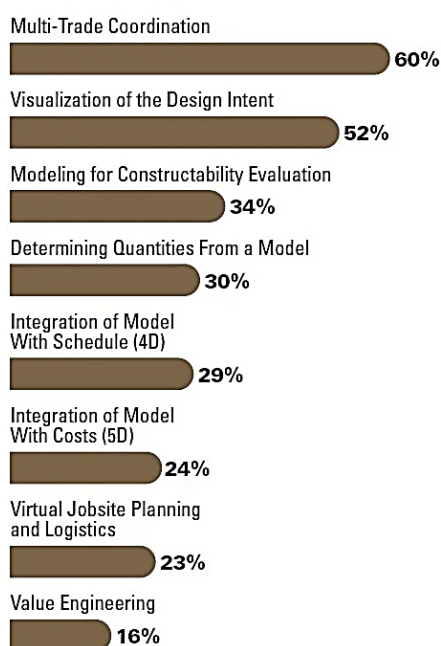
prefabricada, habiendo construido edificios de más de 20 pisos de altura en solo tres días (Jurado-Guerra, 2014). Es necesario entender estas posibilidades que brinda BIM para buscar mejoras en los procesos propios del sector AEC.

Figura 18

Actividades principales para el uso de BIM durante la fase de Diseño / Preconstrucción

Percentage of Contractors Citing the Top Three Activities for Which Their Organization Leverages BIM During Design/Pre-Construction Phase

Source: McGraw Hill Construction, 2013



Nota: Tomado de Beneficios del BIM en el Diseño de Proyectos, por McGraw Hill en Jurado-Guerra, 2014. <http://www.suma.pe/2014/08/01/beneficios-del-bim-en-el-diseno-de-proyectos/>

5.4.2. Dimensiones BIM

La metodología BIM se caracteriza por sus múltiples dimensiones que abarcan distintos aspectos del proceso de construcción y gestión de proyectos. Las dimensiones del BIM, que van desde la idea inicial (1D) y su representación esquemática (2D), hasta la incorporación de datos de operación y mantenimiento en la dimensión 7D, permiten un enfoque integral y multidimensional en el diseño, construcción y gestión de proyectos.

Estas dimensiones brindan una mayor comprensión, coordinación y eficiencia en todas las etapas del ciclo de vida del proyecto, desde la planificación hasta el mantenimiento y la operación. A continuación, se explican brevemente las dimensiones clave del BIM, de acuerdo con lo afirmado por Mata (2019a):

- **Dimensión 3D:** La dimensión 3D del BIM se refiere a la representación tridimensional de los elementos constructivos en un modelo virtual. Este modelo contiene información geométrica precisa y detallada, lo que permite una visualización realista de la estructura y los componentes del proyecto. La dimensión 3D facilita la comprensión espacial, la detección de conflictos y la toma de decisiones informadas durante el diseño y la construcción.

- **Dimensión 4D:** La dimensión 4D del BIM agrega el elemento temporal al modelo tridimensional. Esto implica incorporar información sobre la secuencia y la programación de las tareas a lo largo del tiempo. El modelo 4D permite visualizar y analizar la planificación de la construcción, identificar posibles solapamientos o retrasos, y optimizar la secuencia de trabajo. Esta dimensión facilita la coordinación de actividades y el control de la planificación durante todo el proyecto. Es en la 4D donde se planifican la mayoría de los aspectos relacionados con la fase de preconstrucción.

- **Dimensión 5D:** La dimensión 5D del BIM incorpora la variable económica al modelo. Además de la información 3D y 4D, se incluyen datos relacionados con los costos de los materiales, la mano de obra y otros recursos. Esto permite realizar estimaciones de costos más precisas y elaborar presupuestos detallados. La dimensión 5D del BIM facilita el control y seguimiento de los costos a lo largo del proyecto, lo que ayuda a tomar decisiones financieras informadas. En la fase de preconstrucción, los presupuestos estimados en la fase de diseño deben ser actualizados a la fecha.

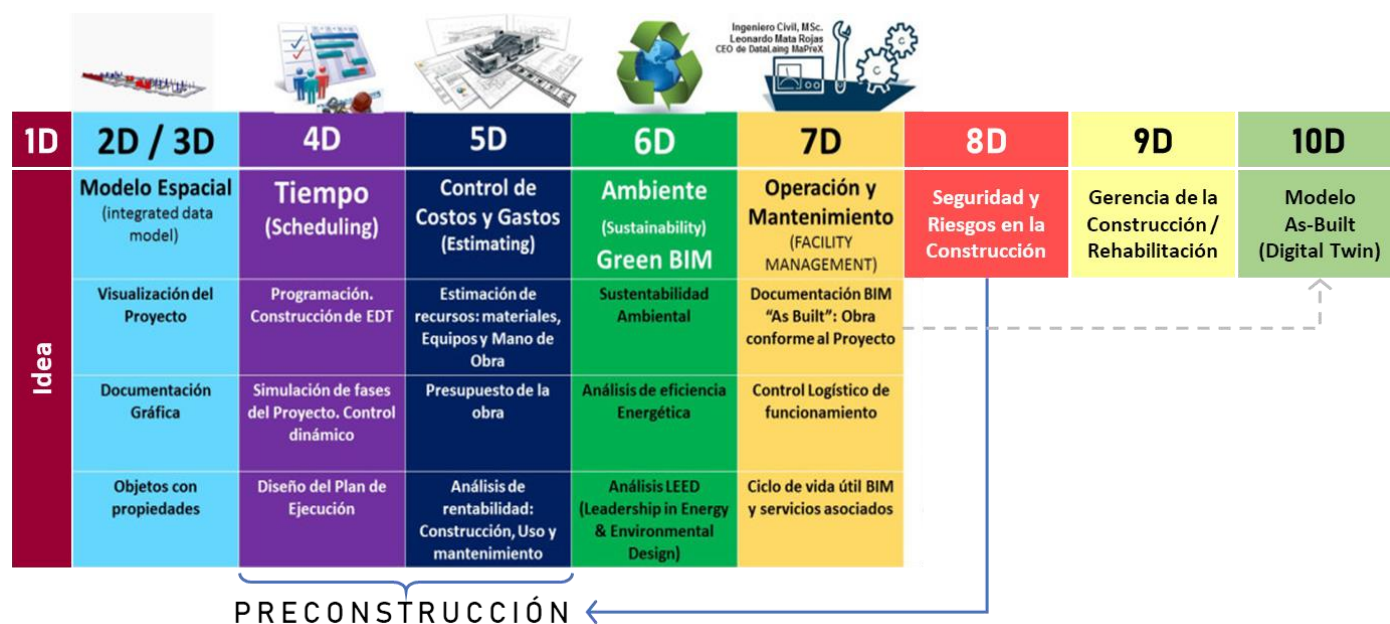
- **Dimensión 6D:** La dimensión 6D del BIM aborda aspectos relacionados con la sostenibilidad y la evaluación del ciclo de vida. Esto implica la incorporación de información sobre el impacto ambiental,

la eficiencia energética y otros criterios de sostenibilidad en el modelo. La dimensión 6D permite realizar análisis y evaluaciones para tomar decisiones informadas sobre diseño y construcción sostenibles.

• **Dimensión 7D:** La dimensión 6D del BIM se refiere a la incorporación de datos relacionados con el ciclo de vida del edificio o infraestructura. Esto implica incluir información sobre el mantenimiento, las operaciones, el rendimiento energético y otros aspectos de la gestión posterior a la construcción. La dimensión 7D permite anticipar y planificar las necesidades de mantenimiento, evaluar el rendimiento energético y optimizar la eficiencia en la etapa de operaciones del proyecto.

Figura 19

Dimensiones BIM



Nota: Adaptado de Las 7 Dimensiones del BIM Propuesta de 3 Dimensiones Adicionales (8D, 9D Y 10D), por Mata, 2019b. <https://dataiaing.com/site/las-7-dimensiones-del-bim/>

La mayor parte de la literatura sobre BIM se refiere a estas siete dimensiones clave, sin embargo, algunos autores incluyen tres dimensiones adicionales, referidas a la Seguridad y Riesgos en la Construcción (8D), la cual también es contemplada durante la fase de preconstrucción para determinar los requerimientos de seguridad y prevención de accidentes en el sitio de obra; Gerencia de la

Construcción / Rehabilitación (9D); y se extrae la construcción del Modelo As-Built o Gemelo Digital (Digital Twin) de la 7D para ser desarrollada como la última dimensión BIM (10D). Con estas dimensiones adicionales se busca incorporar elementos de gestión administrativa a los procesos BIM y culminar en la consolidación de un gemelo digital del activo construido a manera de base datos para su operación y mantenimiento hasta su desuso.

5.4.3. Diseño y Construcción Virtual (VDC)

El Diseño y Construcción Virtual (VDC, por sus siglas en inglés) es un enfoque dentro de la metodología BIM que se centra en la creación y utilización de modelos virtuales detallados para el diseño, la construcción y la gestión de proyectos. El VDC combina la información del modelo 3D con datos adicionales relacionados con la programación, los costos, la logística y otras variables relevantes para proporcionar una representación digital completa y precisa de un proyecto de construcción.

Los fundamentos del VDC están basados en los siguientes principios clave:

- **Modelado 3D:** El VDC utiliza modelos 3D detallados que contienen información geométrica y paramétrica de los elementos constructivos. Estos modelos permiten una visualización clara y realista de los componentes del proyecto, lo que facilita la comprensión y la toma de decisiones.
- **Colaboración multidisciplinar:** El VDC fomenta la colaboración entre diferentes disciplinas y equipos de proyecto. Los profesionales de arquitectura, ingeniería, construcción y otros actores relevantes trabajan de manera conjunta en un entorno virtual compartido, lo que facilita la comunicación, la detección temprana de conflictos y la resolución de problemas de manera más eficiente.
- **Integración de datos:** El VDC se basa en la integración de datos provenientes de diversas fuentes y disciplinas. Esto incluye información geométrica, datos de rendimiento, estimaciones de costos, programación de tareas y otros datos relevantes. Al consolidar y

vincular estos datos en un modelo virtual, se mejora la coordinación y la precisión de la información en todo el ciclo de vida del proyecto.

- **Análisis y simulación:** El VDC permite realizar análisis y simulaciones virtuales antes de la construcción física. Estos análisis pueden incluir la evaluación del rendimiento estructural, la eficiencia energética, el flujo de tráfico, la logística de la construcción, entre otros. Al realizar estas evaluaciones en un entorno virtual, se pueden identificar y corregir posibles problemas o ineficiencias antes de la construcción real.
- **Gestión de la construcción:** El VDC facilita la gestión y el control del proceso de construcción. Mediante la vinculación de la programación de tareas, los recursos necesarios, los costos y otros datos relevantes, se puede realizar un seguimiento más preciso del avance del proyecto, identificar posibles retrasos o problemas, y realizar ajustes en tiempo real para mejorar la eficiencia y el rendimiento.

5.4.4. Entrega Integrada de Proyectos (IPD)

La Entrega Integrada de Proyectos (IPD, por sus siglas en inglés) es un proceso con un enfoque de construcción más colaborativo, eficiente y efectivo que enfatiza la comunicación, la colaboración y los objetivos compartidos entre las partes interesadas (*stakeholders*) del proyecto. Esta colaboración se desarrolla desde la etapa de concepción inicial del proyecto y se extiende hasta su entrega final. El factor fundamental radica en la necesidad de que el equipo de trabajo se desempeñe de manera conjunta y coordinada, haciendo uso de las herramientas de colaboración más efectivas disponibles. El objetivo primordial es asegurar que el proyecto cumpla con los requisitos establecidos por el propietario, logrando así reducir de manera significativa tanto el tiempo como los costos asociados al mismo (Eastman, et al., 2011, p. 9).

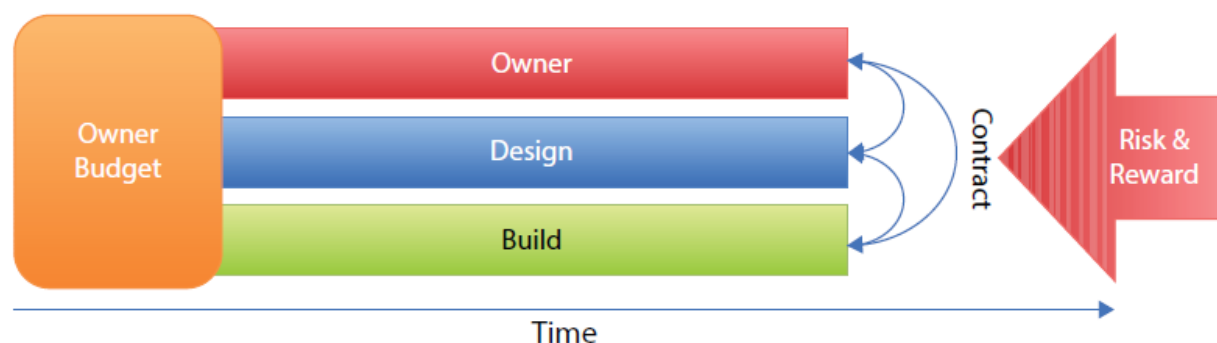
La IPD difiere de los métodos de construcción tradicionales en varios aspectos. En primer lugar, IPD implica un enfoque de colaboración en el que todos los stakeholders del proyecto, incluidos el

propietario, arquitectos, ingenieros, contratistas y subcontratistas, trabajan juntos desde el comienzo del proyecto para lograr un objetivo común. Por el contrario, los métodos de construcción tradicionales a menudo implican un enfoque lineal, en el que cada parte interesada completa su porción del trabajo y se la transfiere a la siguiente sin mediar colaboración o comunicación.

En segundo lugar, IPD utiliza BIM y otras tecnologías digitales para facilitar la colaboración y el intercambio de información entre los stakeholders del proyecto. Esto permite la detección temprana y la resolución de posibles problemas, lo que reduce la necesidad de cambiar las órdenes y los costosos retrasos. En los métodos de construcción tradicionales, la comunicación y la colaboración pueden ser limitadas y es posible que los problemas no se descubran hasta más adelante en el cronograma del proyecto.

En tercer lugar, IPD implica un riesgo y una recompensa compartidos entre los stakeholders del proyecto. Esto alienta a todas las partes a trabajar en conjunto para lograr los objetivos del proyecto, completándolo a tiempo y dentro del presupuesto. De acuerdo con Hardin y McCool (2015, pp. 62-63), el enfoque de IPD fomenta la idea de compartir tanto el riesgo como la recompensa del proyecto, basándose en objetivos mutuos. La compensación se ajusta en función de los resultados obtenidos, pudiendo aumentar o disminuir (Figura 20). En los métodos de construcción tradicionales, cada parte puede estar más enfocada en sus intereses individuales que en el éxito general del proyecto.

La metodología de IPD recompensa la innovación en lugar de solo alentarla, fomentando un enfoque más abierto y colaborativo en el equipo de proyecto. El programa de incentivos también promueve la investigación y el desarrollo y estimula a los miembros del equipo a pensar fuera de la zona de confort de las herramientas tradicionales. En vista de lo expuesto, el propietario se posiciona como el principal receptor de beneficios en un IPD. Sin embargo, es necesario que éste cuente con un conocimiento adecuado para participar y establecer de manera precisa en los contratos sus requerimientos y la forma en que se alcanzarán.

Figura 20*Método IPD*

Nota: Tomado de BIM and Construction Management. Proven Tools, Methods, and Workflows [BIM y Dirección de Obra. Herramientas Probadas, Métodos y Flujos de Trabajo], por Hardin et al., 2014.
<http://iibimsolutions.ir/files/BIM/Ebook/BIM%20and%20Construction%20Management-2nd%20edition.pdf>

5.4.5. Niveles de Madurez BIM

El tránsito hacia el trabajo colaborativo “total” por medio de hitos claramente definidos ha sido descrito en la norma ISO 19650 en forma de “niveles”. Estos se han establecido dentro de un rango de 0 a 3 y, aunque se ha debatido ampliamente sobre el significado preciso de cada nivel, el concepto general se describe a continuación:

5.4.5.1. Nivel BIM 0

En el nivel BIM 0, o de colaboración baja, se observa una falta de colaboración efectiva. Se utilizan exclusivamente dibujos CAD 2D, y la producción y distribución de información se lleva a cabo principalmente en formato impreso o electrónico, o una combinación de ambos. Este nivel representa el paso más básico en el proceso de generación de datos en el contexto del BIM. En esta fase, la cooperación entre los actores involucrados es mínima. La producción y el intercambio de información se realizan mediante documentos electrónicos impresos que carecen de interoperabilidad. Aunque se

utilizan dibujos CAD durante el nivel BIM 0, no se produce un intercambio efectivo de los modelos de datos generados.

Actualmente, la mayor parte del sector AEC se encuentra en el nivel BIM 0, lo que implica que se intercambian archivos y comparten información en papel que carece de la capacidad de interactuar entre sí, incluso cuando se utiliza software orientado al BIM.

5.4.5.2. Nivel BIM 1

En el Nivel 1 del BIM, de colaboración parcial, se emplea una combinación de herramientas CAD en 3D para la etapa de conceptualización, y CAD en 2D para la elaboración de la documentación normativa y la información de producción. El intercambio de datos se realiza a través de un entorno de datos común (CDE, por sus siglas en inglés) que generalmente es gestionado por el contratista. En este nivel, no se establece una colaboración efectiva entre las disciplinas involucradas, ya que cada una publica y mantiene sus propios conjuntos de datos de manera independiente.

Cada vez más organizaciones dentro del ámbito AEC están adoptando el Nivel 1 del BIM y estableciendo su propio entorno común de datos (CDE). El CDE funciona como una plataforma en línea compartida donde se recopilan y gestionan todos los datos relevantes para el proyecto. En esencia, el enfoque del Nivel 1 de BIM se centra en la transición de datos desde formatos de dibujo asistido por computadora (CAD) a formatos tridimensionales (2D y 3D). No obstante, es crucial destacar que, en este nivel, los modelos generados no se distribuyen entre los diversos actores involucrados en el proyecto. Aunque existe una estandarización en los modelos utilizados por los miembros del equipo de diseño y gestión, no se comparte un único modelo integralmente.

5.4.5.3. Nivel BIM 2

En el nivel BIM 2, o de colaboración total, se implementa un enfoque colaborativo en el cual cada una de las entidades participantes en el proyecto emplea sus respectivos modelos tridimensionales en formato CAD. La información de diseño se intercambia mediante un formato de archivo

estandarizado, lo que posibilita que cada organización integre sus propios datos con los de las demás para llevar a cabo análisis y exploraciones. Por lo tanto, es crucial que cualquier software CAD utilizado por cada parte pueda exportar hacia dicho formato de archivo común.

En este nivel, el enfoque principal se centra en la manera como se comparten los datos entre los participantes del proyecto. Adicionalmente, se presentan dos nuevas facetas asociadas a la gestión del proyecto: la dimensión 4D, la cual está relacionada con la gestión del tiempo, y la dimensión 5D, la cual aborda el cálculo de los costos. La norma ISO 19650 establece los requisitos necesarios para que un proyecto alcance el Nivel 2 de BIM, el cual se centra principalmente en la colaboración en el trabajo. No obstante, no es imperativo que todos los miembros del equipo utilicen los mismos modelos CAD en tres dimensiones (3D). En cambio, se les brinda la flexibilidad de emplear sus propios modelos CAD. Lo que verdaderamente importa es asegurar la existencia de un formato de archivo común, como el archivo IFC (Industry Foundation Classes), que contenga toda la información de diseño requerida.

Este nivel de colaboración implica una sinergia plena entre todas las entidades involucradas en el proyecto, permitiendo una visión global de todos los datos disponibles y la capacidad de realizar modificaciones de manera conjunta. Este enfoque facilita la creación de un modelo BIM integrado que refleje la colaboración y coordinación de todas las disciplinas. Es fundamental que el software de diseño asistido por computadora (CAD) utilizado por cada entidad tenga la capacidad de exportar hacia formatos de archivo estándar y ampliamente reconocidos, como archivos IFC o archivos COBie, por ejemplo, para asegurar la interoperabilidad y el intercambio eficiente de información entre las partes involucradas.

5.4.5.4. Nivel BIM 3

En el nivel BIM 3, se alcanza una completa integración, es decir, se alcanza una colaboración sinérgica entre todas las disciplinas participantes en el proyecto a través de la utilización de un modelo compartido único que se mantiene en un CDE. Mediante esta estrategia, se elimina el riesgo de

inconsistencias en la información, ya que todas las partes tienen acceso y pueden efectuar modificaciones en el mismo modelo. Esta metodología se denomina "Open BIM".

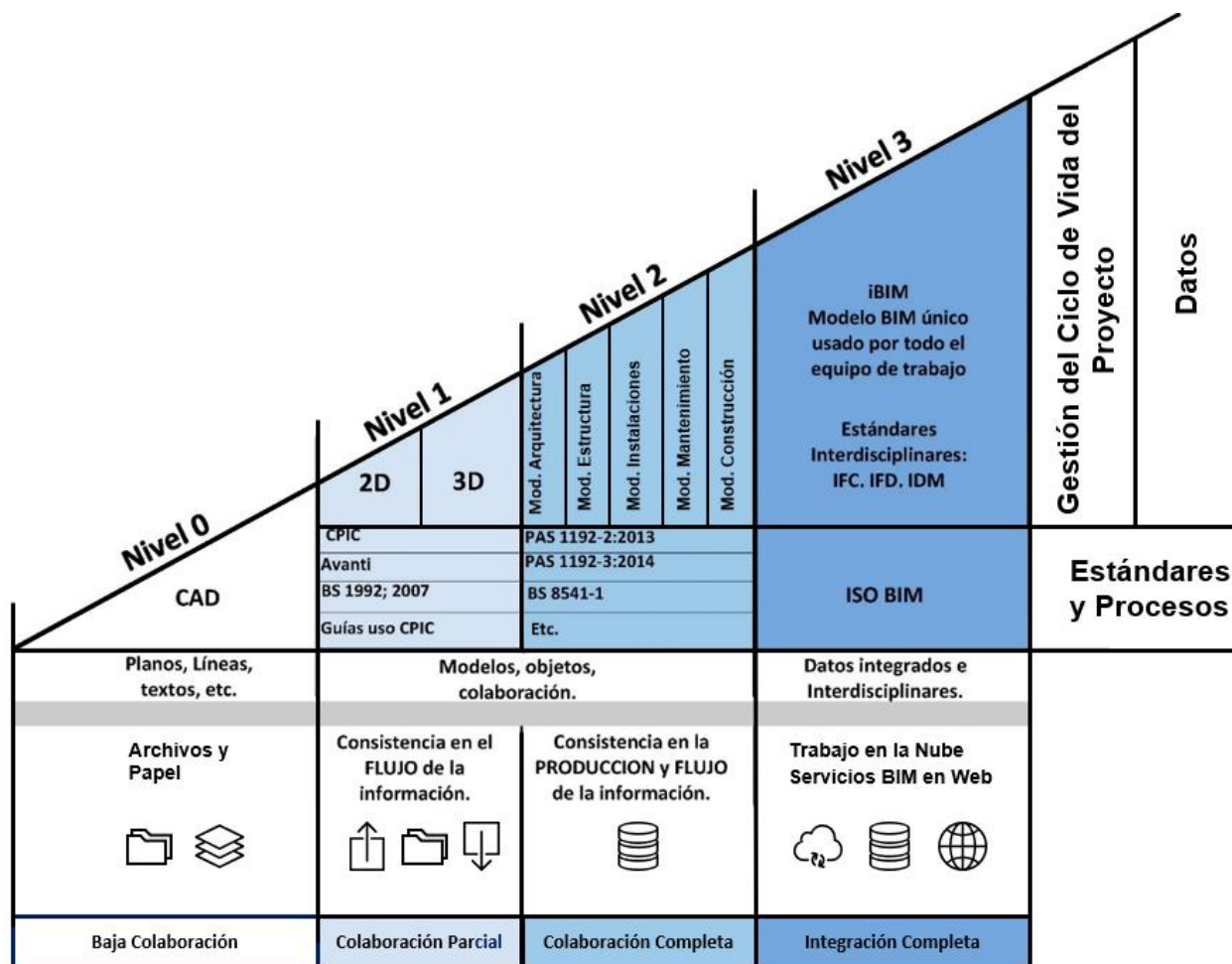
El Nivel 3 de BIM es el objetivo más alto en la industria de la construcción. Su propósito principal es lograr una integración completa de los datos, conocida como iBIM, en un entorno basado en la nube. Esto se logra mediante el establecimiento de un modelo compartido y accesible para todas las partes involucradas en el proyecto, quienes pueden contribuir con sus propios datos. En esencia, el Nivel 3 de BIM representa un nivel máximo de integración, en el cual se emplea un modelo único como punto de referencia y se almacena en un contenedor, como el formato de archivo IFC. Este archivo se convierte en el recurso central que se comparte y conserva en la nube, permitiendo así que todas las partes interesadas en el proyecto accedan a los mismos datos. Como resultado, el equipo de proyecto puede evaluar en tiempo real los efectos de cada acción llevada a cabo en el modelo.

El Nivel 3 BIM brinda la capacidad de tener un dominio total sobre el ciclo de vida completo de un proyecto de construcción, abarcando desde el diseño inicial hasta la ejecución final, incluyendo aspectos como los costos y el mantenimiento. Sin embargo, a nivel global, el sector AEC todavía se encuentra lejos de alcanzar este nivel de madurez. En la actualidad, los esfuerzos se centran principalmente en brindar apoyo, capacitación y educación necesarios para lograr la implementación exitosa del Nivel 2 BIM, que representa un paso fundamental en el camino hacia la plena adopción del BIM.

A continuación, la Figura 21 presenta un diagrama ilustrativo que detalla las principales características asociadas a cada nivel de madurez en la implementación de BIM, siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ISO 19650.

Figura 21

Niveles de madurez BIM



Nota: Tomado de El Nivel 1 de Madurez BIM, por Revit - Hecho en México, s.f.

<https://revitenmexico.blogspot.com/2020/03/el-nivel-1-de-bim.html>

5.4.6. Implementación BIM en el Sector AEC

La implementación de la metodología BIM en la industria AEC se refiere a la adopción de esta herramienta de gestión y trabajo en los procesos relacionados con el diseño, construcción y mantenimiento de edificaciones e infraestructuras. BIM se basa en la creación de un modelo digital tridimensional que integra información de todas las disciplinas involucradas en el proyecto, lo cual facilita la colaboración y la detección temprana de problemas y conflictos. La implementación de BIM

conlleva cambios en los procesos de trabajo existentes, la capacitación de los profesionales involucrados y la inversión en tecnología y software especializados. A continuación, se desarrollan los diferentes aspectos que deben ser considerados para implementar BIM en empresas de construcción de manera exitosa, enfatizando su uso durante la etapa de preconstrucción.

5.4.6.1. Gestión de la Información

El primer tema a desarrollar para implementar BIM en empresas de construcción es la gestión de la información. BIM se refiere, en esencia, a la definición de una estructura de gestión de información para los datos y modelos generados en la etapa de diseño, así como el establecimiento de protocolos y estándares de intercambio de información entre los diferentes actores involucrados en el proyecto. En esta etapa, se deben definir los protocolos y estándares para la creación, almacenamiento, intercambio y gestión de la información relacionada con el proyecto.

Para llevar a cabo una gestión eficiente de la información en proyectos de construcción, es necesario utilizar un enfoque integrado de BIM, donde se involucren todos los actores del proyecto y se definan los protocolos y estándares de intercambio de información entre ellos. Este enfoque integrado debe estar basado en la utilización de un modelo de información compartido en un Entorno Común de Datos (CDE, por sus siglas en inglés), que permita la colaboración y coordinación entre los diferentes actores involucrados en el proyecto.

En cuanto a la creación de modelos digitales, Eastman, et al. (2011, p. 16) afirman que es posible concebir BIM como una tecnología de modelado y un conjunto asociado de procesos para producir, comunicar y analizar modelos de construcción. Las principales características que definen estos modelos BIM, son:

- Contienen componentes de construcción que pueden ser representados mediante modelos digitales que contienen atributos gráficos y de datos, así como reglas paramétricas que permiten su manipulación de manera automatizada.

- Componentes que incluyen información sobre su comportamiento en los análisis de planificación y procesos de trabajo, tales como extracción de cantidades de obra, especificaciones técnicas y análisis energéticos.
- Datos coherentes y no redundantes, de manera que cualquier cambio en los datos de un componente se vea reflejado en todas las vistas y ensamblajes del proyecto en los que éste se encuentra.
- Datos coordinados para que todas las vistas de un modelo se representen de manera consistente y coordinada entre sí.

Por su parte, el CDE es una plataforma confiable, segura y bien estructurada diseñada para facilitar el intercambio de información en un proyecto. Esta plataforma, que se basa en la tecnología en la nube, desempeña un papel fundamental en los proyectos implementados con la metodología BIM, ya que proporciona una forma organizada y accesible de gestionar grandes volúmenes de información generados por un proyecto BIM. A través del CDE, todos los servicios necesarios, como la visualización de planos, marcadores 2D/3D, reporte de incidencias y compartición de archivos, están integrados en una única plataforma. Además, se puede acceder a todos estos recursos a través de la web, tabletas y teléfonos inteligentes. Cuando los equipos de un proyecto de construcción cuentan con la información adecuada en el momento oportuno, el trabajo se desarrolla de manera más eficiente y ágil.

A continuación, se relacionan algunos de los CDE más empleados por la industria del diseño y la construcción para la publicación, gestión y revisión de todos los documentos, planos y modelos de un proyecto en la nube (Esarte-Eseverri, 2020):

- BIM 360 (Hoy Autodesk Construction Cloud – ACC), de Autodesk.
- BIM Server Center, de CYPE Ingenieros.
- Bimplus, de ALLPLAN.
- EcoDomus, de EcoDomus.

- Revizto, de Vizerra
- Trimble Connect, de Trimble.

Otros aspectos involucrados en la gestión de la información en proyectos de construcción son la definición de los roles y responsabilidades de los actores involucrados, la definición de los requisitos de información para cada fase del proyecto, la definición de los protocolos de intercambio de información, la definición de los estándares de calidad y de formato de los datos y modelos generados, la implementación de sistemas de control de versiones, la implementación de herramientas para la gestión y el análisis de datos, entre otros.

Para implementar una gestión eficiente de la información en proyectos de construcción, es necesario contar con personal capacitado y con experiencia en BIM, así como con herramientas y software especializados para la gestión y análisis de datos y modelos. Asimismo, es importante contar con un liderazgo comprometido con la implementación de BIM en la empresa y con una visión estratégica de la gestión de información en proyectos de construcción.

5.4.6.2. Planificación y Programación

La planificación y programación de proyectos de construcción mediante la utilización de modelos BIM permite la generación de cronogramas detallados, simulaciones y análisis de distintos escenarios de ejecución, así como de los costos asociados a cada una de las alternativas de diseño inicialmente planteadas. Una adecuada planificación y programación son esenciales para el éxito de cualquier proyecto constructivo, debido a que ayudan a identificar y coordinar las actividades necesarias para completar el proyecto a tiempo y dentro del presupuesto. Al utilizar BIM, los equipos de trabajo pueden crear modelos virtuales que representan la estructura física del edificio, lo que permite una mejor comprensión de las limitaciones y oportunidades del proyecto. Además, BIM permite a los equipos de proyecto planificar la secuencia de trabajo de manera más detallada, identificando y resolviendo posibles conflictos de manera temprana.

La planificación y programación en proyectos de construcción también implica la elaboración de un plan maestro del proyecto, la identificación de los recursos necesarios, la definición de las tareas y actividades necesarias para completar el proyecto y la elaboración de un cronograma detallado (Kymmell, 2008, pp. 52-58).

5.4.6.3. Análisis de Costos y Presupuestos

La planificación y el control de costos son esenciales para el éxito de cualquier proyecto de construcción, ya que constituyen insumos fundamentales para la factibilidad del proyecto, ayudando a garantizar que se cumpla con el presupuesto y que se logren los objetivos del proyecto. BIM puede ser una herramienta efectiva para el análisis de costos y presupuestos en proyectos de construcción, ya que permiten, a los equipos de proyecto, generar modelos virtuales que facilitan la visualización de los materiales y componentes necesarios para la construcción. Además, BIM permite una mejor integración de los datos de diseño y construcción, lo que facilita la identificación temprana de posibles costos adicionales y la optimización de los costos del proyecto.

El análisis de costos y presupuestos en proyectos de construcción también implica la elaboración de una estimación de costos detallada; la generación de reportes detallados; la comparación de distintas opciones de diseño y ejecución; y la identificación de los recursos necesarios para completar el proyecto dentro del presupuesto.

5.4.6.4. Gestión de Riesgos

Los proyectos de construcción están sujetos a diversos riesgos que pueden afectar el éxito del proyecto, incluyendo retrasos en la programación, aumento de los costos, cambios en los requisitos del cliente, entre otros. BIM es una herramienta efectiva para la gestión de riesgos en proyectos de construcción, pues, al utilizar modelos digitales, los equipos de proyecto pueden simular diferentes escenarios y analizar los riesgos asociados con cada uno de ellos. Esto permite identificar, evaluar y mitigar los riesgos potenciales antes de que ocurran.

En tal sentido, BIM ofrece una amplia gama de herramientas para mejorar la seguridad, calidad y controles de un proyecto. Estas herramientas, basadas en capacidades de predicción y análisis, permiten al equipo mejorar los resultados del proyecto y aumentar los márgenes de productividad y ganancia, sin descuidar la seguridad de las personas participantes en el proceso. Además, BIM no solo se enfoca en el rendimiento de proyectos individuales, sino que también ofrece visibilidad a los ejecutivos sobre el rendimiento general de proyectos cruzados en toda la compañía.

La gestión de riesgos en proyectos de construcción también implica la elaboración de un plan de riesgos detallado, en donde se incluya el análisis de impacto y probabilidad; así como la generación de planes de mitigación, mediante el cual se identifiquen las medidas necesarias para minimizar el impacto de los riesgos asociados. Cuando se implementa BIM en un proyecto de construcción, el promotor (propietario) del proyecto es quien generalmente necesita realizar un análisis detallado de los riesgos asociados, bien sea en una entidad pública o una privada. Sin embargo, es igualmente importante que las demás empresas o especialistas involucradas en el ciclo de vida del proyecto realicen dicho análisis.

Entre los principales riesgos se encuentran:

- La falta de conocimiento de BIM por parte de los agentes involucrados.
- Limitaciones tecnológicas.
- Expectativas poco realistas del promotor.
- Definición insuficiente de los requisitos y alcances del modelo BIM.
- Transferencia deficiente de datos y/o modelos BIM entre fases.

La ocurrencia de problemas derivados de los riesgos antes mencionados puede mejorarse mediante la adopción de algunas prácticas recomendadas, tales como:

- Establecer protocolos claros de intercambio de datos BIM en el contrato de los diferentes actores del proyecto.

- Utilizar un Entorno Común de Datos (CDE) para organizar y compartir los datos BIM en un lugar centralizado y seguro.
- Establecer un formato de archivo y un conjunto de reglas estandarizados para la transferencia de datos BIM, como IFC o COBie.
- Realizar pruebas de interoperabilidad entre diferentes softwares BIM para identificar y solucionar problemas antes de la transferencia de datos.
- Implementar la validación automática de los datos BIM para garantizar la calidad y precisión de los mismos.
- Proporcionar formación y capacitación adecuadas a todos los miembros del equipo del proyecto en cuanto a la metodología y la transferencia de datos BIM.

5.4.6.5. Coordinación y Colaboración

Este apartado se refiere a la utilización de modelos BIM para la coordinación y colaboración entre los diferentes actores involucrados en el proyecto, detección de interferencias y conflictos, así como la generación de soluciones integrales. La coordinación y colaboración implican la cooperación y comunicación efectivas entre los miembros del equipo de proyecto y los stakeholders.

BIM permite la coordinación y colaboración al facilitar la creación de modelos 3D detallados para la construcción, sin importar su escala o complejidad, que se pueden compartir y actualizar en tiempo real. Los modelos BIM permiten a los miembros del equipo de proyecto trabajar en conjunto y coordinar sus actividades para lograr un resultado óptimo. Además, BIM permite la detección temprana de conflictos entre diferentes disciplinas y sistemas de la construcción, lo que reduce los errores y cambios en la obra, lo que puede ahorrar tiempo y dinero.

En la fase de preconstrucción, la implementación de BIM se centra en la colaboración y coordinación entre los diferentes equipos de diseño y construcción. Para ello, es necesario establecer un plan de coordinación que detalle los roles y responsabilidades de cada equipo, así como los plazos y

entregables. La colaboración en BIM se fomenta mediante el desarrollo sincrónico y colaborativo de los modelos BIM, a través del uso de herramientas como, por ejemplo, Revit, la cual permite a todos los equipos trabajar en una plataforma común y colaborativa, facilitando el desarrollo de modelos centrales a través de los aportes realizados por diferentes especialistas de manera local y que pueden ser visualizados por todo el equipo en tiempo real. Para esto, se establecen protocolos de intercambio de información y se utilizan herramientas de revisión y validación para asegurar que el modelo BIM es completo y coherente.

En cuanto a la coordinación de los proyectos, BIM sugiere la conformación del rol de coordinador BIM, persona con conocimientos en la metodología y en procesos constructivos. El coordinador BIM estará encargado de integrar los modelos desarrollados por las diferentes disciplinas involucradas en el proyecto para realizar la detección de interferencias e identificación de incidencias relacionadas con deficiencias de diseño para comunicarlas a los equipos de diseño en busca de una solución durante la fase de diseño. Además, BIM promueve la celebración de reuniones periódicas de coordinación interdisciplinar, en las que participan todos los equipos para discutir los avances y posibles problemas. También, se utilizan herramientas de comunicación y gestión de proyectos para mantener a todos los equipos informados y actualizados sobre el progreso del proyecto.

En resumen, la coordinación y colaboración BIM en la fase de preconstrucción se basa en el uso de herramientas y protocolos que permiten una comunicación fluida y una visión común del proyecto, con el objetivo de minimizar los errores, reducir los costos y acortar los plazos de ejecución.

5.4.6.6. Comunicación y Visualización

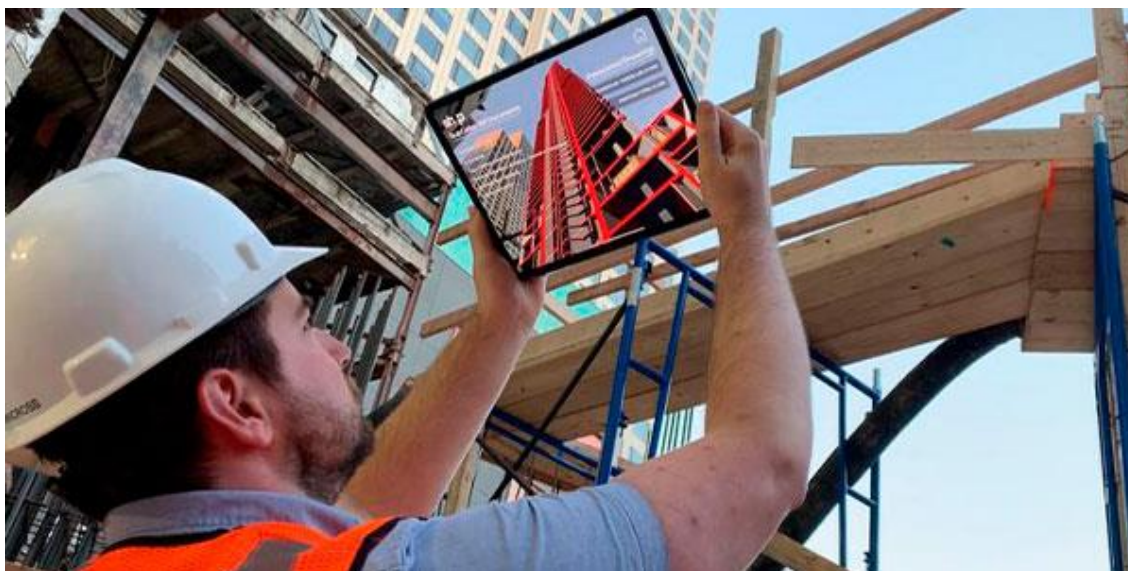
La comunicación es esencial en cualquier proyecto de construcción, y BIM puede mejorar la comunicación entre los miembros del equipo de proyecto, los contratistas, los propietarios y otras partes interesadas. Al utilizar un modelo BIM, los miembros del equipo de proyecto pueden presentar

información detallada en un formato visual fácil de entender. Además, los modelos BIM permiten una mejor comunicación y colaboración en tiempo real entre los miembros del equipo de proyecto.

La visualización también es importante en BIM, ya que permite a los profesionales y a los stakeholders comprender mejor los diseños y la planificación del proyecto. BIM permite la creación de visualizaciones detalladas y realistas de los modelos de construcción, presentaciones y reportes interactivos, lo que puede ayudar a los involucrados a visualizar el proyecto en su totalidad y tomar decisiones informadas. Además, mediante el uso de modelos BIM es posible abordar el proyecto en sus tres dimensiones e, incluso, realizar inmersiones dentro de un entorno de realidad virtual o de realidad aumentada, simulando recorridos virtuales dentro del modelo 3D para la visualización de los componentes a escala real en la etapa de diseño o previsualizarlos en su ubicación final en el sitio de obra durante la ejecución de las tareas de construcción. A continuación, la Figura 22 ilustra sobre la utilización de modelos BIM mediante realidad aumentada en obra.

Figura 22

Visualización de modelos BIM en obra mediante realidad aumentada



Nota: Tomado de <https://www.semco.com.pe/wp-content/uploads/2021/09/Unity-para-arquitectura-ingenieria-y-construccion.jpg>



Nota: Tomado de

https://linuxteaching.com/storage/img/images_3/augmented_reality_in_construction.png

5.4.6.7. Evaluación y Mejora Continua

La implementación de BIM no es solo un proceso único, sino que también requiere evaluación y mejora continua para garantizar su efectividad y eficiencia. Los proyectos gestionados con base en la metodología BIM deben ser objeto de evaluación permanente, posibilitando la aplicación de métricas y la recopilación de datos para la formulación de planes de mejora continua. Algunos elementos fundamentales del proceso de evaluación y mejora son el análisis de los resultados obtenidos; la identificación de áreas de mejora continua en los procesos de planificación y gestión de proyectos; y la implementación de acciones de mejora; entre otros.

Para realizar una evaluación y mejora continua, es importante establecer métricas de rendimiento y medir el progreso a lo largo del tiempo. Un proceso BIM exitoso debe ser repetible, escalable, medible y estandarizado (Campbell, 2013). Para lograr esto, el plan estratégico para la implementación BIM debe asegurarse de evaluar dónde se encuentra la organización; establecer los objetivos proyectando dónde se quiere llegar; y luego, desarrollar un plan sobre cómo llegar allí. De manera paralela, debe desarrollarse un plan de seguimiento con el que se mida el progreso con

regularidad y frecuencia. Al hacerlo, se mantienen los objetivos a la vista en todo momento, se conserva el sentido de la urgencia y se realizan las correcciones menores necesarias para lograr el objetivo final de transformar la cultura de la organización para adoptar completamente BIM.

Las métricas de rendimiento pueden incluir la calidad de la información del modelo, la eficiencia del proceso de diseño, la precisión del presupuesto y la programación, y la satisfacción del cliente. Al medir y monitorear estas métricas, se puede identificar cualquier problema o área que necesite mejora. Es importante destacar que la implementación de BIM también debe ser adaptable y flexible para responder a los cambios en las necesidades del proyecto y las expectativas del cliente. La mejora continua implica la identificación de oportunidades para mejorar y hacer cambios en el proceso de implementación de BIM para adaptarse a los cambios en el proyecto y las expectativas del cliente.

5.4.6.8. Factores Críticos de Éxito

La implementación exitosa de BIM en una empresa de construcción depende de varios factores críticos de éxito. Estos factores incluyen la cultura organizacional, la gestión del cambio, la comunicación y la colaboración.

La cultura organizacional de la empresa es un factor importante a considerar al implementar BIM. La implementación de BIM puede requerir cambios significativos en la forma en que la empresa trabaja y se organiza, por lo que es fundamental que la cultura organizacional apoye estos cambios. Esto puede implicar la revisión y actualización de políticas y procedimientos, la capacitación y educación del personal y la promoción de una cultura de colaboración y trabajo en equipo.

La gestión del cambio también es un factor crítico de éxito en la implementación de BIM. Es importante identificar y anticipar los posibles obstáculos y resistencias al cambio, y establecer un plan claro y detallado para abordar estos problemas. La gestión del cambio debe incluir la participación activa de los empleados en la planificación y ejecución del cambio, así como la comunicación clara y efectiva de los beneficios y objetivos de la implementación de BIM.

La comunicación y la colaboración son fundamentales para el éxito de la implementación de BIM en una empresa de construcción. La implementación de BIM involucra a múltiples partes interesadas, incluidos arquitectos, ingenieros, contratistas, subcontratistas y propietarios. Es importante establecer canales de comunicación claros y efectivos para garantizar que todas las partes interesadas estén informadas y actualizadas sobre el progreso del proyecto. La colaboración también es importante para maximizar el valor de BIM en la empresa, ya que permite la identificación temprana de problemas y la resolución rápida de los mismos.

5.4.7. Aplicaciones de BIM en la Fase de Preconstrucción

Los procesos para la gestión de la fase de preconstrucción en proyectos de edificación desempeñan un papel fundamental en la planificación y preparación del proyecto antes de que comience la construcción propiamente dicha. Estos procesos abarcan una serie de actividades clave que se llevan a cabo para garantizar una base sólida y una toma de decisiones informada durante el desarrollo del proyecto. La metodología BIM aplicada a la fase de preconstrucción de obras abarca diversos aspectos relacionados con la preparación del sitio de obra y otros procesos previos a la ejecución de las tareas de construcción. A continuación, se explican las aplicaciones clave del BIM en esta etapa del proceso constructivo.

5.4.7.1. Diseño y Modelado del Sitio de Obra

En la fase de preconstrucción, el BIM se utiliza para modelar y diseñar el sitio de obra de manera virtual, eficiente y coordinada. Esto implica crear un modelo 3D detallado que representa la topografía, los elementos existentes, las infraestructuras subterráneas y otros aspectos relevantes del terreno. Este modelo BIM permite analizar y planificar el uso eficiente y dinámico del espacio durante la ejecución de la construcción; la ubicación de equipos y materiales; y la logística de la obra.

Algunas de las aplicaciones de BIM en esta etapa incluyen:

- **Modelado del terreno y topografía:** Utilizando datos topográficos y geoespaciales, se puede crear un modelo tridimensional del terreno y el sitio de obra. Esto permite analizar y visualizar la topografía existente, identificar áreas de pendiente pronunciada o terrenos problemáticos, y tomar decisiones informadas sobre la ubicación de infraestructuras temporales, como caminos de acceso, plataformas de trabajo y áreas de almacenamiento.
- **Coordinación de servicios públicos:** BIM permite integrar información sobre las redes de servicios públicos, como agua, electricidad, gas y telecomunicaciones, en el modelo del sitio de obra. Esto facilita la identificación de posibles interferencias y conflictos entre los servicios y las estructuras temporales o permanentes planificadas en el sitio. Se pueden realizar análisis de detección de interferencias para evitar problemas durante la construcción.
- **Planificación de la logística de la construcción:** BIM se utiliza para visualizar y coordinar las actividades de construcción en el sitio. Esto implica la ubicación de grúas, equipos pesados, áreas de acopio de materiales, zonas de descarga y espacios de trabajo. Al modelar estos elementos en un entorno virtual, se pueden optimizar las secuencias de trabajo, minimizar los conflictos y maximizar la eficiencia en la ejecución de las tareas.
- **Análisis de accesibilidad y seguridad:** Mediante el modelado de las rutas de acceso, salidas de emergencia y áreas de seguridad en el sitio de obra, BIM permite evaluar la accesibilidad y la seguridad en caso de evacuación o situaciones de emergencia. Se pueden simular diferentes escenarios y realizar análisis de evacuación para identificar posibles problemas y mejorar los planes de contingencia.

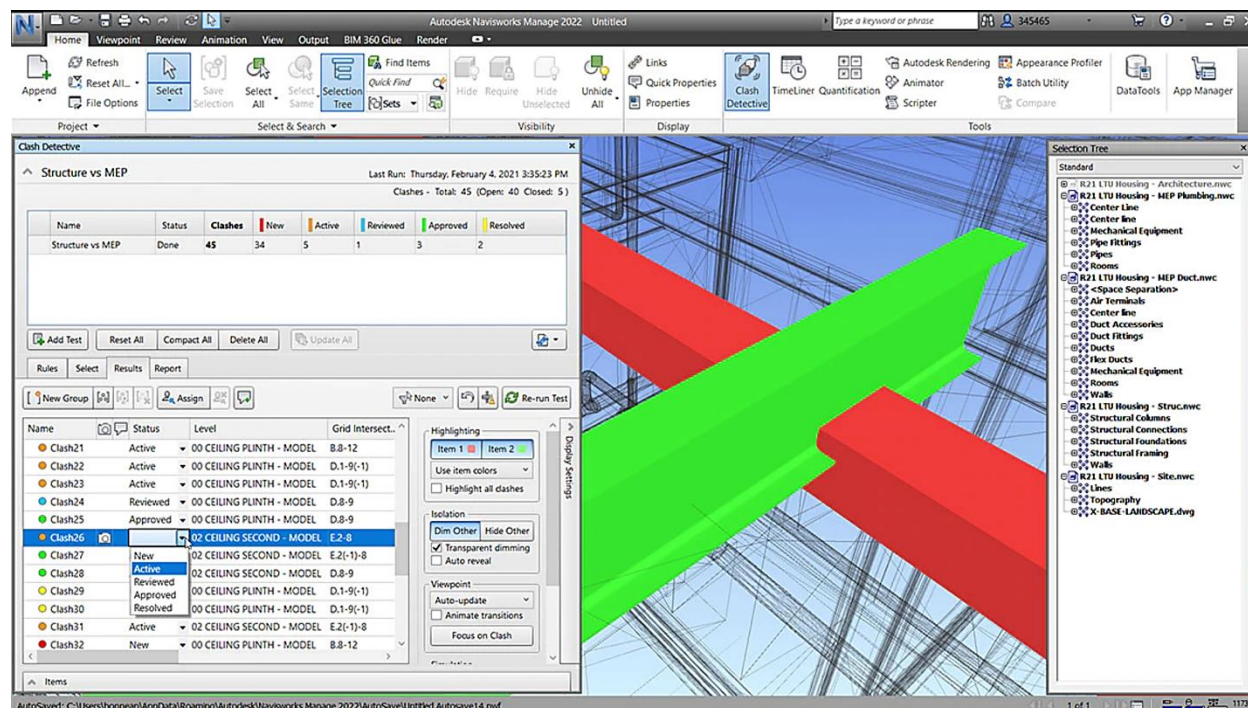
Algunas de las formas en que se aplica BIM en este contexto incluyen:

- **Modelado 3D de los elementos del proyecto:** Se crean modelos tridimensionales de los diferentes componentes del proyecto, como estructuras, instalaciones, sistemas mecánicos, eléctricos y de plomería (MEP), y otros elementos relevantes. Estos modelos se integran en un entorno virtual compartido, lo que facilita la detección de posibles interferencias y conflictos entre ellos.
- **Clash Detection:** Utilizando herramientas de clash detection, se realizan análisis automáticos para identificar colisiones y conflictos entre los elementos del proyecto. Estos análisis comparan la geometría y las propiedades de los objetos en el modelo y generan informes que destacan las áreas problemáticas. Los conflictos pueden incluir tuberías que se cruzan, estructuras que interfieren con ductos o equipos, o cualquier otro tipo de interferencia entre los elementos del proyecto.
- **Coordinación multidisciplinar:** BIM permite que los diferentes equipos de diseño y disciplinas trabajen de manera colaborativa y coordinada. Cada equipo puede desarrollar su propio modelo 3D con información específica de su área, y luego estos modelos se combinan para evaluar las posibles interferencias y conflictos. La coordinación multidisciplinar garantiza que todas las disciplinas estén al tanto de los elementos y requisitos de diseño de los demás, lo que reduce las posibilidades de interferencias y conflictos.
- **Resolución de conflictos y optimización:** Una vez identificados los conflictos, se lleva a cabo un proceso de resolución que implica modificar los diseños, ajustar las ubicaciones de los elementos o realizar cambios necesarios para eliminar las interferencias. Además, se pueden explorar diferentes alternativas y soluciones para optimizar el diseño y

minimizar los conflictos. Esto se logra mediante la iteración y la colaboración continua entre los equipos de diseño y construcción.

Figura 24

Análisis de interferencias y detección de conflictos en modelos BIM



Nota: Tomado de <https://gdm-catalog-fmapi-prod.imgix.net/ProductScreenshot/6d301986-f311-4eb2-82be-be1d7437dab8.png>

5.4.7.3. Secuenciación y Programación de Actividades

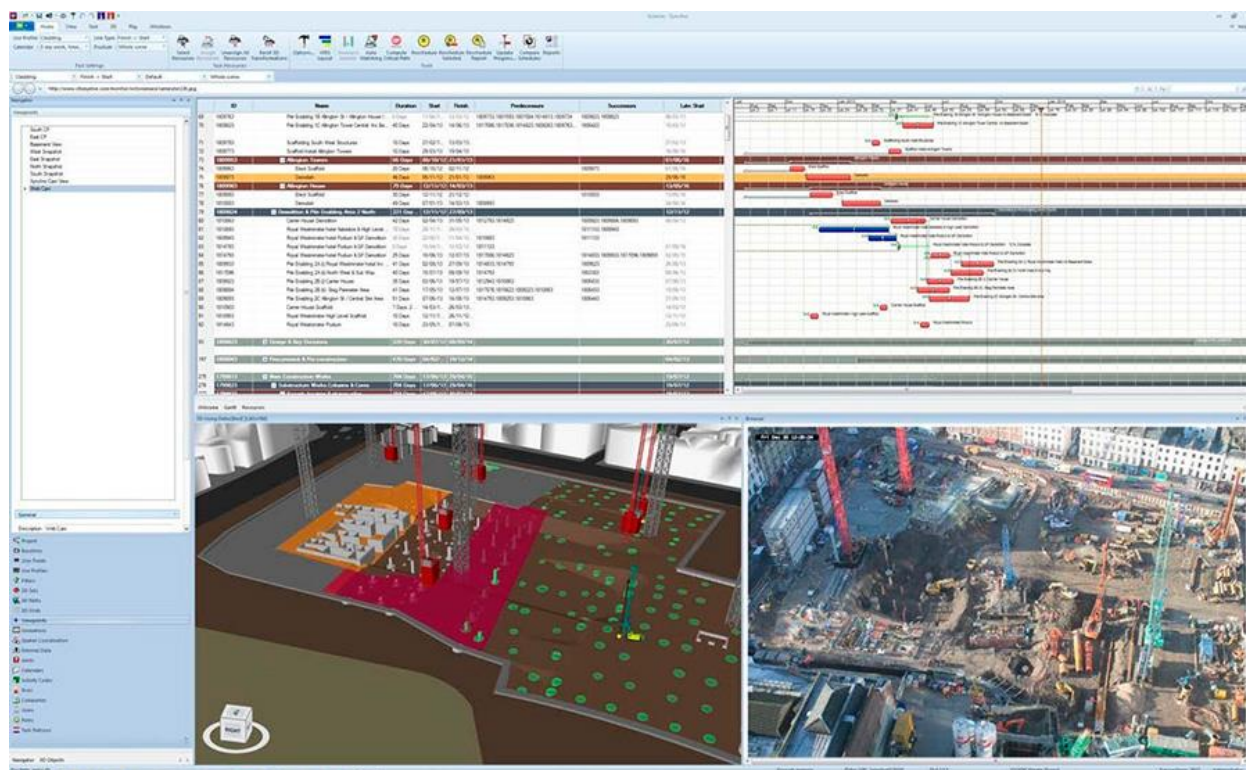
El BIM se emplea para planificar y programar las actividades en la fase de preconstrucción (4D). A través del modelo BIM, se pueden visualizar las diferentes etapas de la obra, establecer secuencias de trabajo y asignar recursos. Esto facilita la coordinación entre los distintos equipos y la optimización de los procesos, permitiendo una ejecución más eficiente y reduciendo los tiempos de construcción.

Algunas aplicaciones de BIM en este proceso, son:

- **Creación de un modelo 4D:** BIM permite agregar la dimensión temporal al modelo tridimensional (3D), lo que resulta en un modelo 4D. Esto implica vincular los elementos del proyecto con su programación y calendario correspondiente. Al asignar fechas de inicio y finalización a cada componente del modelo, se puede visualizar la secuencia de construcción a lo largo del tiempo. Esta representación visual ayuda a comprender cómo las diferentes actividades se superponen y se relacionan entre sí.
- **Simulación y análisis de la construcción:** Utilizando el modelo 4D, se pueden realizar simulaciones y análisis de la construcción para evaluar la secuencia de actividades y su impacto en el cronograma. Esto ayuda a identificar posibles conflictos, cuellos de botella o retrasos en la secuencia de construcción, permitiendo ajustes y optimizaciones antes de iniciar la obra física.
- **Identificación de dependencias:** BIM permite identificar las dependencias entre las diferentes actividades de construcción. Esto implica establecer las relaciones de precedencia entre las tareas y determinar qué actividades deben completarse antes de que otras puedan comenzar. Al visualizar estas dependencias en el modelo 4D, se pueden identificar posibles problemas de secuenciación y realizar ajustes para optimizar la programación.
- **Colaboración y comunicación:** BIM facilita la colaboración y la comunicación entre los diferentes actores del proyecto, incluidos los equipos de diseño, ingeniería, logística y construcción. Todos los involucrados pueden acceder al modelo 4D y participar en la planificación y secuenciación de actividades. Esto permite una mayor coordinación y alineación entre los diferentes equipos, lo que reduce los errores y los retrasos en la fase de preconstrucción.

Figura 25

Secuenciación y programación de actividades con modelos BIM



Nota: Tomado de https://eadic.com/wp-content/uploads/2018/11/bim_hollywood-1.jpg

5.4.7.4. Estimación de Costos y Presupuesto

El BIM se utiliza para la estimación de costos y la elaboración del presupuesto en la fase de preconstrucción (5D). Al contar con un modelo 3D detallado, se pueden extraer mediciones precisas de los elementos constructivos y asignar costos unitarios para cada componente. Esto proporciona una base sólida para la elaboración del presupuesto y un seguimiento más preciso de los costos durante todo el proyecto.

A continuación, se describen algunas formas en las que se aplica BIM en este contexto:

- Extracción automática de cantidades:** El modelo BIM contiene información detallada sobre los elementos constructivos, como muros, puertas, ventanas, instalaciones, entre otros. Utilizando herramientas y software específicos, es posible extraer

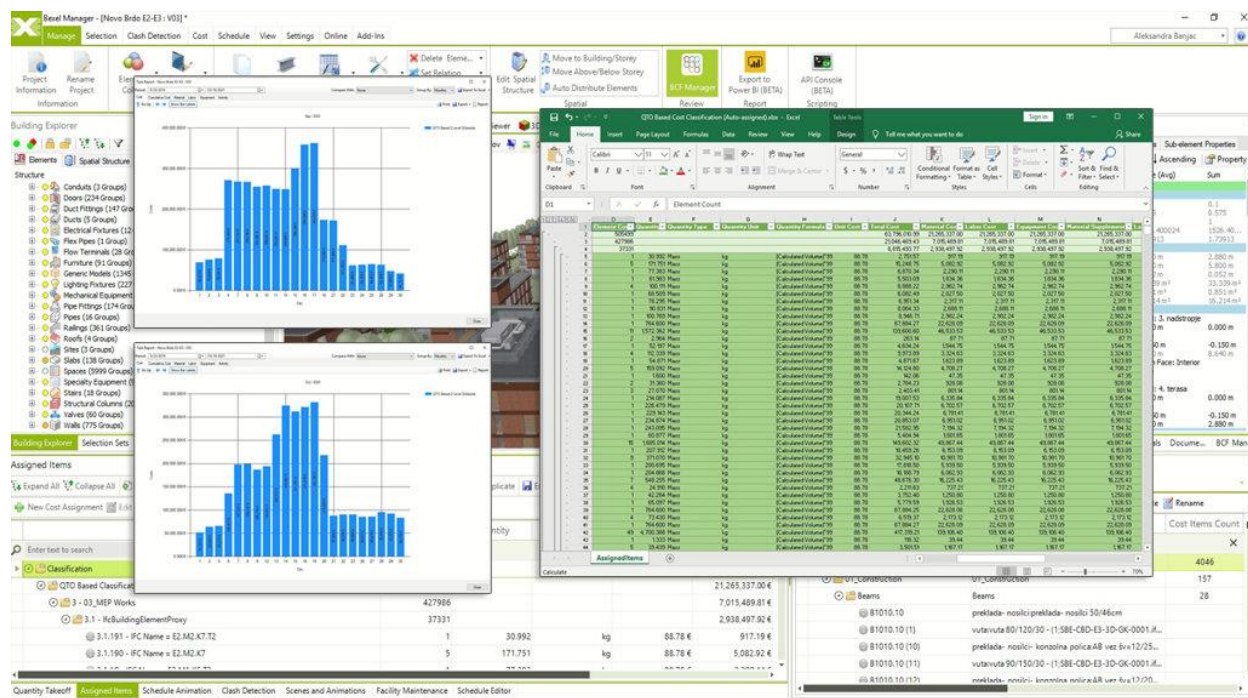
automáticamente las cantidades y dimensiones de estos elementos a partir del modelo.

Esto agiliza el proceso de medición y cuantificación de materiales y componentes, lo que a su vez contribuye a una estimación de costos más precisa.

- **Asociación de costos a elementos del modelo:** Una vez extraídas las cantidades, se pueden asignar costos unitarios a cada elemento del modelo BIM. Esto implica asociar valores monetarios a los materiales, mano de obra y otros recursos necesarios para la construcción. Con esta información, se puede generar un presupuesto detallado que refleje de manera precisa los costos asociados a cada componente del proyecto.
- **Actualización automática del presupuesto:** Uno de los beneficios de utilizar BIM en la estimación de costos es la capacidad de realizar actualizaciones automáticas del presupuesto a medida que se realizan modificaciones en el diseño. Al realizar cambios en el modelo BIM, como agregar, eliminar o modificar elementos, el costo asociado a cada componente se actualiza automáticamente, lo que permite una evaluación continua del impacto en el presupuesto.
- **Análisis de alternativas y escenarios:** Con el modelo BIM y la información cuantitativa asociada, es posible realizar análisis de alternativas y escenarios para evaluar diferentes opciones de diseño y sus implicaciones económicas. Esto permite comparar distintas variantes y tomar decisiones informadas en función de los costos y el presupuesto disponible.
- **Integración con software de gestión de costos:** El modelo BIM puede integrarse con software de gestión de costos y presupuestos, lo que facilita el seguimiento y control del gasto a lo largo del proyecto. La información del modelo se puede utilizar para generar informes y análisis de costos en tiempo real, lo que brinda una visión integral de la situación financiera del proyecto.

Figura 26

Estimación de costos y presupuesto a partir de modelos BIM



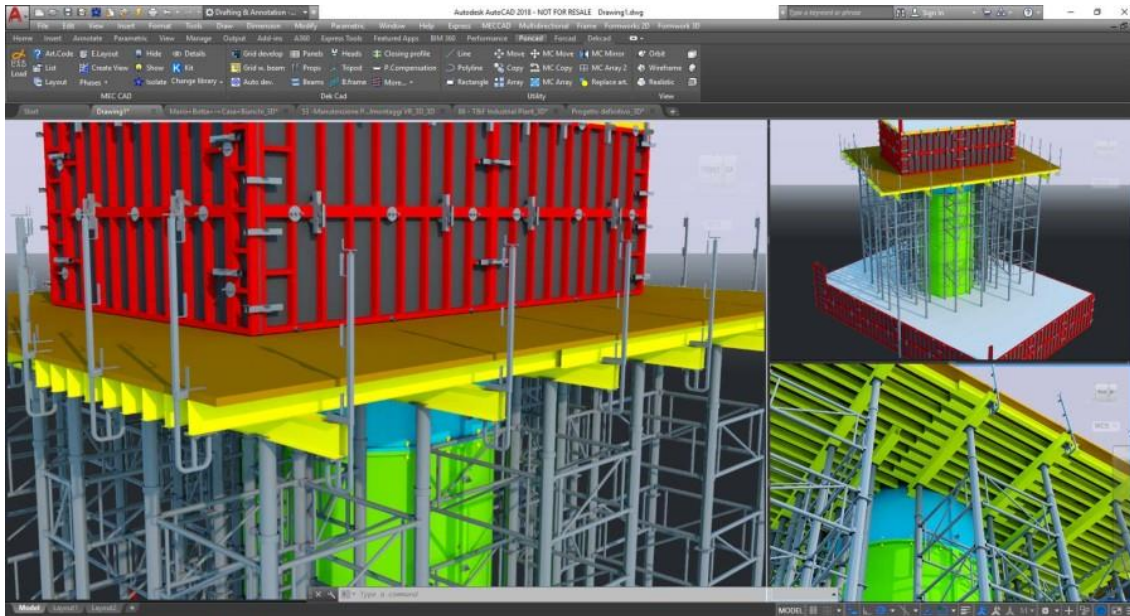
Nota: Tomado de <https://bexelmanager.com/wp-content/uploads/2020/08/Budgeting-and-Bill-of-Quantities.jpg>

5.4.7.5. Diseño de Cimbras y Encofrados

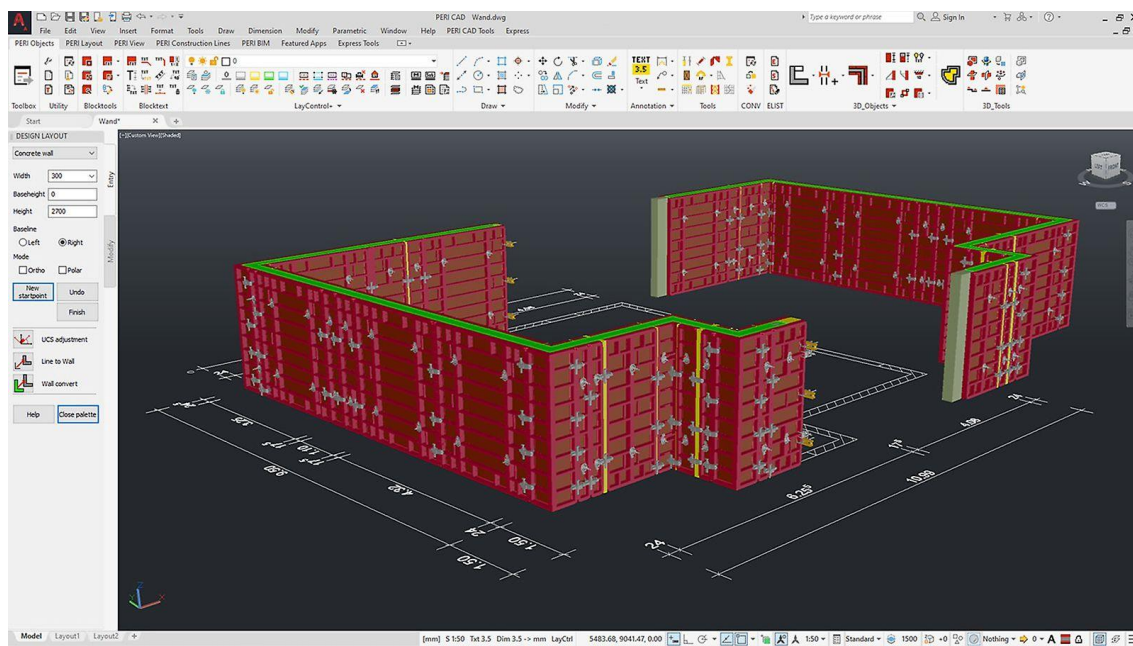
La aplicación de BIM en el diseño de cimbras y encofrados en la fase de pre-construcción permite un diseño más preciso, una coordinación multidisciplinaria más efectiva, la generación automática de documentación y una mejor comunicación. Esto conduce a una mayor eficiencia, calidad y seguridad en el proceso de construcción de las estructuras. A continuación, la Figura 27 muestra imágenes de algunas de las soluciones BIM disponibles en el mercado para el diseño digital de encofrados.

Figura 27

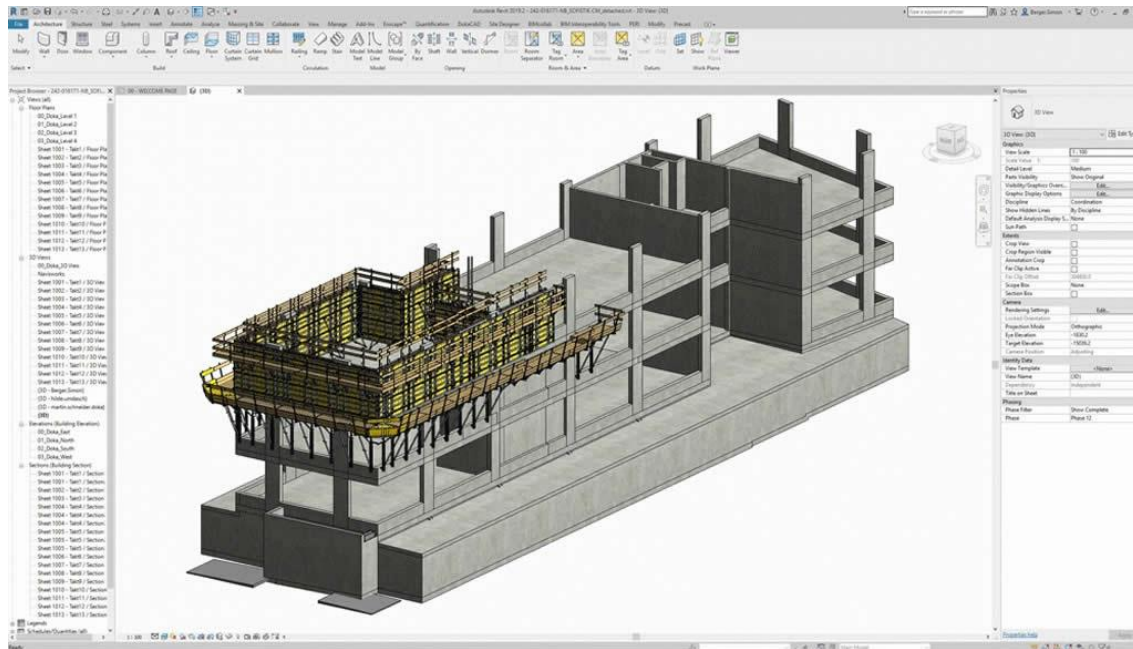
Software para diseño de cimbras y encofrados



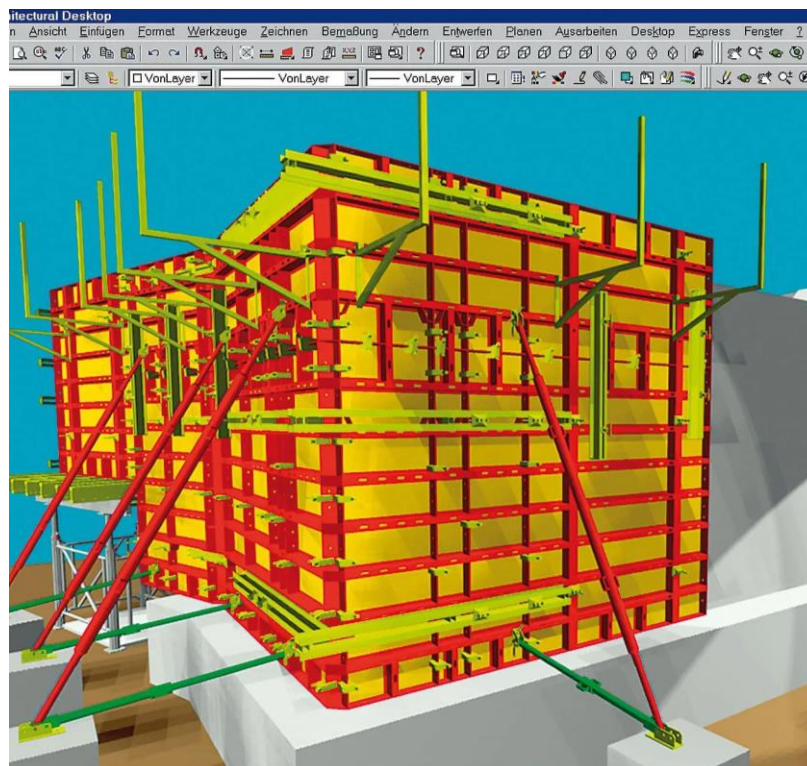
FOR CAD Formwork. Tomado de <https://boa.bricsys.com/applications/a/?for-cad-formwork-2d-and-3d-a213-al1201>



PERI CAD. Tomado de <https://www.peri.com.pe/products/software-y-apps/software/peri-cad-software.html>



Doka para Revit. Tomado de <https://constructivo.com/actualidad/dokacad-para-revit-potente-software-para-la-planificacion-productiva-de-encofrados-en-bim-1582563507>



Plan pro. Tomado de <https://www.directindustry.es/prod/paschal-werk-g-maier-gmbh/product-56383-377857.html>

5.4.7.6. Simulaciones y Visualizaciones

Mediante el uso de herramientas de simulación, el BIM permite realizar previsualizaciones, interactuar con el modelo para la planificación de la obra y análisis de rendimiento en la fase de preconstrucción. Por ejemplo, se pueden simular el flujo de tráfico en el sitio de obra, el análisis de interferencias entre equipos y maquinaria, o la previsualización del proyecto directamente en el sitio de obra mediante realidad aumentada. Estas simulaciones y análisis brindan información valiosa sobre la secuencia de las actividades de construcción, las interferencias y funcionalidad de equipos y maquinaria, entre otros. A continuación, se describen algunas formas en las que se aplica BIM en este contexto:

- **Previsualización con realidad aumentada:** La previsualización del proyecto en el sitio de obra mediante realidad aumentada utiliza tecnologías que combinan la realidad física con elementos virtuales generados por computadora. Para esto, se recopilan los datos del proyecto, como los modelos BIM, los planos y la información geoespacial del sitio de obra, los cuales son utilizados como base para generar la visualización en realidad aumentada. Utilizando software especializado, se crea un modelo virtual tridimensional del proyecto, que puede incluir elementos como edificios, estructuras, equipos y servicios. Este modelo se ajusta y se alinea con precisión al entorno físico del sitio de obra. Una vez seleccionada la tecnología de realidad aumentada adecuada, se cargan los datos del modelo virtual y se ajustan los parámetros para alinear correctamente los elementos virtuales con el entorno físico. Los trabajadores y los profesionales involucrados pueden acceder a la visualización en tiempo real a través de dispositivos móviles o gafas de realidad aumentada. Al mirar a través de la pantalla o los lentes, puede observarse el entorno físico real con la superposición de elementos virtuales del proyecto (ver Figura 22).

- **Interacción y análisis:** Es posible realizar análisis de interferencias y detección de conflictos, evaluar la accesibilidad y la seguridad, y realizar mediciones y anotaciones directamente en la visualización en realidad aumentada. Esto ofrece una forma inmersiva y precisa de comprender y evaluar el diseño en el contexto del entorno real, facilitando la detección temprana de posibles problemas, mejorando la toma de decisiones y la colaboración entre los diferentes actores del proyecto.
- **Simulación del flujo de tráfico:** Se utiliza software de simulación de tráfico compatible con el modelo BIM para simular el flujo de vehículos y peatones en el sitio de obra. La simulación tiene en cuenta los parámetros definidos, así como las interacciones entre los diferentes elementos del tráfico. Se pueden realizar diferentes escenarios para evaluar el impacto de cambios en la infraestructura vial o en la logística de la obra.

Figura 28

Simulaciones y visualizaciones con modelos BIM



Nota: Tomado de [https://pub.mdpi-res.com/buildings/buildings-12-](https://pub.mdpi-res.com/buildings/buildings-12-01145/article_deploy/html/images/buildings-12-01145-g012.png?1660377557)

01145/article_deploy/html/images/buildings-12-01145-g012.png?1660377557

5.4.7.7. Coordinación y Colaboración Entre Equipos

El BIM promueve la colaboración entre los diferentes equipos involucrados en la fase de preconstrucción. El modelo BIM centralizado y compartido permite a los profesionales de arquitectura, ingeniería, construcción y otros actores trabajar de manera conjunta, intercambiando información y coordinando sus actividades. Esto mejora la comunicación, evita la duplicación de esfuerzos y facilita la toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados. BIM se aplica de manera efectiva para la coordinación y colaboración entre equipos mediante los siguientes usos:

- **Comunicación y revisión visual:** Los modelos BIM se utilizan como una herramienta visual para facilitar la comunicación entre los equipos. Los diferentes actores pueden realizar revisiones conjuntas del modelo, agregar comentarios y sugerencias, y compartir información de manera más eficiente. Esto promueve una comprensión común y evita malentendidos durante la coordinación del proyecto.
- **Gestión de cambios:** BIM permite realizar un seguimiento y gestionar los cambios realizados en el proyecto. Cuando se produce una actualización en un modelo, los demás equipos pueden acceder rápidamente a la última versión y adaptar sus diseños en consecuencia. Esto garantiza que todos los equipos trabajen con información actualizada y evita inconsistencias en la coordinación del proyecto.
- **Integración de datos y documentación:** BIM facilita la integración de datos y documentación relacionada con el proyecto en un solo lugar. Esto incluye especificaciones técnicas, manuales de instalación, catálogos de productos, entre otros. La accesibilidad y centralización de esta información mejora la coordinación entre los equipos y permite una toma de decisiones más informada.

Figura 29*Coordinación y colaboración entre equipos con BIM*

Nota: Tomado de https://www.bimservices.it/wp-content/uploads/2020/11/comparison_bim3601.jpg

Así entonces, los procesos BIM aplicados a la fase de preconstrucción se centran en el modelado y diseño del sitio de obra, el análisis de interferencias y detección de conflictos, la secuenciación y programación de actividades, la estimación de costos y presupuesto, las simulaciones y análisis de rendimiento, y la coordinación y colaboración entre equipos. Estos fundamentos permiten una planificación más precisa, una toma de decisiones informada y una ejecución eficiente de las obras, reduciendo los riesgos y optimizando los recursos en el proceso de construcción.

6. Alcances y Limitaciones

Este trabajo de investigación está enfocado, principalmente, en presentar una guía BIM sobre la gestión de los aspectos técnicos del proceso constructivo durante la fase de preconstrucción de proyectos de edificación mediante el uso de BIM, dirigida a las organizaciones del sector AEC dentro del ámbito colombiano. Esta guía es el resultado práctico de la formulación de una estrategia metodológica para la implementación de BIM durante esta fase del proceso constructivo, desarrollada mediante la propuesta de una hoja de ruta para su implementación, la definición de los roles BIM requeridos, las generalidades sobre el plan de capacitación a impartir, la guía para la elaboración del plan de ejecución BIM (PEB) para la fase de preconstrucción y los indicadores clave de rendimiento (KPI) propuestos para la evaluación y seguimiento del proceso. Esta estrategia y guía BIM está dirigida a todas las organizaciones (profesionales y empresas) del sector de la arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) del ámbito colombiano y se encuentra enmarcada bajo los lineamientos establecidos en el CONPES 3975, la Estrategia Nacional BIM 2020-2026, la resolución 0441 de 2020 y las normas NTC-ISO 19650.

En cuanto a los alcances del presente trabajo de investigación, se marcan los siguientes:

- Identificar los beneficios y desafíos asociados con la implementación de BIM en el sector AEC, particularmente en lo concerniente a la etapa de preconstrucción en proyectos de edificación.
- Proponer una estrategia general fundamentada en BIM para el mejoramiento de los procesos asociados con la fase la preconstrucción de proyectos de edificación.
- Elaborar una guía BIM dirigida al sector AEC en Colombia en general, en la cual se aborda la fase de preconstrucción de edificaciones desde la perspectiva planteada por la Industria 4.0 para la apropiada articulación entre las etapas de diseño y de construcción.
- La guía BIM para la fase de preconstrucción abarcará únicamente los aspectos técnicos relacionados con la preparación de las tareas de construcción propiamente dichas.

Debido a la multiplicidad de posibilidades contractuales mediante las cuales se puede ejecutar un proyecto, la guía no contempla los aspectos legales y normativos requeridos para el desarrollo de obras de construcción.

Por su parte, las limitaciones para llevar a cabo este proyecto investigativo, son:

- El carácter general de la estrategia a formular y la falta de recursos económicos y humanos para llevar a cabo una implementación BIM real, lo cual dificulta evaluar su impacto en un proceso de construcción y en los resultados específicos de un proyecto.
- La escasa disponibilidad de datos, herramientas y casos de estudio relacionados con el uso de BIM en la fase de preconstrucción de edificaciones.
- La generalización del análisis de resultados y conclusiones en relación con todo el sector AEC, dado que cada organización en particular tiene su propio *core* del negocio, lo que se traduce en necesidades y desafíos específicas en cuanto a la implementación de BIM.

7. Metodología

7.1. Aspectos sobre la Investigación

El presente proyecto de investigación tiene un enfoque cualitativo. La metodología investigativa empleada corresponde, por una parte, a la aplicación de la técnica de investigación documental, mediante la cual se recopila y analiza la información referente al BIM y sus procesos de implementación. Por otra parte, se realiza investigación de campo para la formulación de una estrategia metodológica BIM para la fase de preconstrucción de proyectos de edificación.

7.1.1. Tipo

De conformidad con lo anteriormente planteado, el presente proyecto de investigación se enmarca dentro de un tipo de estudio descriptivo, en tanto que pretende plantear una estrategia general para la implementación de BIM en la fase de preconstrucción de proyectos de edificación por parte del sector AEC en Colombia.

7.1.2. Población de Estudio

La población de estudio lo constituye el conjunto de empresas y profesionales del sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) en Colombia. Estos profesionales y organizaciones componen un renglón productivo que ha alcanzado una gran dinámica e importancia por ser un generador de empleo, desarrollador de la economía, articulador de las políticas públicas en temas de construcción y su alta incidencia sobre la productividad del país, convirtiendo al sector en punto focal para la atracción de inversiones públicas y privadas y uno de los principales ejes de desarrollo nacional.

7.1.3. Muestra

La muestra elegida para esta investigación es de tipo no probabilístico, ya que está enfocada, específicamente, en formular una estrategia general dirigida al sector AEC en Colombia para gestionar la fase de preconstrucción de una obra de edificación a través de la metodología BIM.

7.1.4. Instrumentos

Los métodos de investigación empleados fueron la recopilación de información sobre los aspectos generales del BIM mediante la consulta de múltiples fuentes digitales especializadas en el tema para elaborar un diagnóstico sobre el estado del sector AEC en Colombia, además de la consulta a expertos en construcción y el análisis de resultados.

- **Consulta de fuentes:** Debido a la escasez de datos consolidados sobre el uso de BIM en la fase de preconstrucción, la información necesaria para el desarrollo del presente trabajo de investigación se consultó, principalmente, en Internet y algunas otras fuentes bibliográficas relacionadas con la fase de preconstrucción y la implementación de BIM en el sector AEC.
- **Diagnóstico del sector:** Cuyo propósito es identificar los objetivos estratégicos del sector; los procesos actualmente empleados en la fase de preconstrucción; los roles y funciones requeridas para esta fase; y los recursos tecnológicos disponibles.
- **Concepto de expertos:** Entrevista con un experto en construcción sobre los métodos utilizados actualmente y la aplicación de BIM en la fase de preconstrucción de una obra.

7.1.5. Divulgación

La divulgación de este ejercicio de investigación se realizará mediante la presentación del presente documento, el cual será evaluado y aprobado por los pares evaluadores o jurados designados, y será almacenado en el repositorio documental de la Universidad Santo Tomás.

7.1.6. Evidencias

Como respuesta a los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación, a continuación, se describen las actividades a realizar para dar el respectivo alcance a este estudio.

En cuanto al **Objetivo Específico #1**, relacionado con la descripción de los elementos de la metodología BIM aplicables en la fase de preconstrucción de edificaciones por parte del sector AEC en

Colombia, en el numeral 5, Marco Referencial, se describe el marco histórico, marco legal y marco teórico sobre los conceptos y elementos que comprenden la implementación de la metodología BIM en el sector AEC y sus diferentes aplicaciones en la fase de preconstrucción.

En lo concerniente al **Objetivo Específico #2**, orientado hacia la formulación de la estrategia y la hoja de ruta para el mejoramiento de los procesos de diseño y su integración efectiva con el sitio de obra en la fase de preconstrucción, en primera instancia, se plantea determinar la actualidad sobre los procedimientos empleados y el estado de la implementación de BIM en la fase de preconstrucción en el sector AEC nacional. Para esto, en el numeral 7.2 se plantea el diagnóstico sobre la implementación de BIM en el sector AEC en Colombia y, en el numeral 7.3, se consignan los resultados de la consulta realizada a un experto en dirección de proyectos de construcción con aplicación de herramientas BIM, lo cual se utilizó como insumo para alimentar la estrategia a formular.

En el numeral 7.4 y sus incisos, se desarrolla la estrategia general propuesta por el autor. Adicionalmente, en los incisos 7.4.1 a 7.4.4 se define la hoja de ruta para la implementación de BIM en la fase de preconstrucción; la construcción de los roles BIM requeridos; el plan de capacitación a impartir; así como una guía para la elaboración del PEB (Plan de Ejecución BIM) para esta etapa del proceso constructivo. Todos los elementos anteriormente mencionados hacen parte integral de la estrategia metodológica propuesta, objetivo principal del presente proyecto de investigación.

Para dar respuesta al **Objetivo Específico #3**, en donde se plantea la formulación de indicadores para la medición y evaluación de los procesos relacionados con la fase de preconstrucción en proyectos de edificación, alineados con los fundamentos de la metodología BIM, en el numeral 7.4.5 se propone el conjunto de KPI (Indicadores Clave de Rendimiento) para realizar el correspondiente seguimiento y evaluación del proceso de implementación de BIM en la fase de preconstrucción por parte de las organizaciones del sector AEC.

Finalmente, el **Objetivo Específico #4**, asociado con la elaboración de una guía BIM para la fase de preconstrucción de edificaciones por parte del sector AEC en Colombia, es desarrollado en el Anexo 1 mediante la definición de los pasos a través de los cuales profesionales y organizaciones podrán optimizar la coordinación multidisciplinar, la generación de documentos, la estimación de costos y, en general, todos aspectos concernientes a la planificación de la construcción.

7.2. Diagnóstico sobre la Implementación de BIM Para la Fase de Preconstrucción en el Sector AEC en Colombia

De acuerdo con el análisis situacional desarrollado en el marco teórico, la implementación de BIM para la fase de preconstrucción en el sector AEC en Colombia revela una situación en la que se observan tanto avances como desafíos. Algunos aspectos clave identificados, son:

- **Avances en la conciencia y adopción:** Existe un aumento en la conciencia sobre los beneficios de BIM en la fase de preconstrucción dentro del sector AEC en Colombia. Se han realizado esfuerzos significativos para promover la adopción de BIM, tales como la creación del BIM Forum Colombia y la adopción de las normas NTC-ISO 19650, observándose un incremento significativo en el número de profesionales y organizaciones que están implementando BIM en sus proyectos.
- **Infraestructura y recursos limitados:** Aunque ha habido avances, aún existen desafíos relacionados con la infraestructura y los recursos disponibles para la implementación de BIM en la fase de preconstrucción. Algunas empresas y profesionales enfrentan dificultades para acceder a las herramientas y tecnologías necesarias, así como para adquirir la capacitación adecuada.
- **Necesidad de estándares y regulaciones:** Se han realizado esfuerzos para establecer estándares y protocolos de trabajo. Sin embargo, aún se necesita una mayor claridad y uniformidad en este aspecto. La falta de estándares y regulaciones claras en el país

puede dificultar la implementación eficiente y efectiva de BIM en la fase de preconstrucción.

- **Capacitación y formación continua:** Existe la necesidad de fortalecer los programas de capacitación y formación BIM en Colombia. La falta de conocimiento y habilidades especializadas en BIM puede ser un obstáculo para una implementación exitosa. Se requiere una inversión continua en programas de capacitación y formación para garantizar que los profesionales estén preparados para utilizar esta metodología en la fase de preconstrucción.
- **Colaboración y comunicación:** Aunque se reconoce la importancia de la colaboración multidisciplinar y la comunicación efectiva en la implementación de BIM, aún persisten desafíos en este aspecto. La falta de cultura colaborativa y de intercambio de información puede limitar el pleno potencial de BIM en la fase de preconstrucción.

Para resumir, si bien se han realizado avances en la implementación de BIM en la fase de preconstrucción por parte del sector AEC en Colombia, aún existen desafíos relacionados con la infraestructura, los recursos, los estándares, la capacitación y la colaboración multidisciplinar. Es fundamental abordar estos desafíos de manera integral para impulsar aún más la adopción y el aprovechamiento de BIM en esta fase crítica del proceso constructivo.

7.3. Concepto de Expertos

Además de consultar la literatura y aplicar los conocimientos propios relacionados con el tema, para la elaboración del presente proyecto investigativo se contó con el apoyo del señor Luis Felipe Gómez Posada, ingeniero civil egresado de la Universidad Nacional de Colombia, con especialización en Gerencia de Proyectos de la Escuela de Ingeniería de Antioquia – EIA, quien cuenta con treinta años de experiencia profesional en diferentes cargos y roles relacionados con la dirección, supervisión e

interventoría de proyectos de construcción, y quien actualmente se desempeña como Coordinador de Diseños de Ingeniería para el Grupo Dinpro, en la ciudad de Medellín.

A través de una entrevista personal, se consultó al citado experto sobre los procedimientos y gestiones que, por lo general, se adelantan durante la fase de preconstrucción de un proyecto de edificación. Además, se le solicitaron recomendaciones para la implementación de BIM durante esta fase del proceso constructivo, orientadas hacia la aplicación de los lineamientos y definiciones planteadas en las normas ISO 19650 (ver Anexo 3). De acuerdo con sus ideas y conceptos, se recogieron las siguientes apreciaciones:

- Una vez el Equipo de Proyecto (Project Team) aprueba los diseños de las diferentes disciplinas integradas y coordinadas, se define el Equipo de Desarrollo (Delivery Team), el cual estará a cargo de la planeación y ejecución de la obra, de conformidad con los Requisitos de Información del Proyecto (PIR) y los Requisitos de información de la organización (OIR).
- El Equipo de Desarrollo debe ser designado previamente al inicio de las labores de construcción propiamente dichas. En Colombia, la antelación con que es designado el Equipo de Desarrollo dependerá de la escala y complejidad del proyecto, siendo común establecer, en promedio, un periodo de dos a tres meses para la planeación de la ejecución de los proyectos de edificación.
- El Equipo de Desarrollo y los diferentes Equipos de Tareas (Task Teams), a su vez designados, llevan a cabo diferentes actividades que buscan establecer las condiciones óptimas sobre las que se adelantará el proceso de construcción. Dentro de estas actividades se encuentran:
 - Análisis y ajuste final del proyecto aprobado (Modelos BIM, planimetría para construcción y especificaciones técnicas).

- Análisis detallado de las condiciones existentes en el sitio de obra (accesibilidad, disponibilidad de servicios públicos, etc.).
- Definición del layout o plano del sitio de obra.
- Requisición de materiales, equipos y personal necesario para el inicio de la obra y de sus etapas posteriores.
- Cronograma de ejecución de tareas (programación) y flujo de caja (presupuesto).
- Cronograma de contratación de personal.
- Demoliciones y adecuaciones.
- Desmonte y movimiento de tierras.
- Construcción de instalaciones provisionales (cerramientos, almacén para acopio de materiales y equipos, campamento o comedor, oficina de obra y todas aquellas estructuras necesarias durante las tareas de construcción del activo).
- Señalización y protección de las zonas de trabajo.

Por otra parte, según afirma el ingeniero Gómez, las empresas constructoras y los propios contratistas cuentan con el apoyo de los proveedores de concreto para el diseño de los encofrados requeridos para la obra, factor al cual se presta poca atención a la hora de planificar una obra de construcción. Estos proveedores cuentan con sus propias aplicaciones y licencias para el diseño de encofrados compatibles con sus sistemas constructivos, lo que les permite ofrecer este servicio como un valor agregado a la comercialización del concreto. Por esta razón, muy pocas empresas constructoras adquieren este tipo de software especializado. Aunque en el mercado se encuentra una gran variedad de programas y aplicaciones para el diseño de formaleas y cimbrados, no resulta eficiente para las empresas del sector AEC adquirir estas licencias, ya que el diseño del encofrado dependerá, en esencia, del tipo de formalea a emplear y del proveedor.

Además, pocas empresas mantienen cimbras y formaletas propias para la construcción de sus proyectos, debido al alto costo y a los requerimientos de almacenamiento y mantenimiento. Debido a esto, se suele suministrar el modelo BIM del proyecto a los proveedores de concreto, con el fin de que el diseño de los encofrados se realice de manera precisa y óptima, directamente sobre los elementos contenidos en los modelos digitales.

En general, el aspecto destacado por el ingeniero Gómez radica en la existencia de herramientas digitales para la automatización del diseño de encofrados y cimbrados, tecnologías que permiten adoptar la metodología BIM para la planificación, optimización y gestión de las tareas de vaciado de concreto durante el desarrollo de una obra de construcción.

7.4. Estrategia de Implementación BIM para la Fase de Preconstrucción en el sector AEC

Como se mencionó antes, la estrategia a proponer tiene un carácter general, por lo tanto, cada actor (profesional o empresa) del sector AEC habrá de adaptarla a su propio *core* del negocio, expectativas, necesidades y posibilidades. Esta estrategia debe incluir los siguientes aspectos, los cuales permitirán establecer una estructura de planificación y desarrollo de la fase de preconstrucción:

- **Establecer un equipo BIM:** Compuesto por representantes de todas las diferentes disciplinas involucradas en el proyecto constructivo, tales como arquitectura, ingeniería y construcción. El rol del equipo será supervisar la implementación de BIM en el proyecto y garantizar que se use de manera efectiva.
- **Desarrollar un plan BIM:** Debe describir los objetivos del proyecto, los procesos BIM que se utilizarán y los recursos que se necesitarán. El plan también debe incluir un cronograma para la implementación de BIM.
- **Capacitar el equipo de trabajo:** Una vez desarrollado el plan BIM, el equipo debe recibir capacitación sobre su uso. Esta capacitación debe cubrir los conceptos básicos de BIM,

como la creación y el uso de modelos 3D, así como temas más especializados, como la detección de conflictos, la estimación de costos, simulaciones constructivas, entre otros.

- **Implementar BIM:** Una vez que el equipo ha sido capacitado, es hora de comenzar a implementar BIM en el proyecto. Esto implicará la creación de modelos 3D, documentación y simulaciones. El equipo también necesitará usar BIM para colaborar con los diferentes stakeholders en el proyecto.
- **Supervisar la implementación:** Es importante monitorear la implementación de BIM para garantizar que va por buen camino y que cumple con los objetivos del proyecto. Este seguimiento debe incluir reuniones periódicas con el equipo y los stakeholders, así como el esquema de revisiones de los entregables de BIM.
- **Hacer los ajustes necesarios:** A medida que avanza el proyecto, puede ser necesario hacer ajustes al plan BIM. Esto puede ser necesario debido a cambios en los alcances de los proyectos, la disponibilidad de recursos o las necesidades de los stakeholders.

Una vez definidos los aspectos a contemplar para la adopción de BIM, a continuación, en la Figura 30 se presenta el esquema general de la estrategia metodológica para la implementación de BIM en la fase de preconstrucción en el sector de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC). Además, en la Tabla 3 se detallan los pasos a seguir, las acciones a tomar en cada uno de los pasos y los roles responsables de su ejecución.

Figura 30*Estrategia de implementación BIM en la fase de preconstrucción**Nota.* Elaboración propia.

Tabla 3

Estrategia metodológica para la implementación de BIM en la fase de preconstrucción

Paso	Acciones	Roles BIM Responsables
1 Establecer los objetivos y beneficios	• Identificar los objetivos específicos de la implementación de BIM en la fase de preconstrucción, como mejorar la coordinación, reducir errores y retrabajos, optimizar la programación y estimación de costos, etc. • Definir los beneficios que se esperan alcanzar con la implementación de BIM, como mayor eficiencia, mejor comunicación, toma de decisiones más informadas, etc.	• Gerentes de proyecto • Directores BIM • Altos directivos
2 Evaluar la capacidad y madurez BIM	• Realizar una evaluación interna de la capacidad actual de la organización en términos de competencias, recursos, tecnología y procesos relacionados con BIM. • Identificar las brechas y áreas de mejora que deben abordarse para fortalecer la implementación de BIM en la fase de preconstrucción.	• Equipo de BIM • Gerentes de proyectos • Consultores BIM
3 Definir un plan de capacitación	• Identificar las competencias BIM necesarias para la fase de preconstrucción y evaluar el nivel de competencias actuales del equipo. • Diseñar un plan de capacitación y desarrollo que incluya cursos, talleres, certificaciones u otras formas de aprendizaje para mejorar las competencias en BIM.	• Coordinador de capacitación BIM • Gerentes de recursos humanos

4 Establecer un estándar y protocolo	• Definir un estándar y protocolo de trabajo BIM específico para la fase de preconstrucción, que incluya directrices claras sobre el uso del modelo BIM, formatos de intercambio de datos, nomenclatura, niveles de detalle, etc. • Establecer un sistema de control de calidad para verificar el cumplimiento del estándar y protocolo de trabajo.	• Coordinador BIM • Especialistas en normas y estándares
5 Implementar herramientas y tecnologías	• Evaluar y seleccionar las herramientas de software BIM adecuadas para la fase de preconstrucción, considerando la interoperabilidad, las capacidades de colaboración y las necesidades específicas del proyecto y la organización. • Implementar las herramientas seleccionadas y proporcionar la infraestructura tecnológica necesaria, como hardware, licencias y recursos de soporte.	• Equipo de BIM • Especialistas en TI • Gerentes de proyecto
6 Fomentar la colaboración y comunicación	• Establecer canales de comunicación claros y eficientes entre los diferentes actores involucrados en la fase de preconstrucción, como diseñadores, ingenieros, consultores, contratistas, etc. • Promover la colaboración multidisciplinar y la participación activa de todas las partes interesadas en el intercambio de información y la toma de decisiones.	• Coordinador BIM • Líderes de proyecto
7 Realizar proyectos piloto y evaluaciones	• Seleccionar proyectos piloto para implementar BIM en la fase de preconstrucción y evaluar los resultados obtenidos.	• Equipo de proyecto • Gerentes de proyecto • Especialistas BIM

		• Analizar los resultados de los proyectos piloto, identificar lecciones aprendidas y realizar ajustes en la metodología y procesos según sea necesario.	
8	Establecer un sistema de gestión de información BIM	• Implementar un sistema de gestión de información BIM que permita el almacenamiento, acceso y seguimiento eficiente de la información relacionada con el modelo BIM y los datos de la fase de preconstrucción. • Definir responsabilidades y flujos de trabajo claros para garantizar la integridad y actualización constante de la información en el sistema de gestión.	• Gerente de información BIM • Administrador de sistemas
9	Evaluar y mejorar continuamente	• Realizar evaluaciones regulares de la implementación de BIM en la fase de preconstrucción, medir los resultados alcanzados y compararlos con los objetivos establecidos. • Identificar oportunidades de mejora y ajustar la metodología y los procesos en consecuencia.	• Equipo de mejora continua • Gerentes de proyecto • Directores de BIM
10	Promover una cultura BIM	• Fomentar una cultura organizacional que valore y promueva el uso efectivo de BIM en la fase de preconstrucción. • Sensibilizar y capacitar a todos los miembros del equipo sobre los beneficios y las mejores prácticas de BIM, y motivar su participación activa en la implementación.	• Líderes de proyecto • Directores de BIM • Gerentes de recursos humanos

Nota. Elaboración propia.

Por su carácter general, esta estrategia metodológica debe ser debidamente adaptada a la escala, complejidad y objetivos trazados por la organización para la implantación exitosa de BIM en la fase previa a la construcción de un proyecto.

7.4.1. Hoja de Ruta

Tomando como referencia la hoja de ruta planteada por el BIM Kit del BIM Forum Colombia para la adopción de BIM en las empresas del sector AEC en Colombia, a continuación, se presenta una Hoja de Ruta específica para la implementación BIM en la fase de preconstrucción, de conformidad con la estrategia metodológica antes formulada:

7.4.1.1. Etapa de Inicio

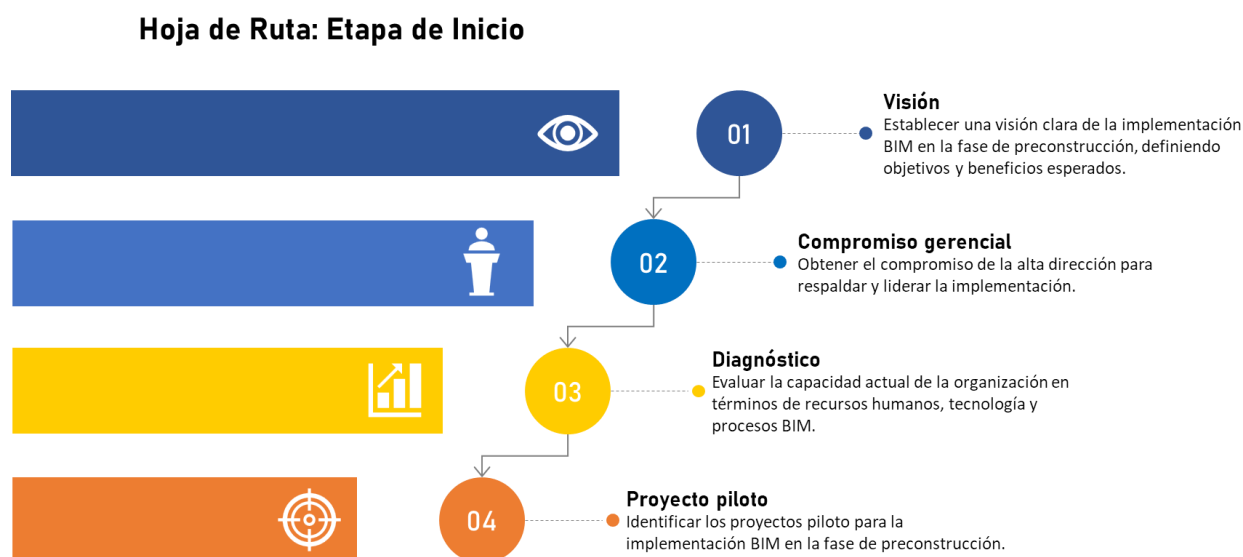
En la Etapa de Inicio de la implementación BIM en la fase de preconstrucción, es fundamental:

- 1. Visión:** Establecer una visión clara que defina los objetivos y beneficios esperados. Esto implica definir qué se espera lograr con la implementación de BIM, como mejorar la eficiencia en los procesos de diseño y coordinación, reducir los errores y retrabajos, optimizar la toma de decisiones y mejorar la comunicación entre los equipos de proyecto.
- 2. Compromiso gerencial:** Es crucial obtener el compromiso de la Parte que designa para respaldar y liderar esta implementación. La alta dirección debe comprender los beneficios de BIM y ser un impulsor activo del cambio en la organización. Esto implica asignar los recursos necesarios, tanto financieros como humanos, para llevar a cabo la implementación de manera efectiva.
- 3. Diagnóstico:** Para evaluar la capacidad actual de la organización, es recomendable realizar un diagnóstico de los recursos humanos, tecnológicos y los procesos existentes. Esto permitirá identificar las fortalezas y debilidades en términos de habilidades, conocimientos y experiencia del personal, así como la infraestructura tecnológica disponible. Esta evaluación servirá de base para desarrollar un plan de capacitación y adquisición de herramientas adecuadas.
- 4. Proyecto piloto:** Es importante identificar proyectos piloto para implementar BIM en la fase de preconstrucción de manera controlada. Estos proyectos deben ser seleccionados estratégicamente, considerando su complejidad y la disposición de los equipos de proyecto para adoptar el enfoque BIM.

Los proyectos piloto proporcionarán una oportunidad para probar y validar los procesos, identificar desafíos y obtener retroalimentación que permita mejorar el uso de BIM en futuros proyectos.

Figura 31

Implementación BIM en la fase de preconstrucción: Etapa de Inicio



Nota. Elaboración propia.

7.4.1.2. Etapa de Planificación

En la Etapa de Planificación de la implementación BIM en la fase de preconstrucción, se deben establecer los fundamentos y las directrices que guiarán el proceso. Los aspectos clave de esta etapa, son:

1. Desarrollar un plan estratégico: Es necesario elaborar un plan detallado que defina los objetivos específicos de la implementación BIM en la fase de preconstrucción, así como las acciones necesarias para alcanzarlos. El plan debe incluir plazos realistas, asignación de recursos, responsabilidades y un enfoque escalonado para la implementación gradual.

2. Establecer un comité BIM: Se debe formar un comité compuesto por representantes de diferentes disciplinas y roles clave dentro de la organización. Este comité será responsable de liderar la implementación, coordinar los esfuerzos de capacitación y promover la adopción de BIM en la fase de

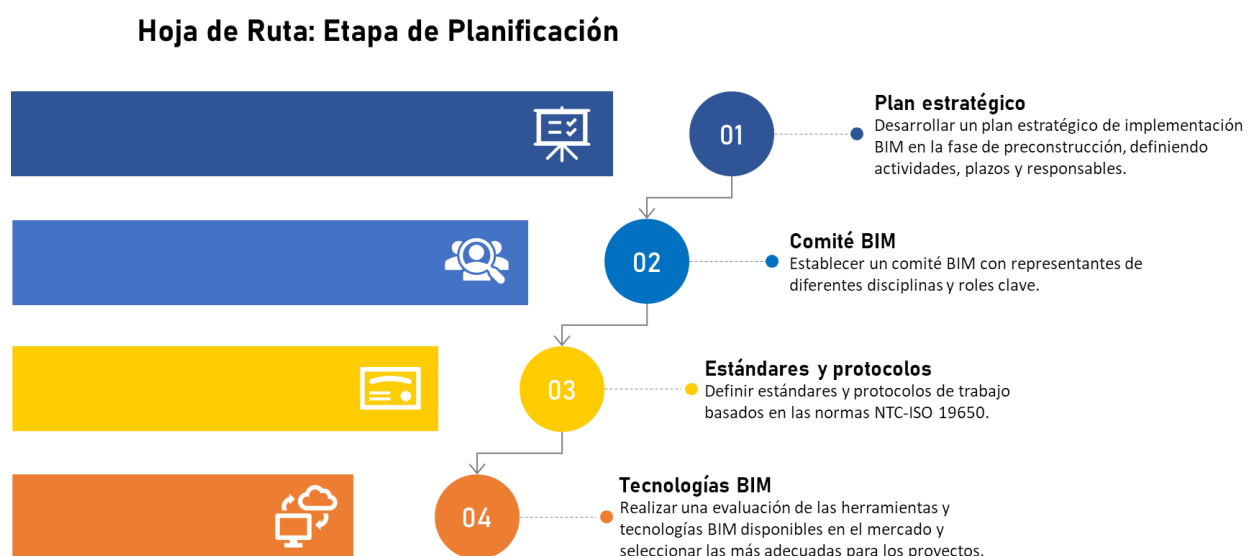
preconstrucción. Además, el comité BIM puede servir como un punto central de contacto para resolver problemas y compartir buenas prácticas.

3. Definir estándares y protocolos de trabajo: Es esencial establecer estándares y protocolos de trabajo basados en las normas NTC-ISO 19650 y adaptados a las necesidades específicas de la organización. Estos estándares deben abordar aspectos como la estructura del modelo BIM, la nomenclatura de archivos, la gestión de cambios, la coordinación multidisciplinar y la entrega de información.

4. Evaluación de herramientas y tecnologías BIM: Se debe realizar una evaluación exhaustiva de las herramientas y tecnologías BIM disponibles en el mercado. Esto implica identificar las soluciones que mejor se adapten a las necesidades de la organización y los proyectos. Es importante considerar aspectos como la interoperabilidad, la capacidad de colaboración, la facilidad de uso y la escalabilidad de las herramientas seleccionadas.

Figura 32

Implementación BIM en la fase de preconstrucción: Etapa de Planificación



Nota. Elaboración propia.

7.4.1.3. Etapa de Ejecución

En la Etapa de Ejecución de la implementación BIM en la fase de preconstrucción se materializan los aspectos concebidos en la Etapa de Planificación:

1. Capacitación y formación continua: Es fundamental brindar capacitación y formación adecuada a todo el personal involucrado en la fase de preconstrucción. Esto incluye a los equipos de diseño, ingeniería, planificación y gestión de proyectos, entre otros. La capacitación debe abordar tanto los aspectos técnicos del uso de herramientas y tecnologías BIM, como los conceptos y procesos relacionados con el flujo de trabajo BIM.

2. Implementación de estándares y protocolos: Durante la etapa de ejecución, es necesario implementar los estándares y protocolos de trabajo definidos en la etapa de planificación. Esto implica asegurarse de que todos los miembros del equipo utilicen los mismos criterios y métodos para crear y gestionar los modelos BIM. Además, se deben establecer mecanismos para monitorear y garantizar el cumplimiento de los estándares establecidos.

3. Gestión de la información BIM: Durante la ejecución, es necesario implementar un sistema eficiente de gestión de la información BIM. Esto implica establecer procesos para la creación, organización, actualización y distribución de la información BIM. Se deben definir responsabilidades claras para garantizar la integridad y precisión de los datos, así como la accesibilidad y seguridad de la información.

4. Coordinación multidisciplinaria: La coordinación entre las diferentes disciplinas y equipos es esencial en la fase de preconstrucción. Se deben establecer canales de comunicación claros y efectivos para fomentar la colaboración y el intercambio de información. El uso de plataformas y herramientas de colaboración BIM facilitará la comunicación y permitirá la resolución temprana de conflictos y la detección de interferencias.

5. Monitoreo y control: Durante la ejecución, es importante realizar un seguimiento continuo del progreso de la implementación BIM en la fase de preconstrucción. Se deben establecer indicadores clave de rendimiento (KPI) para evaluar la efectividad de la implementación y realizar ajustes según sea necesario. Además, se deben realizar revisiones periódicas para identificar desafíos y oportunidades de mejora.

Figura 33

Implementación BIM en la fase de preconstrucción: Etapa de Ejecución



Nota. Elaboración propia.

7.4.1.4. Etapa de Control

En la Etapa de Control de la implementación BIM en la fase de preconstrucción, se realiza un seguimiento y evaluación del proceso para garantizar que se cumplan los objetivos establecidos. A continuación, se definen los aspectos clave de esta etapa:

1. Seguimiento de indicadores de rendimiento: Durante la etapa de control, es esencial monitorear los indicadores clave de rendimiento (KPI) establecidos previamente. Estos KPI pueden

incluir métricas relacionadas con la adopción de BIM, la calidad de los modelos, la eficiencia de los procesos, la colaboración multidisciplinar y el cumplimiento de los estándares. El seguimiento de los KPI proporciona información objetiva sobre el progreso de la implementación y permite identificar áreas de mejora.

2. Evaluación de resultados: Se deben realizar evaluaciones periódicas para medir el impacto de la implementación BIM en la fase de preconstrucción. Esto implica analizar los resultados obtenidos en términos de mejoras en la eficiencia, reducción de errores, optimización de costos y plazos, y calidad de los proyectos. La evaluación de resultados ayuda a identificar los beneficios y las áreas que requieren ajustes o mejoras adicionales.

3. Retroalimentación y mejora continua: Durante la etapa de control, es importante recopilar la retroalimentación de los diferentes equipos y actores involucrados en la implementación BIM. Se pueden realizar encuestas, entrevistas o talleres de retroalimentación para identificar experiencias, desafíos y sugerencias de mejora. Esta retroalimentación contribuye a la mejora continua del proceso y permite realizar ajustes necesarios para maximizar los beneficios de BIM en la fase de preconstrucción.

4. Comunicación y divulgación de resultados: Es fundamental comunicar y divulgar los resultados obtenidos a lo largo del proceso de implementación BIM. Esto implica compartir los logros, las lecciones aprendidas y los casos de éxito con todos los miembros de la organización y otras partes interesadas relevantes. La comunicación efectiva ayuda a generar conciencia, promover la adopción de BIM y motivar a otros a implementar buenas prácticas en la fase de preconstrucción.

Figura 34

Implementación BIM en la fase de preconstrucción: Etapa de Control



Nota. Elaboración propia.

7.4.1.5. Etapa de Cierre

En la Etapa de Cierre de la implementación BIM en la fase de preconstrucción, se realizan actividades para concluir y consolidar los resultados obtenidos durante todo el proceso. A continuación, se amplían los aspectos clave de esta etapa:

1. Documentación y archivado: En la etapa de cierre, es importante recopilar y documentar toda la información relevante generada durante la implementación BIM. Esto incluye los procedimientos, los estándares y los protocolos establecidos, así como los modelos y la documentación técnica relacionada. Toda esta información debe ser archivada adecuadamente para su fácil acceso en el futuro.

2. Evaluación final: En esta etapa, se lleva a cabo una evaluación final para analizar los resultados y los logros alcanzados durante la implementación BIM en la fase de preconstrucción. Se comparan los resultados con los objetivos iniciales establecidos y se identifican las lecciones aprendidas.

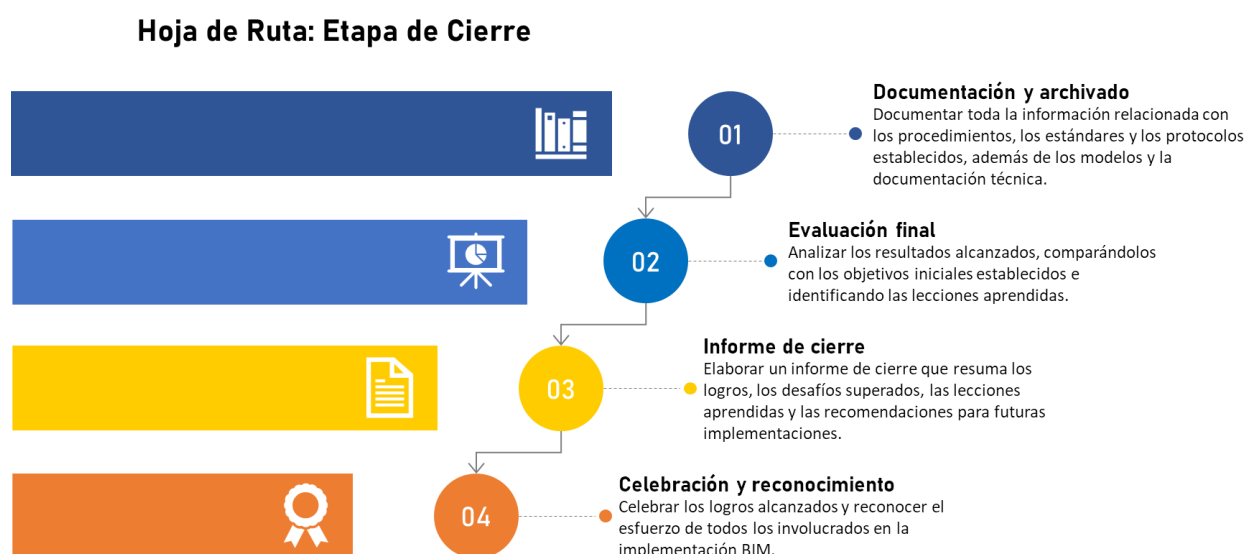
Esta evaluación final proporciona información valiosa para futuros proyectos y mejoras en la implementación de BIM.

3. Informe de cierre: Se debe elaborar un informe de cierre que resuma los principales aspectos de la implementación BIM en la fase de preconstrucción. Este informe debe incluir un resumen de los logros, los desafíos superados, las lecciones aprendidas y las recomendaciones para futuras implementaciones. El informe de cierre es un documento importante para comunicar los resultados y compartir el conocimiento adquirido.

4. Celebración y reconocimiento: La etapa de cierre también es una oportunidad para celebrar los logros alcanzados y reconocer el esfuerzo de todos los involucrados en la implementación BIM. Se pueden organizar eventos, ceremonias de reconocimiento o actividades de retroalimentación para agradecer a los equipos y resaltar los éxitos obtenidos. Esto ayudará a fortalecer la motivación y el compromiso hacia la implementación BIM en futuros proyectos.

Figura 35

Implementación BIM en la fase de preconstrucción: Etapa de Cierre



Nota. Elaboración propia.

Esta Hoja de Ruta debe ser adaptada a las necesidades y características específicas de cada organización y proyecto. Es recomendable contar con el apoyo de expertos en BIM y considerar la participación de todos los stakeholders para garantizar una implementación exitosa. Además, se recomienda utilizar el BIM Kit del BIM Forum Colombia como una guía adicional para enriquecer y personalizar la implementación BIM en la fase de preconstrucción por parte de empresas y profesionales del sector AEC en Colombia.

7.4.2. Roles BIM en la Fase de Preconstrucción

Un equipo de alto rendimiento puede ser definido como un conjunto de individuos con roles distintivos, capacidades y competencias complementarias, que se encuentran alineados y comprometidos con la consecución de un objetivo compartido. Este equipo sobresale por su capacidad de generar resultados superiores gracias a su destacada colaboración e innovación, lo que contribuye a su éxito en la consecución de metas y objetivos establecidos. El aprendizaje de los equipos de arquitectura, ingeniería y construcción es fundamental para el buen desarrollo de la metodología en una empresa constructora. Por tanto, es aconsejable realizar una auditoría o evaluación interna con el fin de conocer el nivel de conocimientos que tienen los trabajadores sobre BIM.

Con base en lo expuesto previamente y considerando el perfil que cada miembro del equipo de trabajo adquirirá dentro de la metodología, resulta imprescindible elaborar un plan de capacitación para los diferentes roles requeridos para poner en marcha el uso de BIM en la etapa de preconstrucción. Este plan puede ser dividido en dos partes: una de carácter general, donde se aborde información sobre qué es BIM, sus ventajas, las herramientas utilizadas, entre otros elementos básicos de la metodología; y otra más específica, enfocada en las competencias requeridas por cada trabajador en su respectiva posición. Es fundamental que este plan de formación sea diseñado de manera minuciosa y se adapte a las necesidades y roles individuales, garantizando así un adecuado desarrollo de habilidades y conocimientos para la implementación de BIM en la fase de preconstrucción.

Con el fin de determinar los roles BIM necesarios para esta fase, es fundamental tener una comprensión clara de los objetivos y las aplicaciones de BIM, basándose en un análisis exhaustivo de la organización y las necesidades de los clientes. Los perfiles de los roles deben ser establecidos de acuerdo con los requerimientos específicos de BIM en el ámbito de actuación de la organización.

De manera preliminar, se puede considerar la siguiente categorización de perfiles:

- Perfiles BIM con competencias de diseño.
- Perfiles BIM con competencias de ingeniería.
- Perfiles BIM con competencias de gestión, revisión y coordinación.

Cabe destacar que la selección y la designación de estos roles pueden estar influenciadas por factores tales como el alcance, la envergadura del proyecto y la estructura organizativa involucrada. Además, considerando las necesidades particulares de cada proyecto, la correcta identificación y definición de estos roles constituye un paso crucial para garantizar el adecuado desarrollo y desempeño de las actividades relacionadas con BIM durante la fase de preconstrucción. A continuación, la Tabla 4 presenta la denominación y las respectivas funciones de los roles BIM más comunes en la adopción de BIM en la fase de preconstrucción.

Tabla 4

Roles BIM para la fase de preconstrucción y sus funciones

Rol	Perfil	Funciones
BIM Manager	Amplia experiencia en BIM, gestión de proyectos.	• Supervisar y gestionar la implementación de BIM en todas las etapas del proyecto. • Establecer la estrategia BIM. • Coordinar y capacitar al equipo. • Garantizar la calidad y coherencia de los modelos BIM. • Supervisar el cumplimiento de los objetivos BIM en la fase de preconstrucción.

Coordinador BIM	Conocimiento de estándares y protocolos BIM.	• Asegurar la colaboración efectiva entre los diferentes equipos y disciplinas. • Garantizar la coherencia y coordinación de los modelos BIM. • Identificar y resolver conflictos o interferencias. • Facilitar la comunicación entre los miembros del equipo.
Especialista BIM	Conocimiento avanzado de herramientas y tecnologías BIM.	• Garantizar la calidad e integridad de los modelos BIM. • Trabajar en colaboración con los diseñadores y modeladores. • Proporcionar orientación técnica y resolver problemas relacionados con BIM. • Adaptarse al enfoque específico del proyecto (arquitectura, ingeniería estructural, MEP).
Especialista en análisis y simulación BIM	Experiencia en análisis y simulación BIM.	• Utilizar herramientas y técnicas de análisis y simulación BIM. • Evaluar el rendimiento del diseño. • Realizar análisis estructurales, energéticos y simulaciones. • Proporcionar recomendaciones para mejorar la eficiencia y el rendimiento del proyecto.
Estimador BIM	Conocimiento en costos de construcción.	• Utilizar el modelo BIM para realizar estimaciones precisas de costos y recursos. • Extraer información relevante del modelo BIM. • Generar presupuestos y análisis de costos.
Programador BIM	Habilidades en desarrollo de herramientas y scripts personalizados.	• Desarrollar y mantener herramientas y scripts personalizados para optimizar los flujos de trabajo BIM. • Automatizar tareas repetitivas. • Mejorar la eficiencia del proceso BIM. • Desarrollar soluciones técnicas para mejorar la interoperabilidad y la integración de datos.

Especialista en logística BIM	Conocimiento de logística de construcción.	• Utilizar el modelo BIM para planificar la logística de la construcción. • Optimizar la secuencia de actividades y la gestión de materiales. • Coordinar los recursos en el sitio de construcción.
Especialista en documentación BIM	Experiencia en generación y gestión de documentos BIM.	• Generar y gestionar documentos de construcción basados en el modelo BIM. • Asegurar la precisión y oportunidad de la documentación. • Colaborar con el equipo de diseño y construcción. • Entregar adecuadamente la documentación requerida durante la fase de preconstrucción.

Nota. Elaboración propia.

Es importante destacar que estos roles pueden variar en función de las necesidades específicas del proyecto y la organización. Además, es posible que algunos profesionales desempeñen múltiples roles o que se requiera la colaboración entre diferentes profesionales para cumplir las funciones de un solo rol específico. Al contar con un equipo de profesionales BIM con las funciones y responsabilidades adecuadas, puede asegurarse que BIM se implemente de manera efectiva en lo concerniente a la fase de preconstrucción.

7.4.3. Plan de Capacitación

El plan de capacitación puede incluir una combinación de actividades, como cursos presenciales, talleres prácticos, sesiones de formación en línea, tutoriales y prácticas supervisadas. Además, es importante considerar la disponibilidad de recursos educativos y de formación, como manuales, guías, software especializado, entre otros. Es fundamental que el plan de capacitación se adapte a las características y ritmo de trabajo del equipo, brindando oportunidades de aprendizaje continuo y fomentando la aplicación práctica de los conocimientos adquiridos. Además, se deben establecer

indicadores de seguimiento y evaluación para medir el progreso y la efectividad del plan de capacitación, permitiendo ajustes y mejoras en función de los resultados obtenidos.

Como se mencionó antes, la capacitación requerida por los diferentes equipos que conforman la estructura para la implementación BIM, sean estos, de Proyecto, de Desarrollo y/o de Tareas (ver Anexo 3), debe ser abordada desde dos frentes: la capacitación general sobre BIM y la capacitación específica en las tareas a ejecutar. Estos frentes de formación contemplan los siguientes aspectos:

- **Formación general sobre BIM:** Se brindará una perspectiva suficiente sobre la importancia y los beneficios de adoptar BIM, así como las expectativas, el estado actual del mercado y la situación legal. Además, se abordará la terminología BIM, se analizarán las diferentes herramientas BIM disponibles en el mercado y se explorarán los diversos usos y procesos relacionados con BIM.
- **Formación específica:** Estará diseñada de manera estructurada, con un plan detallado por semanas que especificará los contenidos a tratar y el software utilizado. Se considerarán diferentes metodologías de enseñanza, ya sea presencial o en línea, así como la combinación de teoría y casos prácticos para una mejor comprensión y aplicación de los conceptos, adaptando la formación a las necesidades específicas de los perfiles de los asistentes. Se establecerán hitos y métricas para evaluar y medir el aprendizaje de los participantes, asegurando así un proceso efectivo y cuantificable.

Una vez se ha adquirido un nivel de competencia satisfactorio para iniciar la implementación de BIM en la organización, es fundamental designar un Equipo de Desarrollo del proyecto piloto que se encargará de ejecutar el proyecto siguiendo las directrices establecidas por la metodología BIM. Cabe destacar que este equipo debe contar con un alto nivel de compromiso y colaboración, además de tener una comprensión profunda de los objetivos y requerimientos del proyecto, para asegurar una adecuada implementación de BIM y la obtención de los beneficios esperados.

7.4.4. Plan de Ejecución BIM (BEP) para la Fase de Preconstrucción

El Plan de Ejecución BIM (BEP, por sus siglas en inglés) es un documento fundamental para garantizar la correcta implementación de BIM en la fase de preconstrucción. Proporciona una guía detallada sobre cómo se utilizará y gestionará la información del modelo BIM a lo largo del proyecto. El Plan de Ejecución BIM para la fase de preconstrucción debe ser un documento vivo, que se actualiza y adapta a medida que avanza el proyecto. Es esencial contar con la participación y colaboración activa de todos los actores involucrados para garantizar su correcta implementación y seguimiento. El BEP es una herramienta clave para optimizar la coordinación, la calidad de la información y la eficiencia en la fase de preconstrucción, sentando las bases para el óptimo desarrollo de una construcción.

A continuación, se describen los elementos principales que deben incluirse en el BEP para la fase de preconstrucción:

7.4.4.1. Objetivos y Alcance del Proyecto

- ***Descripción general del proyecto y sus principales características.***

El objetivo de esta sección es proporcionar una descripción clara y concisa del proyecto en general. Debe incluir información relevante sobre el tipo de construcción, su ubicación, dimensiones y cualquier característica distintiva. Además, se deben mencionar los actores principales involucrados en el proyecto, como el propietario, arquitectos, ingenieros y contratistas. Esta descripción general proporciona un contexto para comprender la importancia de la fase de preconstrucción en el proyecto y su impacto en las etapas posteriores.

- ***Objetivos específicos de la fase de preconstrucción.***

En esta sección se establecen los objetivos específicos que se pretenden lograr durante la fase de preconstrucción. Estos objetivos deben ser claros, medibles y alineados con los resultados deseados del proyecto en su conjunto. Al establecer objetivos específicos para la fase de preconstrucción, se proporciona una dirección clara y se enfoca el esfuerzo en áreas clave que impulsarán el éxito general

del proyecto. Estos objetivos deben ser revisados y actualizados a medida que se avanza en el proceso de implementación BIM y se obtiene la retroalimentación por parte de los stakeholders.

Algunos objetivos específicos a desarrollar durante la fase de preconstrucción, son:

- **Coordinación multidisciplinaria:** Garantizar una adecuada coordinación y colaboración entre los diferentes equipos de diseño, incluyendo arquitectos, ingenieros, consultores y contratistas, para optimizar el diseño del proyecto y minimizar los conflictos o errores.
- **Generación de documentos precisos:** Producir documentación detallada y precisa, incluyendo planos, modelos y especificaciones, que sirvan como base sólida para la etapa de construcción.
- **Estimación de costos precisa:** Utilizar el modelo BIM para generar estimaciones de costos precisas y detalladas, lo que permitirá una mejor planificación financiera y una toma de decisiones informada.
- **Análisis de constructibilidad:** Realizar análisis de constructibilidad exhaustivos para identificar posibles problemas o desafíos durante la construcción y proponer soluciones antes de que se inicien las obras.
- **Planificación de la logística:** Utilizar el modelo BIM para planificar y optimizar la logística de la construcción, incluyendo la gestión de materiales, equipos y personal en el sitio.
- **Simulaciones y visualizaciones:** Utilizar herramientas de simulación y visualización basadas en el modelo BIM para comunicar de manera efectiva el diseño a los stakeholders y tomar decisiones informadas sobre aspectos como la iluminación, el rendimiento energético y el impacto ambiental.

7.4.4.2. Organización y Responsabilidades

- ***Roles y responsabilidades del equipo BIM en la fase de preconstrucción.***

En esta sección, se deben establecer los roles y responsabilidades del equipo BIM que estarán involucrados en la fase de preconstrucción. Estos roles pueden variar dependiendo del tamaño y complejidad del proyecto. Algunos de los roles más comunes se describieron en el numeral 7.4.2.

- ***Identificación de los miembros clave del equipo y sus funciones.***

Se deben identificar y describir a los miembros clave del equipo BIM en la fase de preconstrucción, así como sus funciones específicas. Esto incluye nombres, roles, habilidades y responsabilidades de cada miembro del equipo BIM. Establecer una estructura organizativa clara y definir sus responsabilidades garantiza una colaboración efectiva y un enfoque centrado en la implementación optimizada de BIM en la fase de preconstrucción. Es importante destacar que la composición del equipo puede variar según el proyecto, pero algunos miembros clave podrían ser:

- **Representante del propietario:** Es el enlace entre el equipo de diseño y el propietario del proyecto. Se encarga de garantizar que los requisitos y expectativas del propietario se incorporen en el proceso BIM y de tomar decisiones relacionadas con el diseño y la construcción.
- **Arquitecto:** Es el responsable del diseño arquitectónico del proyecto. Trabaja en colaboración con otros miembros del equipo para garantizar que el diseño cumpla con los requisitos del propietario y las regulaciones locales.
- **Ingenieros:** Dependiendo de la naturaleza del proyecto, pueden incluir ingenieros estructurales, electricistas, mecánicos, hidrosanitarios, entre otros. Su función es proporcionar los cálculos y diseños de ingeniería necesarios para el proyecto, y colaborar estrechamente con otros miembros del equipo BIM para garantizar la coordinación y la integridad del diseño.

- **Contratista:** Participa activamente en la fase de preconstrucción para aportar su experiencia en la construcción y la logística del proyecto. Trabaja en estrecha colaboración con los demás miembros del equipo para proporcionar información y retroalimentación constructiva.

7.4.4.3. Estándares y Protocolos

- ***Normas y directrices específicas a seguir en el proyecto.***

Implica el uso de normas y directrices específicas, incluyendo las normas NTC-ISO 19650, que son un marco de referencia internacional para la gestión de la información en el ciclo de vida de los activos construidos utilizando BIM.

- ***Definición de los protocolos de intercambio de información y coordinación multidisciplinar.***

Estos protocolos establecen los procedimientos y las herramientas que se utilizarán para compartir y colaborar en el intercambio de datos y modelos BIM entre los diferentes participantes del proyecto. Esto garantiza la coherencia, la integridad y la calidad de la información, y facilita la coordinación y la toma de decisiones colaborativas.

Establecer estándares y protocolos claros es fundamental para asegurar la consistencia y la interoperabilidad de los modelos BIM, así como para promover una colaboración eficiente y efectiva entre los diferentes actores del proyecto. Al seguir normas reconocidas y definir protocolos específicos, se facilita la comunicación, se reduce el riesgo de errores y se mejora la eficiencia en la fase de preconstrucción.

7.4.4.4. Modelado y Estructura de Datos

- ***Metodología de modelado BIM que se utilizará.***

Es importante unificar y definir los criterios de modelación del proyecto, lo cual incluye establecer los estándares y las mejores prácticas para la creación de modelos, tales como la

organización de los elementos, la asignación de atributos y la nomenclatura utilizada. Esto garantiza la coherencia y la consistencia en la representación de los objetos del proyecto.

- ***Definición de los niveles de desarrollo del modelo (LOD) requeridos para los diferentes elementos del proyecto.***

Es necesario definir los niveles de desarrollo del modelo (LOD, por sus siglas en inglés) requeridos para los diferentes elementos del proyecto. Los LOD indican el grado de detalle y la cantidad de información que se espera que contengan los modelos en cada etapa del proyecto. Esto permite establecer expectativas claras sobre el nivel de precisión y detalle de los modelos BIM, facilitando la comunicación y la toma de decisiones.

- ***Estructura de datos y clasificación de los objetos del modelo BIM.***

Se debe establecer una clasificación coherente y lógica de los objetos del modelo BIM. Esto implica definir categorías y subcategorías que permitan organizar y gestionar eficientemente los elementos del proyecto. Una estructura de datos bien definida facilita la búsqueda, la extracción de información y la interoperabilidad entre diferentes disciplinas y herramientas.

7.4.4.5. Colaboración y Coordinación

- ***Procesos y herramientas de colaboración entre los actores del proyecto.***

Para lograr una colaboración efectiva, es necesario establecer procesos y utilizar herramientas adecuadas que faciliten la comunicación y la coordinación entre los equipos. En esta sección, se deben definir los procesos de colaboración, incluyendo los métodos de intercambio de información, la frecuencia y los canales de comunicación utilizados. Esto puede incluir el uso de plataformas colaborativas en la nube (CDE), sistemas de gestión de proyectos y herramientas de comunicación en línea para asegurar que todos los participantes tengan acceso a la información necesaria en tiempo real.

- ***Planificación de las reuniones de coordinación y seguimiento.***

La coordinación y el seguimiento de la solución de conflictos debe hacerse mediante la celebración de reuniones con una frecuencia establecida y un orden del día claro para abordar los aspectos relacionados con el modelo BIM, la solución de incidencias y el avance del proyecto. Estas reuniones son oportunidades para revisar el progreso, identificar y solucionar problemas, y tomar decisiones conjuntas.

7.4.4.6. Intercambio de Información

- ***Formatos y protocolos de intercambio de información BIM (formatos IFC y COBie).***

Para garantizar una comunicación efectiva y el flujo adecuado de información, es necesario establecer los formatos y protocolos de intercambio de información BIM. Los formatos más comunes utilizados en el intercambio de información BIM son el Industry Foundation Classes (IFC) y el Construction Operations Building Information Exchange (COBie). El IFC es un estándar neutral y abierto que permite el intercambio de datos entre diferentes plataformas y aplicaciones BIM. Por su parte, el COBie es un formato específico para el intercambio de información de operación y mantenimiento del edificio.

- ***Definición de los entregables BIM requeridos en cada etapa de la fase de preconstrucción.***

Es importante definir los entregables BIM requeridos en cada etapa de la fase de preconstrucción. Estos entregables pueden incluir modelos BIM completos o parciales, informes, documentación técnica y cualquier otro tipo de información relevante para el desarrollo del proyecto. Es fundamental establecer los requisitos y las fechas de entrega para garantizar la disponibilidad oportuna de la información necesaria para la toma de decisiones.

7.4.4.7. Control de Calidad y Revisión

- ***Procedimientos y criterios de control de calidad del modelo BIM.***

Los procedimientos de control de calidad deben incluir la verificación de la consistencia y precisión del modelo BIM, la detección de posibles errores o discrepancias, y la validación de los datos y la información incorporada. Estos procedimientos pueden incluir la utilización de herramientas de revisión automática, la realización de comprobaciones manuales y la colaboración entre los diferentes actores para identificar y resolver problemas.

- ***Planificación de las revisiones del modelo BIM durante la fase de preconstrucción.***

Implica establecer una programación clara y definir los puntos de revisión en los cuales se evaluará el modelo en función de los criterios establecidos. Estas revisiones pueden ser llevadas a cabo por el equipo BIM interno, consultores externos u otras partes interesadas relevantes.

7.4.4.8. Capacitación y Desarrollo

- ***Plan de capacitación para el personal involucrado en la fase de preconstrucción.***

El Plan de capacitación debe comenzar identificando las necesidades de formación específicas en BIM para cada rol y función dentro del equipo. Esto incluye comprender los conceptos básicos de BIM, el uso de software BIM, la metodología de modelado BIM, la coordinación multidisciplinar, el intercambio de información, entre otros aspectos relevantes.

Con base en estas necesidades identificadas, se debe desarrollar un programa de capacitación que aborde de manera efectiva los conocimientos y habilidades requeridos. Este programa puede incluir cursos presenciales, talleres, recursos en línea, tutoriales y sesiones de entrenamiento práctico. Además, es importante establecer una estrategia de seguimiento y evaluación para medir el progreso de la capacitación y asegurar que se estén adquiriendo las competencias necesarias. A medida que el equipo adquiere mayor experiencia y dominio de las herramientas y metodologías BIM, se potenciará la eficiencia, la colaboración y la calidad en la ejecución de los proyectos.

7.4.4.9. Gestión de la Información

- ***Procesos y herramientas para la gestión de la información del modelo BIM.***

La gestión eficiente de la información es esencial para asegurar la integridad, la accesibilidad y la utilidad de los datos generados y utilizados en el proyecto. Para ello, es necesaria la creación de una estructura de archivos coherente y organizada, que permita la fácil ubicación y recuperación de los datos relevantes. Además, se debe definir una nomenclatura estándar y consistente, que facilite la identificación y comprensión de los archivos y elementos del modelo BIM. El uso de herramientas tecnológicas adecuadas también es fundamental para la gestión de la información. Se pueden emplear plataformas y software de gestión de documentos y datos, que permitan la colaboración y el intercambio de información de manera eficiente y segura. Estas herramientas pueden incluir repositorios BIM, sistemas de control de versiones y herramientas de coordinación y comunicación.

7.4.4.10. Planificación y Cronograma

- ***Definición de actividades y plazos para la fase de preconstrucción***

En primer lugar, es necesario definir las actividades específicas que se llevarán a cabo durante la fase de preconstrucción y asignarles los plazos correspondientes. Estas actividades pueden incluir la elaboración y revisión del modelo BIM, la coordinación multidisciplinar, la generación de documentos de construcción, la estimación de costos y cualquier otra tarea relacionada con BIM.

- ***Integración del plan de ejecución BIM en el cronograma general del proyecto***

Implica coordinar las fechas y los hitos del cronograma con las actividades y los plazos del plan de ejecución BIM, de manera que se garantice la sincronización adecuada entre las tareas BIM y las demás actividades de preconstrucción del proyecto. Esta integración permite una planificación más eficiente y una mayor coordinación entre los equipos de trabajo. Además, proporciona una visión clara de los plazos y las interdependencias entre las tareas BIM y las demás actividades del proyecto, lo que facilita la toma de decisiones y el cumplimiento de los objetivos establecidos.

7.4.5. Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) para la Fase de Preconstrucción

Todo proceso BIM debe ser medible, escalable y repetible. Por tal razón, su implementación implica establecer una serie de Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) que posibiliten el seguimiento y la evaluación del uso de BIM durante la fase de preconstrucción. En la Tabla 5 se proponen algunos:

Tabla 5

Indicadores Clave de Rendimiento (KPI) para la fase de preconstrucción

Ítem	Indicador	Función
Nivel de adopción de BIM	% de proyectos que utilizan BIM en la fase de preconstrucción	Muestra el grado de adopción de BIM por parte de la organización durante la fase de preconstrucción. Un mayor porcentaje indica una mayor integración de BIM en los proyectos, lo que puede resultar en beneficios como una mejor coordinación y colaboración multidisciplinaria, mayor precisión en la estimación de costos y mayor eficiencia en la programación de la construcción.
	% de personal capacitado en competencias BIM relevantes para la fase de preconstrucción	Evalúa la capacitación del personal en competencias BIM necesarias para la fase de preconstrucción. Un alto porcentaje indica una mayor preparación del equipo para utilizar eficientemente las herramientas y metodologías de BIM durante esta etapa, lo que puede mejorar la productividad y la calidad del trabajo.
Eficiencia en la coordinación multidisciplinar	Tiempo promedio de respuesta para resolver conflictos de diseño	Mide la eficiencia en la resolución de conflictos de diseño durante la fase de preconstrucción. Un tiempo promedio más corto indica una coordinación multidisciplinaria efectiva, lo que reduce los retrasos y permite la toma de decisiones oportuna para evitar problemas posteriores durante la construcción.
	% de problemas de diseño resueltos antes de la fase de construcción	Evalúa la eficiencia en la resolución de problemas de diseño antes de la fase de construcción. Un alto porcentaje indica una mayor capacidad para anticipar y solucionar problemas durante la fase de preconstrucción, lo que reduce los costos y los retrasos en la etapa de construcción.

Precisión y calidad del modelo BIM	% de discrepancias detectadas en el modelo BIM durante la revisión del diseño aprobado	Muestra la calidad del modelo BIM en términos de su conformidad con el diseño aprobado. Un bajo porcentaje indica una mayor precisión y calidad del modelo, lo que reduce las discrepancias y los errores durante la fase de preconstrucción.
	# de errores o inexactitudes encontradas en el modelo BIM durante la fase de preconstrucción	Mide la calidad del modelo BIM en términos de errores o inexactitudes identificados durante la fase de preconstrucción. Un menor número de errores indica una mayor precisión del modelo, lo que contribuye a una mejor planificación, estimación de costos y coordinación multidisciplinaria.
Mejora en la programación de la construcción	% de proyectos que cumplen con los plazos establecidos en la planificación inicial	Evalúa la eficacia de la programación de la construcción durante la fase de preconstrucción. Un alto porcentaje indica una mejor planificación y coordinación, lo que reduce los retrasos y mejora la eficiencia en el cumplimiento de los plazos establecidos.
	Reducción del tiempo de reprogramación debido a cambios en el diseño durante la fase de preconstrucción	Mide la eficacia en la gestión de cambios durante la fase de preconstrucción. Una reducción en el tiempo de reprogramación indica una mayor capacidad para adaptarse y gestionar eficientemente los cambios en el diseño, lo que reduce los retrasos y los impactos en la programación de la construcción.
Exactitud en la estimación de costos	% de precisión en la estimación de costos basada en el modelo BIM	Muestra la precisión de la estimación de costos basada en el modelo BIM en comparación con los costos reales. Un alto porcentaje indica una mayor exactitud en la estimación, lo que permite una planificación financiera más precisa y una mejor gestión de los recursos económicos.
	Reducción del número de cambios o ajustes en los costos durante la fase de preconstrucción	Mide la eficacia en la estimación de costos durante la fase de preconstrucción. Una reducción en el número de cambios o ajustes indica una mayor precisión en la estimación inicial, lo que evita sorpresas y variaciones significativas en los costos durante la construcción, mejorando la planificación financiera y la gestión de recursos.

Eficacia en el análisis de constructibilidad	% de problemas de constructibilidad identificados y resueltos antes de la fase de construcción	Muestra la eficacia en la identificación y resolución de problemas de constructibilidad. Un alto porcentaje indica una mayor capacidad para identificar y solucionar problemas antes de la construcción, mejorando la eficiencia en la ejecución de la obra y evitando reprocesos o retrasos.
	# de mejoras implementadas en el diseño para mejorar la constructibilidad y la eficiencia de la construcción	Mide la cantidad de mejoras realizadas en el diseño con el objetivo de mejorar la constructibilidad y la eficiencia de la construcción. Un mayor número de mejoras indica una mayor atención a la optimización del proceso constructivo, ahorrando tiempo y recursos durante la fase de preconstrucción y construcción.
Planificación de la logística	% de cumplimiento de los plazos y las secuencias de entrega establecidos en el plan logístico	Evalúa la eficacia en la planificación y gestión de la logística durante la fase de preconstrucción. Un alto porcentaje indica una mejor coordinación y cumplimiento de los plazos y las secuencias de entrega, lo que garantiza un flujo eficiente de los recursos y materiales en el sitio de obra y evita retrasos en el desarrollo del proyecto.
	# de conflictos o retrasos en la planificación logística resueltos de manera oportuna	Mide la capacidad para resolver conflictos y retrasos en la planificación logística de manera oportuna. Un menor número de conflictos indica una mejor gestión de la logística, lo que evita interrupciones y garantiza un flujo continuo de actividades en el sitio de obra.
Generación de documentos de construcción	Tiempo promedio requerido para generar y actualizar los documentos de construcción a partir del modelo BIM	Muestra la eficiencia en la generación y actualización de los documentos de construcción utilizando el modelo BIM. Un tiempo promedio más corto indica una mayor agilidad en la generación de los documentos, lo que facilita la comunicación y la coordinación entre los diferentes actores del proyecto durante la fase de preconstrucción.
	# de inconsistencias encontradas en los documentos de construcción generados a partir del modelo BIM	Mide la calidad de los documentos de construcción generados a partir del modelo BIM. Un menor número de errores e inconsistencias indica una mayor precisión en la documentación, lo que reduce los riesgos de interpretación incorrecta y errores durante la construcción, mejorando la eficiencia y la calidad de la ejecución del proyecto.

Utilización de simulaciones y visualizaciones	# de simulaciones y visualizaciones utilizadas durante la fase de preconstrucción	Mide la cantidad de simulaciones y visualizaciones utilizadas durante la fase de preconstrucción. Un mayor número indica una mayor utilización de estas herramientas, lo que contribuye a una mejor comprensión y toma de decisiones, reduciendo los riesgos y mejorando la comunicación entre los diferentes actores del proyecto.
	Evaluación de los stakeholders con las simulaciones y visualizaciones generadas	Mide el nivel de satisfacción de los stakeholders con las simulaciones y visualizaciones generadas durante la fase de preconstrucción. Una alta evaluación indica que las herramientas de simulación y visualización han sido efectivas para comunicar y visualizar el desarrollo del proceso constructivo, generando confianza y satisfacción en los resultados esperados.

Nota. Elaboración propia.

Los KPI propuestos deben ser adaptados según los objetivos y las características de la organización y del proyecto en particular. Al realizar un seguimiento de estos indicadores, se puede monitorear la implementación de BIM e identificar cualquier problema potencial desde el principio. Los KPI permiten evaluar el progreso, identificar oportunidades de mejora y tomar decisiones informadas para optimizar la implementación de BIM en la fase de preconstrucción. Esto ayudará a garantizar que el proyecto se complete a tiempo, dentro del presupuesto y a satisfacción del propietario.

Con base en estos KPI, es recomendable considerar algunos factores adicionales para la supervisión y evaluación de la implementación de BIM en la fase de preconstrucción, tales como:

- **Establecer metas y objetivos claros:** Antes de comenzar a monitorear y evaluar la implementación de BIM, es importante establecer metas y objetivos claros. Esto ayudará a determinar lo que se está tratando de lograr y medir su progreso.
- **Recopilar datos periódicamente:** Es importante recopilar datos regularmente para que pueda realizar un seguimiento del progreso de la implementación de BIM. Estos datos se pueden recopilar a través de encuestas, entrevistas y observaciones.

- **Analizar los datos:** Una vez recopilados los datos, deben ser analizados para identificar posibles problemas o áreas de mejora.
- **Tomar acción:** Una vez identificados los problemas potenciales o áreas de mejora, se deben tomar medidas para abordarlos. Esto puede implicar realizar cambios en el plan de implementación BIM, brindar capacitación al equipo o comunicarse con las partes interesadas.

8. Resultados Esperados

Como se anotó en las limitaciones del proyecto de investigación, más allá del carácter general de la estrategia formulada, y a la falta de recursos económicos y humanos para llevar a cabo una implementación BIM real en un proyecto específico, se puede concluir que los resultados esperados de la implementación de la guía BIM en el sector AEC en Colombia aquí propuesta, puede proporcionar una visión general de los impactos y beneficios a obtener. La estrategia metodológica para la implementación de BIM permite mejorar la coordinación de los equipos de obra, reducir errores y reprocesos, optimizar la programación y estimación de costos, y eficientizar los procedimientos de preconstrucción. Los objetivos específicos establecidos al inicio de este proyecto investigativo persiguen la obtención de beneficios significativos para las organizaciones del sector AEC en Colombia que adopten esta estrategia.

En relación con los aspectos técnicos del proceso constructivo, se consideraron cinco factores mediante los cuales se definen los resultados que se pueden esperar al implementar la estrategia de implementación BIM aquí propuesta:

1. Mejora en la eficiencia y calidad del diseño: La implementación de la guía BIM en la fase de preconstrucción permite una mayor colaboración y coordinación entre los diferentes actores del proyecto, lo que conduce a una mejora en la eficiencia y calidad del diseño. La revisión y validación del

diseño aprobado, el análisis de constructibilidad y la simulación del proceso constructivo, entre otras aplicaciones, ayudan a evitar errores y retrabajos, optimizando el proceso de planificación de las tareas de construcción.

2. Mayor control de costos y tiempos de ejecución: Mediante el uso de BIM en la estimación de costos, programación de actividades y planificación logística, se logra una mayor precisión y control de los costos del proyecto. Además, la secuenciación y coordinación de actividades permite una mejor gestión del tiempo, reduciendo reprogramaciones y retrasos en la fase de construcción.

3. Mejora en la comunicación y colaboración: La implementación de la guía BIM fomenta una cultura de colaboración y comunicación efectiva entre los diferentes equipos y actores del proyecto. El uso de herramientas y tecnologías BIM facilita el intercambio de información y la toma de decisiones basadas en datos precisos, lo que mejora la coordinación y el trabajo en equipo.

4. Mayor precisión y calidad en la documentación: La generación de documentos de construcción a partir del modelo BIM garantiza una mayor precisión y calidad en la documentación. Esto reduce los errores y malentendidos en el sitio de obra, mejorando la ejecución de las tareas y la coordinación entre los equipos.

5. Aumento en la capacidad y competencias BIM: La implementación de la guía BIM para la fase de preconstrucción promueve la capacitación y desarrollo del personal en competencias BIM. Esto impulsa el crecimiento de la capacidad del sector AEC en Colombia en el uso efectivo de BIM, lo que a su vez fomenta la innovación y la mejora continua en las prácticas de construcción.

En resumen, con el aprovechamiento de las capacidades de modelado y automatización que ofrece BIM, se puede mejorar la calidad del diseño, reducir errores y retrabajos, optimizar los costos y planificar eficientemente la construcción. Estos beneficios conducen a una mayor eficiencia en los proyectos, una mejor toma de decisiones y una mayor satisfacción tanto para los clientes como para los equipos de proyecto.

9. Conclusiones y Recomendaciones

9.1. Conclusiones

La implementación de BIM en la fase de preconstrucción tiene el potencial de impulsar la transformación digital en el sector AEC en Colombia, mejorando la competitividad y la calidad de los proyectos en el país. La investigación realizada refleja que, en mayor parte, BIM se desarrolla solo durante el proceso de diseño del proyecto para la elaboración de los planos de construcción. Los beneficios de esta metodología de trabajo dejan de transferirse significativamente a la fase de construcción, ya que BIM, aún, tiene un uso limitado en la fase de preconstrucción.

La implementación de BIM debe asumirse como un proceso de cambio cultural realizado de forma gradual, mediante el cual se documenta el proyecto de manera exhaustiva antes de su ejecución, abordándolo como un proceso natural y colaborativo, en lugar de ser rígido e impositivo. De esta manera, se evita que actores disidentes o resistentes al cambio puedan tender a involucrarse en el proyecto solo en la etapa que le corresponde, mediante la adopción de un modelo donde converjan las diferentes disciplinas transversalmente en una constante interacción técnica.

De acuerdo con experiencias en países más desarrollados, el cambio más difícil no es el costo del software o aprender la metodología, sino cambiar la forma de pensar y trabajar en proyectos. Este cambio implica una mayor colaboración entre arquitectos, proyectistas y constructores, un aumento en el nivel de detalle (LOD) durante el diseño para cada especialidad y reuniones frecuentes de coordinación en un ambiente que facilite la colaboración. Todos los actores involucrados deben trabajar con el Modelo del Proyecto y evaluar los posibles cambios con sus implicaciones.

El presente trabajo se propone como un paso inicial hacia la construcción de un procedimiento estructurado para la optimización de los procesos implicados en la fase de preconstrucción de edificaciones, al cual puede darse continuidad mediante el desarrollo de nuevas herramientas

tecnológicas para la automatización de tareas, la evolución de estándares y formatos para el intercambio de la información y la integración completa de los procesos constructivos a través de BIM.

9.2. Recomendaciones

De acuerdo con las anteriores conclusiones, a continuación, se sugiere una serie de recomendaciones para la implementación de BIM en la fase de preconstrucción, lo cual requiere un enfoque integral, una cultura de colaboración y mejora continua. Estas recomendaciones deben ser adaptadas a las necesidades y características específicas de la organización y/o proyecto.

1. Establecer una visión clara, lo cual implica definir de manera precisa y comprensible los objetivos y beneficios que se esperan alcanzar con la implementación de BIM en la fase de preconstrucción. Esta visión debe comunicarse de manera efectiva a todos los miembros del equipo y a las partes interesadas, para que todos estén alineados y comprometidos con los mismos objetivos. Una visión clara proporciona una dirección clara y un propósito común, lo que facilita la toma de decisiones y la planificación estratégica.

2. Comprometer las esferas directivas como factor fundamental para la adecuada implementación de BIM en la fase de preconstrucción. La alta dirección debe respaldar y promover activamente la adopción de BIM, mostrando su compromiso a través de la asignación de recursos adecuados, la participación en la toma de decisiones estratégicas y la promoción de una cultura organizacional orientada hacia BIM. Su liderazgo y apoyo constante ayudan a superar posibles obstáculos, impulsan la adopción generalizada de BIM y transmiten la importancia de esta transformación a toda la organización, generando un entorno propicio para el uso de BIM.

3. Evaluar y mejorar las capacidades BIM, mediante lo cual se realiza un análisis exhaustivo de las habilidades, recursos, tecnología y procesos existentes en la organización con respecto a BIM en la fase de preconstrucción. Esto ayuda a identificar las áreas de fortaleza y las brechas a superar. Mediante

la identificación de las necesidades de capacitación, la adquisición de recursos adecuados y la implementación de mejoras en los procesos, la organización puede fortalecer su capacidad BIM.

4. Desarrollar un plan de capacitación y desarrollo efectivo, el cual debe identificar las competencias necesarias para utilizar BIM de manera eficiente y efectiva, y diseñar actividades de capacitación que aborden esas necesidades. Además, el plan debe considerar el uso de diferentes enfoques de aprendizaje, como cursos, talleres, certificaciones y tutorías, para brindar las habilidades y conocimientos necesarios sobre BIM y sus aplicaciones a los miembros del equipo de preconstrucción.

5. Establecer estándares y protocolos de trabajo sólidos para definir las pautas y directrices sobre el uso del modelo BIM, el intercambio de información, la nomenclatura, los niveles de detalle, entre otros aspectos. Al tener estándares consistentes, se garantiza la coherencia y la interoperabilidad entre los diferentes actores y disciplinas involucradas. Además, los protocolos de trabajo especifican los flujos de trabajo y las responsabilidades de cada parte, lo que facilita la comunicación y evita conflictos.

6. Establecer mecanismos de colaboración y comunicación efectivas para promover un ambiente de trabajo colaborativo y fomentar la comunicación abierta entre todos los actores involucrados en el proyecto, garantizando una coordinación eficiente y una toma de decisiones informada. Esto se logra mediante el uso de plataformas y herramientas que permiten compartir información en tiempo real, organizar reuniones regulares de equipo y establecer canales de comunicación claros.

7. Seleccionar de forma adecuada las herramientas y tecnologías BIM que mejor se adapten a las necesidades y requisitos del proyecto y la organización. Esto incluye considerar la interoperabilidad entre las herramientas seleccionadas y su capacidad para integrarse con el flujo de trabajo existente. La elección de tecnologías apropiadas, tales como software de modelado BIM, aplicaciones de gestión de datos y visualización 3D, mejora la eficiencia y la precisión en la generación y manipulación de información del modelo, facilitando la colaboración entre los diferentes equipos de trabajo.

8. Gestionar efectivamente la información BIM, lo cual implica establecer un sistema robusto de gestión de la información o CDE, donde se almacenan, acceden y rastrean los datos relacionados con el modelo BIM de manera centralizada. Es importante establecer protocolos claros para el control de calidad y la integridad del modelo, asegurando que esté actualizado y refleje con precisión el estado del proyecto. Además, se deben implementar mecanismos para compartir y distribuir la información de manera eficiente y segura, lo que permite una colaboración fluida entre los distintos miembros del equipo y facilita la toma de decisiones basada en datos precisos y actualizados.

9. Promover una cultura BIM, lo cual requiere fomentar la conciencia y el compromiso de todos los miembros del equipo y los stakeholders con los principios y beneficios de BIM. Se deben proporcionar oportunidades de capacitación y desarrollo para mejorar las habilidades en BIM, así como espacios de colaboración y comunicación para fomentar el intercambio de conocimientos y experiencias. Además, se deben reconocer y recompensar los éxitos y buenas prácticas en la aplicación de BIM.

10. Definir procedimientos de evaluación continua y mejora, estableciendo mecanismos de retroalimentación y seguimiento que permitan monitorear el progreso y los resultados obtenidos. Mediante la recopilación de datos, el análisis de desempeño y la identificación de áreas de mejora, se pueden implementar acciones correctivas y ajustes necesarios. Además, es importante estar al tanto de las últimas tendencias y avances en tecnología BIM para actualizar constantemente los procesos y las herramientas utilizadas. La evaluación continua y mejora garantiza que la implementación de BIM evolucione y se adapte a medida que avanza la fase de preconstrucción, maximizando así los beneficios y el rendimiento del proyecto.

Lista de Referencias

BIM Forum Chile. (2019). Artículo Técnico N° 08: Publicación de Normas Internacionales ISO 19650.

<https://bimforum.cl/download/at08-publicacion-de-normas-internacionales-iso-19650/>

BIM Forum Chile. (2022). Qué es BIM Forum Chile.

<https://bimforum.cl/que-es-bim-forum-chile/>

BIM Management. (2021). ISO 19650: Conceptos Básicos y Terminología.

<https://bimmanagement.co/2021/12/16/normatividad-bim-en-colombia/>

buildingSMART Spanish Chapter [buildingSMART Capítulo Español]. (2021). Introducción a la Serie EN

ISO 19650. <https://www.buildingsmart.es/recursos/en-iso-19650/>

buildingSMART Spanish Chapter. (s.f). ¿Qué es BIM?

<https://www.buildingsmart.es/bim/qu%C3%A9-es/>

Cámara Colombiana de la Construcción – CAMACOL. (2020a). *BIM Forum Colombia*.

<https://camacol.co/productividad-sectorial/digitalizacion/bim-forum>

Cámara Colombiana de la Construcción – CAMACOL. (2020b). *Hoja de Ruta para la Implementación BIM*.

<https://camacol-new.demodayscript.com/descargable/hoja-de-ruta-para-la-implementacion-bim>

Cámara Colombiana de la Construcción – CAMACOL. (2020c). Webinar | Transformación Digital para

Impulsar el Sector de la Construcción. [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=Zdk8AkYr6II>

Departamento Nacional de Planeación – DNP. (2011). Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2010 –

2014. Prosperidad para Todos. <https://www.dnp.gov.co/Plan-Nacional-de-Desarrollo/PND-2010-2014>

Departamento Nacional de Planeación – DNP, Ministerio de Tecnologías de la Información y las

Comunicaciones – MINTIC, y Departamento Administrativo de la Presidencia de la República.

(2019). CONPES 3975 - Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3975.pdf>

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., y Liston, K. (2011). BIM Handbook: A Guide to Building Information

Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors [Manual BIM: Una Guía para el Modelado de Información de Construcción para Propietarios, Gerentes, Diseñadores, Ingenieros y Contratistas].

http://bim.pu.go.id/assets/files/BIM_Handbook_A_Guide_to_Building_Information_Modeling_for_Owners_Managers_Designers_Engineers_and_Contractors_Second_Edition.pdf

Esarte-Eseverri, A. (2020). CDE, ¿Qué es un CDE O Common Data Environment?

<https://www.espaciobim.com/cde>

Gaunt, M. (2017). “BIM Model-based Design Delivery: Tideway East, England, UK” [Entrega de Diseños

con Base en Modelos BIM: Tideway East, England, UK]. *Smart Infrastructure and Construction*, 170-3, 50-58. <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/jsmic.17.00011>

Graphisoft. (2023). Nuestra Historia.

<https://graphisoft.com/co/why-graphisoft/our-story>

Gobierno de Colombia. (2020). Estrategia Nacional BIM 2020 - 2026.

<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Estrategia-Nacional-BIM-2020-2026.pdf>

Hardin, B. y McCool, D. (2015). BIM and Construction Management. Proven Tools, Methods, and

Workflows [BIM y Dirección de Obra. Herramientas Probadas, Métodos y Flujos de Trabajo].

<http://iibimsolutions.ir/files/BIM/Ebook/BIM%20and%20Construction%20Management-2nd%20edition.pdf>

- Johansson, M., & Roupé, M. (2019). "BIM and Virtual Reality (VR) at the Construction Site" [BIM y Realidad Virtual (VR) en el Sitio de Obra]. *19th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 2019). Enabling Digital Technologies to Sustain Construction Growth and Efficiency, 19, 1-10.*
https://www.researchgate.net/publication/340088309_BIM_and_Virtual_Reality_VR_at_the_construction_site
- Jurado-Guerra, C. (2014). Beneficios del BIM en el Diseño de Proyectos.
<http://www.suma.pe/2014/08/01/beneficios-del-bim-en-el-diseno-de-proyectos/>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. 2021. NTC-ISO 19650. <https://tienda.icontec.org/gp-organizacion-y-digitalizacion-de-la-informacion-en-edificaciones-y-obras-de-ingenieria-civil-incluyendo-bim-building-information-modelling-gestion-de-la-informacion-usando-bim-parte-1-conceptos-y-principios-ntc-iso19650-1-2021.html>
- International Organization for Standardization [Organización Internacional para la Estandarización] – ISO. (s.f). "Standards by ISO/TC 59/SC 13. Organization and Digitization of Information About Buildings and Civil Engineering Works, Including Building Information Modelling (BIM)" [Normas de ISO/TC 59/SC 13. Organización y Digitalización de Información Sobre Edificios y Obras de Ingeniería Civil, Incluido el Modelado de Información de Construcción (BIM)].
<https://www.iso.org/committee/49180/x/catalogue/p/1/u/0/w/0/d/0>
- Jung, W. & Lee, G. (2015). The Status of BIM Adoption on Six Continents [Estado de la Adopción BIM en los Seis Continentes]. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation, 9, 5.*
<https://zenodo.org/record/1100430#.ZC9IRnbMKM8>
- Kymmell, W. (2008). Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations [Modelado de Información de Construcción: Planificación y Gestión de Proyectos de Construcción con CAD 4D y Simulaciones].

<https://www.freepdfbook.com/building-information-modeling-planning-and-managing-construction-projects-with-4d-cad-and-simulations/>

Lacaze, L. (2021). *Encuesta BIM: América Latina y el Caribe 2020*.

<https://publications.iadb.org/es/encuesta-bim-america-latina-y-el-caribe-2020>

Mata, L. (2019a). El BIM en Todas sus Dimensiones. *Foro / Chat Iberoamérica*, 1, 11-13.

<https://dataiaing.com/site/wp-content/uploads/2019/08/Revista.pdf>

Mata, L. (2019b). Las 7 Dimensiones del BIM Propuesta de 3 Dimensiones Adicionales (8D, 9D Y 10D).

<https://dataiaing.com/site/las-7-dimensiones-del-bim/>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - MinVivienda. (2020). Resolución Número 0440 de 2020.

<https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/0441%20-%202020.pdf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio - MinVivienda. (2022). Nacionales.

<https://www.minvivienda.gov.co/estandares-nacionales-bim>

Structuralia. (2022). “El Panorama BIM en Colombia”.

<https://blog.structuralia.com/bim-colombia>

Sundquist, V., Leto, A., Gustafsson, M., Johansson, M., & Roupe, M. (2020). “BIM in Construction

Production: Gains and Hinders for Firms, Projects and Industry” [BIM en la Producción de la

Construcción: Ventajas y Desventajas para las Empresas, los Proyectos y la Industria]. *36th*

Annual ARCOM Conference, pp. 505-514, [https://arcom.ac.uk/-docs/archive/2020-Indexed-](https://arcom.ac.uk/-docs/archive/2020-Indexed-Papers.pdf)

[Papers.pdf](https://arcom.ac.uk/-docs/archive/2020-Indexed-Papers.pdf)

Techture. (2021). BIM Implementation [Implementación BIM].

<https://techturglobal.com/blog/portfolio/bim-management-implementation/>

The British Standards Institution [Instituto de Estándares Británicos] – BSI. 2022. ¿Qué es la norma ISO

19650? <https://www.bsigroup.com/es-ES/iso-19650/>

- Ulvestad, Ø., & Vieira, T. (2021). "Randselva Bridge: Planning and Building a 634m Long Bridge Solely Based on BIM Models" [Puente Randselva: Planificación y Construcción de un Puente de 634 m de Largo Basado Únicamente en Modelos BIM]. <https://e-mosty.cz/wp-content/uploads/e-mosty-Sept21.pdf>.
- Vilutienė, T., Kiaulakis, A. y Migilinskas, D. (2021). Assessing the Performance of the BIM Implementation Process: A Case Study [Evaluación del Desempeño del Proceso de Implementación BIM: Un Estudio de Caso]. *Revista de la Construcción*, 20 (1), 26-36.
<https://dx.doi.org/10.7764/rdlc.20.1.26>
- Wierzbicki, M., De Silva, C. W., & Krug, D. H. (2011). BIM—History and Trends [BIM-Historia y Tendencias]. *11th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality (CONVR 2011)*. https://www.researchgate.net/publication/259390230_BIM_-_History_and_Trends
- Wilson, H. (2015). CP2 1 Pre construction Process [CP2 1 Proceso de pre construcción].
https://www.youtube.com/watch?v=TsHv0WHYTXM&ab_channel=HughWilson
- World Economic Forum [Foro Económico Mundial]. (2016). Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology [Dando Forma al Futuro de la Construcción: un Avance en Mentalidad y Tecnología]. <https://www.weforum.org/reports/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology/>

Anexo 1

Guía para el Uso de BIM en la Etapa de Preconstrucción

Guía para el Uso de BIM en la Etapa de Preconstrucción

Introducción

La implementación del Modelado de Información de Construcción (BIM, por sus siglas en inglés) ha revolucionado la industria de la construcción, brindando un enfoque integral para la gestión de proyectos y facilitando la colaboración entre los diferentes actores involucrados.

BIM se utiliza en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto de construcción, desde la conceptualización y diseño hasta la construcción y operación. En particular, la fase de preconstrucción comienza una vez los diseños son aprobados y se desarrolla hasta el inicio y durante la ejecución de las tareas de construcción propiamente dichas, siendo fundamental para establecer las bases sólidas que aseguren el éxito del proyecto. Es en esta etapa donde se definen y coordinan los elementos clave que darán forma a la construcción posterior.

Para maximizar los beneficios de BIM en esta fase crítica, se requiere una guía detallada que oriente a los profesionales del sector AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) en el proceso de implementación. En la presente guía se presentan los pasos esenciales, las mejores prácticas y las consideraciones clave para aprovechar al máximo BIM en la fase de preconstrucción. Siguiendo esta guía, los profesionales y organizaciones podrán optimizar la comunicación, la generación de documentos, la estimación de costos y la planificación de la construcción, sentando así las bases para un proyecto exitoso. Esta guía constituye una referencia general para abordar la fase de preconstrucción, cuyos pasos específicos pueden variar según las características del proyecto y las necesidades de las partes interesadas. Los pasos clave se describen a continuación.

Guía BIM para la fase de preconstrucción



1

| Revisión del diseño aprobado

Propósito	Garantizar que el diseño aprobado se revise minuciosamente para identificar y abordar posibles problemas u omisiones derivadas del desarrollo del proyecto de diseño desde todas las especialidades involucradas en el proceso.
Procedimiento	1. Revisa los documentos de diseño aprobados, incluidos los dibujos, especificaciones y otra documentación. 2. Identifica cualquier problema potencial con el diseño, como conflictos, errores u omisiones. 3. Comunica cualquier problema potencial a las partes interesadas correspondientes, como el arquitecto, el ingeniero o el contratista. 4. Trabaja con las partes interesadas para resolver cualquier problema potencial.
Responsabilidades	• El director del proyecto es responsable de supervisar el proceso de revisión. • El equipo de diseño es responsable de revisar los documentos de diseño e identificar cualquier problema potencial. • El equipo de construcción es responsable de trabajar con el equipo de diseño para resolver cualquier problema potencial.
Registros	• Una lista de los posibles problemas que se identificaron. • Un registro de las acciones que se tomaron para resolver los posibles problemas. • Un informe final que resume los resultados del proceso de revisión.
Recomendaciones	• Ser minucioso. Tómate el tiempo para revisar cuidadosamente el diseño aprobado e identifica cualquier problema potencial. • Ser proactivo. No esperes a que surjan problemas. Identifica problemas potenciales desde el principio y trabaja para resolverlos antes de que causen problemas. • Ser comunicativo. Comunicarte con las partes interesadas correspondientes durante todo el proceso de revisión. Esto ayudará a garantizar que todos estén al tanto de cualquier problema potencial y que estén trabajando juntos para resolverlo. • Estar orientado a la solución. No te limites a identificar los problemas. Trabaja con las partes interesadas para encontrar soluciones a los problemas.

Para empezar, analiza detenidamente el diseño aprobado por el cliente y asegúrate de comprender todos los detalles y requisitos. El procedimiento detallado, es:

- a. **Comprende los requisitos del cliente:** Revisa nuevamente los requisitos del cliente y asegúrate de tener una comprensión clara de sus necesidades y expectativas. Esto te permitirá evaluar si el diseño aprobado cumple con todos los requisitos establecidos.
- b. **Verifica la precisión del diseño:** Examina detenidamente el diseño aprobado para identificar posibles errores o inconsistencias. Utiliza el modelo BIM como referencia principal para comparar y verificar la precisión de los planos y las especificaciones técnicas.
- c. **Coordina con el equipo de diseño:** Comunícate con el equipo de diseño, que puede incluir arquitectos, ingenieros y otros profesionales involucrados. Aborda cualquier pregunta o inquietud que puedas tener sobre el diseño aprobado y asegúrate de obtener aclaraciones o modificaciones necesarias antes de pasar a la etapa de construcción.
- d. **Revisa la coordinación multidisciplinaria:** Asegúrate de que todas las disciplinas y sistemas relevantes estén correctamente coordinados en el diseño aprobado. Verifica que no haya interferencias o conflictos entre diferentes sistemas, como los sistemas estructurales, mecánicos, eléctricos y de plomería. Utiliza el modelo BIM para realizar una revisión exhaustiva de la coordinación multidisciplinaria y solucionar cualquier problema identificado.
- e. **Considera la eficiencia constructiva:** Evalúa la eficiencia constructiva del diseño aprobado. Analiza si hay oportunidades para optimizar el proceso de construcción, como la prefabricación de componentes o el uso de técnicas constructivas más

eficientes. El modelo BIM puede ayudarte a identificar áreas donde se puede mejorar la productividad y reducir los tiempos de construcción.

- f. **Evalúa la viabilidad y el cumplimiento normativo:** Verifica la viabilidad del diseño aprobado en términos de restricciones legales, normativas y reglamentarias. Asegúrate de que cumple con los códigos de construcción, las regulaciones locales y otras normativas pertinentes. Utiliza el modelo BIM para realizar análisis y simulaciones que validen la conformidad del diseño con los requisitos normativos.
- g. **Documenta cualquier cambio o solicitud de aclaración:** Durante la revisión del diseño aprobado, es posible que identifiques cambios necesarios o requieras aclaraciones adicionales. Documenta todos estos cambios y solicitudes de aclaración de manera clara y concisa para comunicarlos al equipo de diseño y actualizar el modelo BIM según sea necesario.

Recuerda: La revisión del diseño aprobado es una etapa crítica para garantizar la calidad y la coherencia del proyecto antes de la construcción. Trabaja en estrecha colaboración con el equipo de diseño y utiliza el modelo BIM como una herramienta clave para facilitar esta revisión exhaustiva y garantizar que se aborden todos los aspectos importantes del diseño aprobado.

2

| Modelo de información existente

Propósito	Asegurar que la información contenida en el modelo sea precisa, completa y actualizada. Verificar la información en busca de errores, asegurarse de que se incluya toda la información requerida y validar que esta información sea consistente con el diseño final aprobado.
Procedimiento	1. Revisa el modelo de información existente, incluido el modelo 3D, los dibujos 2D y otros datos. 2. Identifica cualquier problema potencial con el modelo de información, como conflictos, errores u omisiones. 3. Comunica cualquier problema potencial a las partes interesadas correspondientes, como el arquitecto, el ingeniero o el contratista. 4. Trabaja con las partes interesadas para resolver cualquier problema potencial.
Responsabilidades	• El director del proyecto es responsable de supervisar el proceso de revisión. • El equipo de diseño es responsable de revisar el modelo de información e identificar cualquier problema potencial. • El equipo de construcción es responsable de trabajar con el equipo de diseño para resolver cualquier problema potencial.
Registros	• Una lista de los posibles problemas que se identificaron. • Un registro de las acciones que se tomaron para resolver los posibles problemas. • Un informe final que resume los resultados del proceso de revisión.
Recomendaciones	• Precisión: ¿Es preciso el modelo de información? ¿Están todos los componentes del modelo en la ubicación correcta? ¿Son correctas las dimensiones de los componentes? • Compleitud: ¿Está completo el modelo de información? ¿Todos los componentes que se necesitan para la construcción están incluidos en el modelo? • Consistencia: ¿Es consistente el modelo de información? ¿Las dimensiones y los materiales de los componentes son consistentes en todo el modelo? • Claridad: ¿Es claro el modelo de información? ¿Puede comprender fácilmente la información que se representa en el modelo? • Usabilidad: ¿Es usable el modelo de información? ¿Puede acceder y utilizar fácilmente la información que se representa en el modelo?

Si ya se ha creado un modelo BIM durante la fase de diseño, verifica su precisión y actualización. Realiza las modificaciones necesarias para reflejar el diseño final aprobado. El procedimiento detallado a seguir, es:

- a. **Verifica la precisión del modelo:** Examina el modelo BIM existente para asegurarte de que refleje con precisión el diseño aprobado. Revisa cada elemento del modelo en términos de geometría, dimensiones y propiedades para garantizar que esté actualizado y coincida con los documentos de diseño aprobados.
- b. **Actualiza el modelo según sea necesario:** Si se han realizado cambios o ajustes al diseño aprobado después de la creación del modelo BIM, asegúrate de reflejar esas modificaciones en el modelo existente. Esto puede implicar realizar ajustes en las geometrías, añadir o eliminar elementos, actualizar las propiedades y asegurarse de que la información del modelo esté alineada con el diseño final.
- c. **Verifica la coherencia y la integridad del modelo:** Realiza una revisión exhaustiva del modelo BIM para garantizar la coherencia y la integridad de la información. Comprueba que no haya elementos duplicados, que todas las relaciones entre los objetos estén correctamente establecidas y que no existan errores de modelado. Esto ayudará a evitar problemas durante la fase de construcción y facilitará la utilización del modelo en etapas posteriores del proyecto.
- d. **Asegúrate de la compatibilidad del modelo:** Verifica que el modelo BIM existente sea compatible con las herramientas y los softwares que se utilizarán durante la fase de construcción. Asegúrate de que el formato de archivo sea compatible y que la información del modelo se pueda intercambiar sin problemas con otros sistemas utilizados en el proyecto.

- e. **Actualiza la documentación asociada al modelo:** A medida que actualices el modelo BIM existente, también es importante revisar y actualizar cualquier documentación asociada a él. Esto puede incluir listas de elementos, especificaciones técnicas, planes de instalación, manuales de operación y mantenimiento, entre otros. Mantén esta documentación alineada con el modelo actualizado para facilitar la gestión del proyecto y proporcionar información precisa durante la construcción y el mantenimiento posterior.
- f. **Comunica los cambios realizados:** Informa al equipo de diseño y a otras partes interesadas sobre los cambios y actualizaciones realizados en el modelo BIM existente. Asegúrate de que estén al tanto de las modificaciones y proporciona acceso actualizado al modelo para que puedan utilizarlo en su trabajo.
- g. **Realiza una validación cruzada:** Utiliza el modelo BIM existente como base para realizar validaciones cruzadas con otros sistemas y documentos, como estimaciones de costos, programación de la construcción y análisis de constructibilidad. Esto te permitirá verificar la coherencia y la precisión de la información en diferentes aspectos del proyecto y asegurarte de que todo esté correctamente alineado.

Recuerda: El modelo BIM existente es una herramienta valiosa durante la fase de preconstrucción, ya que proporciona una representación visual y detallada del diseño aprobado. Asegúrate de mantenerlo actualizado y coherente con los documentos de diseño, y comunica cualquier cambio o actualización relevante a las partes interesadas involucradas en el proyecto.

Propósito	Crear un plan detallado para la construcción del proyecto, el cual debe identificar todas las tareas que deben completarse, la secuencia en la que deben realizarse y el tiempo estimado requerido para terminar cada una de ellas.
Procedimiento	1. Identifica las actividades que se deben realizar. Usa el modelo 3D, los dibujos 2D y otros datos para identificar todas las tareas que deben realizarse para completar el proyecto. 2. Estima la duración de cada actividad. Considera la complejidad de la actividad, los recursos que se necesitarán y la experiencia de los trabajadores que realizarán la actividad. 3. Identifica las dependencias entre actividades. Define cuáles actividades deben completarse antes de que puedan comenzar otras actividades. 4. Crea un diagrama de red. Este es un diagrama que muestra las relaciones entre las diferentes actividades. 5. Calcula la ruta crítica. Esta es la ruta más larga a través del diagrama de red. La ruta crítica determina la duración del proyecto. 6. Desarrolla un cronograma. Este es un documento que muestra las fechas de inicio y finalización de cada actividad.
Responsabilidades	• El director del proyecto es responsable de supervisar el proceso de programación. • El equipo de diseño es responsable de identificar las actividades que deben realizarse y estimar la duración de cada actividad. • El equipo de construcción es responsable de identificar las dependencias entre actividades y crear el diagrama de red. • El programador es responsable de calcular la ruta crítica y desarrollar el cronograma.
Registros	• El diagrama de red. • El camino crítico. • El horario. • Actualizaciones: El cronograma debe actualizarse a medida que avanza el proyecto.

Recomendaciones	• Ser realista. No subestime la duración de las actividades o la cantidad de recursos que se necesitarán. • Se Flexible. Esté preparado para adaptar el horario según sea necesario. La industria de la construcción cambia constantemente, por lo que es importante poder adaptar sus planes para satisfacer las necesidades cambiantes del proyecto. • Sea comunicativo. Comunique el cronograma a las diferentes partes interesadas para que todos estén al tanto de la línea de tiempo del proyecto.
-----------------	---

Utiliza el modelo BIM para generar una programación detallada de la construcción. Esto ayudará a planificar las secuencias de trabajo, establecer hitos y estimar los plazos de ejecución. Sigue el siguiente paso a paso:

- Utiliza el modelo BIM como base:** Utiliza el modelo BIM como base para la programación de la construcción. El modelo contiene información detallada sobre los elementos del proyecto, sus secuencias constructivas y las dependencias entre ellos. Esto facilita la creación de una programación precisa y visualmente comprensible.
- Identifica actividades clave:** Analiza el modelo BIM y desglosa el proyecto en actividades clave. Estas actividades pueden incluir excavaciones, cimentaciones, estructuras, instalaciones mecánicas y eléctricas, acabados, entre otros. Divide el proyecto en etapas lógicas y define las actividades necesarias para completar cada etapa.
- Establece relaciones de dependencia:** Utiliza las relaciones de dependencia en el modelo BIM para establecer las secuencias de actividades. Identifica las actividades que deben completarse antes de que otras puedan comenzar y establece las restricciones y las interacciones necesarias en el programa de construcción.
- Asigna recursos:** Utiliza el modelo BIM para identificar los recursos necesarios para cada actividad, como mano de obra, materiales y equipos. Asigna los recursos adecuados a

cada actividad y ten en cuenta las limitaciones y las capacidades de los recursos disponibles.

- e. **Estima los tiempos de duración:** Utiliza la información del modelo BIM, como las dimensiones y las cantidades de los elementos, para estimar los tiempos de duración de las actividades. Ten en cuenta factores como la productividad, las condiciones del sitio y los métodos constructivos utilizados para realizar estimaciones realistas.
- f. **Realiza simulaciones y análisis de programación:** Utiliza herramientas de programación y simulación que sean compatibles con el modelo BIM para realizar análisis de programación. Estos análisis pueden ayudarte a identificar posibles cuellos de botella, conflictos en la programación y oportunidades de optimización. Ajusta la programación según sea necesario para mejorar la eficiencia y minimizar los retrasos.
- g. **Visualiza la programación:** Utiliza el modelo BIM para crear representaciones visuales de la programación de la construcción. Esto puede incluir gráficos de Gantt, diagramas de flujo, líneas de tiempo o cualquier otra herramienta visual que facilite la comprensión y la comunicación de la programación a las partes interesadas.
- h. **Actualiza la programación según cambios:** A medida que se realicen cambios en el diseño o surjan nuevas consideraciones durante la fase de preconstrucción, actualiza la programación de la construcción en consecuencia. Utiliza el modelo BIM como base para realizar ajustes y asegúrate de que la programación esté alineada con los cambios realizados.
- i. **Comunica la programación:** Comunica la programación de la construcción a todas las partes interesadas, incluyendo al equipo de diseño, contratistas, subcontratistas y otros colaboradores. Asegúrate de que todos tengan acceso a la programación actualizada y comprendan las secuencias y las restricciones establecidas.

- j. **Monitorea y controla la programación:** Durante la fase de construcción, monitorea y controla la programación utilizando el modelo BIM como referencia. Realiza un seguimiento del progreso, identifica desviaciones y toma medidas correctivas según sea necesario para mantener la programación en el camino correcto.

Recuerda: La programación de la construcción es esencial para garantizar una ejecución eficiente y ordenada del proyecto. Utiliza el modelo BIM como una herramienta para crear una programación detallada y visualmente comprensible. Actualiza y ajusta la programación según sea necesario a lo largo del proyecto y comunica de manera efectiva a todas las partes involucradas.

4

| Estimación de costos

Propósito	Actualizar la estimación de los costos de construcción del proyecto. Esta estimación debe ser lo más precisa posible y actualizada con los precios actuales de materiales, mano de obra y equipos para que el equipo del proyecto pueda tomar decisiones informadas sobre el presupuesto del proyecto.
Procedimiento	1. Identifica los costos en los que se incurrirá. Usa el modelo 3D, dibujos 2D y otros datos para identificar todos los materiales, mano de obra y otros costos en los que se incurrirá para completar el proyecto. 2. Estima y actualiza el costo de cada artículo. Considera la cantidad del artículo, el costo unitario del artículo y el margen de beneficio que se aplicará al artículo. 3. Suma los costos de todos los elementos de costo. Esto te dará el costo total del proyecto.
Responsabilidades	• El director del proyecto es responsable de supervisar el proceso de estimación. • El equipo de diseño es responsable de identificar los costos en los que se incurrirá. • El equipo de construcción es responsable de estimar el costo de cada elemento de costo. • El estimador es responsable de sumar los costos de todos los elementos de costos y desarrollar la estimación de costos final.
Registros	• La estimación de costos. • Los cálculos que se utilizaron para desarrollar la estimación de costos. • Actualizaciones: la estimación de costos debe actualizarse a medida que avanza el proyecto.
Recomendaciones	• Ser realista. No subestimes los costos del proyecto. • Usa una herramienta de estimación de costos habilitada para BIM. Esto permitirá que el equipo cree y gestione el presupuesto en un entorno digital. • Celebra reuniones periódicas de estimación de costos. Esto ayudará a garantizar que todos estén en sintonía y que cualquier problema se identifique y resuelva pronto. • Documenta el proceso de estimación de costos. Esto ayudará a garantizar que el proceso de estimación de costos sea transparente y que los hallazgos y recomendaciones sean fácilmente accesibles.

Utiliza el modelo BIM para actualizar las cantidades de obra y generar una estimación de costos precisa. Esto puede incluir la cantidad de materiales, mano de obra, equipos y otros recursos necesarios para completar el proyecto. La información del modelo BIM facilitará el cálculo de estos elementos a través del siguiente procedimiento:

- a. **Utiliza el modelo BIM como referencia:** Utiliza el modelo BIM como base para la estimación de costos. El modelo contiene información detallada sobre los elementos del proyecto, sus dimensiones y las cantidades asociadas. Esto facilita la generación de una estimación precisa y detallada de los costos.
- b. **Identifica los elementos del proyecto:** Analiza el modelo BIM y desglosa el proyecto en elementos individuales. Estos elementos pueden incluir estructuras, acabados, instalaciones mecánicas y eléctricas, entre otros. Identifica y clasifica cada elemento para facilitar la estimación de costos.
- c. **Asigna costos a los elementos:** Utiliza información histórica, cotizaciones de proveedores y análisis de costos para asignar valores a los elementos del proyecto en el modelo BIM. Considera factores como la mano de obra, los materiales, los equipos y otros costos asociados con cada elemento.
- d. **Considera los cambios y las opciones:** Utiliza el modelo BIM para evaluar los cambios en el diseño o las opciones alternativas y su impacto en los costos. Realiza comparaciones entre diferentes opciones y evalúa los costos asociados con cada una. Esto ayudará a tomar decisiones informadas y optimizar los costos del proyecto.
- e. **Incorpora los costos indirectos:** Además de los costos directos de los elementos del proyecto, ten en cuenta los costos indirectos, como los gastos generales, los impuestos, los seguros y otros costos asociados con la construcción. Asegúrate de incluir estos costos en la estimación total.

- f. **Utiliza herramientas de estimación:** Utiliza herramientas de estimación de costos que sean compatibles con el modelo BIM para agilizar el proceso. Estas herramientas pueden aprovechar la información del modelo para generar estimaciones más rápidas y precisas. Además, facilitan la actualización de las estimaciones a medida que se realizan cambios en el modelo.
- g. **Documenta las suposiciones y las limitaciones:** Durante el proceso de estimación de costos, documenta las suposiciones y las limitaciones asociadas con la estimación. Esto ayudará a proporcionar transparencia y aclarar cualquier factor que pueda influir en los costos. Además, asegúrate de revisar y actualizar estas suposiciones a medida que se realicen cambios en el proyecto.
- h. **Comunica la estimación de costos:** Comunica la estimación de costos a todas las partes interesadas, incluyendo al equipo de diseño, contratistas, subcontratistas y otros colaboradores. Asegúrate de que todos tengan acceso a la estimación actualizada y comprendan los elementos y los costos asociados.
- i. **Monitorea y controla los costos:** Durante la fase de construcción, monitorea y controla los costos utilizando el modelo BIM como referencia. Realiza un seguimiento de los costos reales en comparación con la estimación y toma medidas correctivas según sea necesario para mantener el proyecto dentro del presupuesto.

Recuerda: La estimación de costos es esencial para planificar y gestionar eficientemente los recursos financieros del proyecto. Utiliza el modelo BIM como una herramienta valiosa para realizar estimaciones detalladas y precisas. Actualiza y ajusta la estimación a medida que se realicen cambios en el proyecto y comunica de manera efectiva a todas las partes involucradas.

5

| Análisis de constructibilidad

Propósito	Identificar y mitigar cualquier problema potencial que pueda surgir durante la construcción. Verificar la capacidad de construcción del diseño, identificar posibles conflictos y garantizar que el diseño sea compatible con los métodos y materiales de construcción que se utilizarán.
Procedimiento	1. Revisa el modelo 3D y los dibujos 2D. Esto ayudará a identificar posibles problemas, como conflictos entre diferentes componentes, interferencias entre diferentes actividades o problemas de accesibilidad. 2. Realiza una visita al sitio. Esto ayudará a comprender mejor las condiciones del sitio y a identificar posibles problemas o conflictos que pueden no ser evidentes en el modelo 3D y los dibujos 2D. 3. Reúnete con los diferentes stakeholders. Esto ayudará a obtener tu opinión e identificar posibles problemas o conflictos de los que puedan estar al tanto. 4. Desarrolla soluciones a cualquier problema o conflicto potencial. Esto puede implicar modificar el diseño, cambiar los métodos de construcción o proporcionar información adicional o capacitación al equipo de construcción.
Responsabilidades	• El director del proyecto es responsable de supervisar el proceso de análisis de constructibilidad. • El equipo de diseño es responsable de revisar el modelo 3D y los dibujos 2D y de identificar posibles problemas o conflictos. • El equipo de construcción es responsable de realizar la visita al sitio y de identificar posibles problemas o conflictos que pueden no ser evidentes a partir del modelo 3D y los dibujos 2D. • Las partes interesadas son responsables de proporcionar información y de identificar posibles problemas o conflictos de los que puedan estar al tanto.
Registros	• Una lista de los posibles problemas o conflictos que se identificaron. • Un registro de las acciones que se tomaron para abordar los posibles problemas o conflictos.

Recomendaciones	• Ser minucioso. Tómate el tiempo para revisar cuidadosamente el modelo 3D y los dibujos 2D e identificar cualquier problema o conflicto potencial. • Ser proactivo. No esperes a que surjan problemas. Identifica problemas potenciales desde el principio y trabaja para resolverlos antes de que causen problemas. • Sea comunicativo. Comunícate con los diferentes stakeholders a lo largo del proceso de análisis de constructibilidad. Esto ayudará a garantizar que todos estén al tanto de cualquier problema o conflicto potencial y que estén trabajando juntos para resolverlos. • Estar orientado a la solución. No te limites a identificar los problemas. Trabaja con las partes interesadas para encontrar soluciones a los problemas.
-----------------	---

Realiza un análisis de constructibilidad utilizando el modelo BIM. Identifica posibles problemas o conflictos que puedan surgir durante la construcción y busca soluciones antes de que comiencen los trabajos en el sitio. Para lograr esto, puedes llevar a cabo los siguientes pasos:

- Utiliza el modelo BIM para el análisis:** Utiliza el modelo BIM como base para realizar el análisis de constructibilidad. El modelo contiene información detallada sobre los elementos del proyecto y su interacción. Esto facilita la identificación de posibles problemas de construcción y la generación de soluciones.
- Identifica conflictos y problemas potenciales:** Utiliza el modelo BIM para identificar posibles conflictos, interferencias o problemas constructivos. Analiza las diferentes disciplinas, como la estructura, las instalaciones mecánicas y eléctricas, y los acabados, y busca inconsistencias o incompatibilidades entre ellas.
- Evalúa la secuencia constructiva:** Utiliza el modelo BIM para evaluar la secuencia constructiva del proyecto. Analiza la forma en que los diferentes elementos se construirán y ensamblarán en el sitio. Identifica posibles cuellos de botella, áreas de congestión o dificultades en la secuencia que puedan afectar la eficiencia de la construcción.

- d. **Realiza simulaciones y análisis de construcción:** Utiliza herramientas de simulación y análisis compatibles con el modelo BIM para evaluar la construcción en un entorno virtual. Esto puede incluir simulaciones de izaje de elementos pesados, análisis de flujo de trabajo en el sitio, simulaciones de seguridad y otras evaluaciones que ayuden a identificar problemas potenciales y optimizar la construcción.
- e. **Colabora con los diferentes equipos:** Trabaja en estrecha colaboración con los diferentes equipos y disciplinas involucradas en el proyecto. Comparte información y realiza reuniones de coordinación para abordar los problemas constructivos identificados. Fomenta la comunicación y la colaboración entre los equipos para encontrar soluciones viables.
- f. **Genera informes y recomendaciones:** Documenta los resultados del análisis de constructibilidad en informes claros y detallados. Presenta las discrepancias identificadas, los problemas potenciales y las recomendaciones para resolverlos. Asegúrate de que los informes sean accesibles para todas las partes interesadas y que se tomen las medidas necesarias para abordar los problemas identificados.
- g. **Actualiza el modelo BIM:** A medida que se realicen cambios y se tomen decisiones durante el análisis de constructibilidad, actualiza el modelo BIM para reflejar las soluciones propuestas. Asegúrate de que el modelo esté alineado con las decisiones tomadas y que sirva como una referencia actualizada para la construcción.
- h. **Monitorea la implementación de las soluciones:** Durante la fase de construcción, monitorea la implementación de las soluciones propuestas durante el análisis de constructibilidad. Verifica que las medidas correctivas se estén aplicando de manera efectiva y que los problemas identificados se estén resolviendo de acuerdo con las recomendaciones establecidas.

- i. **Aprende de la retroalimentación:** Recopila y analiza la retroalimentación de la construcción para mejorar futuros análisis de constructibilidad. Utiliza la experiencia adquirida para optimizar los procesos y mejorar la calidad de los modelos BIM y la toma de decisiones en futuros proyectos.

Recuerda: El análisis de constructibilidad es fundamental para identificar y resolver problemas constructivos potenciales antes de que ocurran en el sitio. Utiliza el modelo BIM como una herramienta para evaluar la viabilidad constructiva del proyecto y mejorar la eficiencia y la calidad de la construcción.

6

| Planificación de la logística

Propósito	Asegurar que los materiales y equipos del proyecto se entreguen en el sitio a tiempo y en las cantidades correctas. Esto incluye coordinar el transporte, almacenamiento y manejo de materiales y equipos.
Procedimiento	1. Identifica los materiales y equipos necesarios para la construcción. Utiliza el modelo 3D y los dibujos 2D para identificar todos los materiales y equipos que se necesitarán para completar el proyecto. 2. Determina la cantidad de cada material y equipo necesario. Considerando el tamaño del proyecto, el tipo de construcción y los métodos de construcción que se utilizarán. 3. Identifica los proveedores de los materiales y equipos. Investiga el mercado y obtén cotizaciones de diferentes proveedores. 4. Haz acuerdos con los proveedores. Esto asegurará que los materiales y equipos se entreguen a tiempo y en la cantidad correcta. 5. Desarrolla un plan logístico. Este plan debe detallar cómo se entregarán los materiales y equipos al sitio.
Responsabilidades	• El director del proyecto es responsable de supervisar el proceso de planificación logística. • El equipo de adquisiciones es responsable de identificar a los proveedores de materiales y equipos y de negociar contratos con los proveedores. • El equipo de logística es responsable de desarrollar un plan de logística y de garantizar que los materiales y equipos se entreguen en el sitio a tiempo y en la cantidad correcta.
Registros	• Una lista de los materiales y equipos necesarios para la construcción. • La cantidad de cada material y equipo necesario. • Los nombres de los proveedores de los materiales y equipos. • Los contratos con los proveedores. • El plano logístico.

Recomendaciones	• Ser proactivo. No esperes hasta el último minuto para comenzar a planificar la logística. Comienza temprano y tómate suficiente tiempo para investigar el mercado, obtener cotizaciones de los proveedores y negociar contratos. • Ser Flexible. Las cosas no siempre salen según lo planeado, así que prepárate para adaptar el plan de logística según sea necesario. • Ser comunicativo. Comunícate con los diferentes stakeholders a lo largo del proceso de planificación logística. Esto ayudará a asegurar que todos conozcan el plan y que estén trabajando juntos para asegurarse de que tenga éxito.
-----------------	---

Utiliza el modelo BIM para planificar la logística del sitio de construcción. Esto implica determinar la ubicación de equipos, materiales de construcción, áreas de almacenamiento y vías de acceso para optimizar la eficiencia y minimizar los posibles conflictos. A continuación, se detalla el proceso a realizar:

- Utiliza el modelo BIM como referencia:** Utiliza el modelo BIM como base para la planificación de la logística. El modelo contiene información detallada sobre los elementos del proyecto y su ubicación en el sitio. Esto facilita la identificación de las necesidades de logística y la generación de soluciones eficientes.
- Evalúa los requisitos de espacio:** Analiza el modelo BIM y evalúa los requisitos de espacio para las actividades de construcción y las operaciones logísticas. Identifica las áreas de almacenamiento, los espacios para equipos y maquinaria, y las rutas de acceso necesarias para la entrega de materiales y equipos al sitio.
- Identifica las restricciones de acceso y transporte:** Utiliza el modelo BIM para identificar las restricciones de acceso y transporte en el sitio de construcción. Considera las dimensiones de los elementos del proyecto y las limitaciones físicas del entorno. Identifica las rutas de transporte adecuadas y evalúa las restricciones de carga y descarga.

- d. **Planifica el flujo de materiales y equipos:** Utiliza el modelo BIM para planificar el flujo de materiales y equipos en el sitio. Identifica las áreas de almacenamiento y las rutas de movimiento para garantizar una distribución eficiente. Considera factores como el tiempo de entrega, la disponibilidad de equipos de manejo de materiales y la secuencia constructiva.
- e. **Coordina los horarios y las actividades:** Utiliza el modelo BIM para coordinar los horarios de entrega de materiales y equipos con las actividades de construcción. Identifica las dependencias y las interacciones entre las diferentes tareas y asegúrate de que los suministros estén disponibles cuando se necesiten. Esto evitará retrasos y optimizará la eficiencia.
- f. **Planifica las instalaciones temporales:** Utiliza el modelo BIM para planificar las instalaciones temporales necesarias en el sitio de construcción. Esto puede incluir oficinas de campo, áreas de almacenamiento, zonas de descanso para los trabajadores y otros espacios auxiliares. Asegúrate de asignar suficiente espacio y recursos para estas instalaciones.
- g. **Considera la gestión de residuos:** Utiliza el modelo BIM para identificar las áreas de disposición de residuos y planificar su gestión adecuada. Considera los requisitos de clasificación, almacenamiento y eliminación de residuos en cumplimiento con las regulaciones locales y ambientales.
- h. **Utiliza herramientas de visualización:** Utiliza herramientas de visualización compatibles con el modelo BIM para representar la planificación logística de manera clara y comprensible. Esto puede incluir diagramas de flujo, gráficos de Gantt, simulaciones de logística y otros elementos visuales que ayuden a comunicar y coordinar la logística del proyecto.

- i. **Actualiza la planificación según cambios:** A medida que se realicen cambios en el diseño o surjan nuevas consideraciones durante la fase de preconstrucción, actualiza la planificación de la logística en consecuencia. Utiliza el modelo BIM como base para realizar ajustes y asegúrate de que la planificación esté alineada con los cambios realizados.
- j. **Comunica la planificación logística:** Comunica la planificación logística a todas las partes interesadas, incluyendo al equipo de diseño, contratistas, proveedores y otros colaboradores. Asegúrate de que todos tengan acceso a la planificación actualizada y comprendan las necesidades logísticas y los plazos asociados.

Recuerda: La planificación de la logística es esencial para garantizar un flujo eficiente de materiales, equipos, recursos y residuos en el sitio de construcción. Utiliza el modelo BIM como una herramienta para realizar una planificación logística sólida y optimizada.

7

| Generación de documentos de construcción

Propósito	Crear los dibujos y especificaciones que se utilizarán para construir el proyecto. Estos documentos deben ser claros, concisos y precisos, y deben estar de acuerdo con los requisitos del proyecto.
Procedimiento	1. Utiliza el modelo 3D y los dibujos 2D para crear documentos de construcción. Esto se puede hacer usando una variedad de programas de software. 2. Asegúrate de que los documentos de construcción sean precisos y completos. Revisa los documentos cuidadosamente y obteniendo retroalimentación de las diferentes partes interesadas. 3. Mantén los documentos de construcción actualizados. Lleva al día los documentos a medida que avanza el proyecto.
Responsabilidades	• El gerente del proyecto es responsable de supervisar la generación de documentos de construcción. • El equipo de diseño es responsable de crear los documentos de construcción. • Las partes interesadas son responsables de revisar los documentos de construcción y de proporcionar retroalimentación.
Registros	• Los documentos de construcción. • Cualquier comentario que se haya recibido de las partes interesadas.

Recomendaciones	• Utiliza una variedad de programas de software. Hay una serie de diferentes programas de software que se pueden utilizar para generar documentos de construcción. Algunos de los programas más populares incluyen Revit y ArchiCAD. • Revisa los documentos cuidadosamente. Antes de finalizar los documentos de construcción, es importante revisarlos cuidadosamente para asegurarse de que sean precisos y estén completos. • Obtén retroalimentación de las partes interesadas. Una vez que haya revisado los documentos de construcción, es importante obtener retroalimentación de las partes interesadas. Esto ayudará a garantizar que los documentos satisfagan las necesidades de todos los involucrados en el proyecto. • Mantén los documentos actualizados. A medida que avanza el proyecto, es importante mantener actualizados los documentos de construcción. Esto ayudará a garantizar que todos los involucrados en el proyecto trabajen con la información más precisa.
-----------------	--

Utiliza el modelo BIM para generar automáticamente los documentos de construcción necesarios, como planos, detalles constructivos, listas de materiales y especificaciones técnicas. Esto asegurará la coherencia y precisión de la información durante la construcción siguiendo el procedimiento a continuación:

- a. **Utiliza el modelo BIM como base:** Utiliza el modelo BIM como base para generar los documentos de construcción. El modelo contiene información detallada sobre los elementos del proyecto, sus dimensiones y las relaciones entre ellos. Esto facilita la extracción de datos precisos para la generación de documentos.
- b. **Extrae información relevante del modelo:** Identifica la información relevante del modelo BIM que se utilizará en los documentos de construcción. Esto puede incluir planos de planta, elevaciones, detalles constructivos, listas de materiales, especificaciones y otros datos necesarios para la construcción.

- c. **Utiliza software compatible con BIM:** Utiliza software compatible con BIM para generar los documentos de construcción. Estos programas pueden facilitar la extracción de información del modelo y su representación en diferentes formatos, como planos en 2D, maquetas virtuales, informes de cantidades y documentos de especificaciones.
- d. **Genera planos y dibujos:** Utiliza el modelo BIM para generar planos y dibujos detallados que sean necesarios para la construcción. Asegúrate de que los planos sean claros, precisos y estén alineados con los estándares y las normas de la industria. Etiqueta correctamente los elementos y las dimensiones para evitar confusiones durante la construcción.
- e. **Crea informes de cantidades y listas de materiales:** Utiliza el modelo BIM para generar informes de cantidades y listas de materiales precisas. Extrae los datos necesarios del modelo para obtener una visión completa de los materiales requeridos en el proyecto. Estos informes ayudarán en la planificación de compras y la gestión de inventario.
- f. **Documenta las especificaciones:** Utiliza el modelo BIM para documentar las especificaciones técnicas y los requerimientos del proyecto. Incluye información detallada sobre los materiales, las técnicas constructivas, los estándares de calidad y otros aspectos relevantes. Asegúrate de que las especificaciones estén actualizadas y sean consistentes con el diseño del proyecto.
- g. **Incorpora información adicional:** Además de los planos, los informes y las especificaciones, asegúrate de incluir información adicional relevante en los documentos de construcción. Esto puede incluir cronogramas, instrucciones de seguridad, requisitos de permisos y cualquier otro detalle necesario para la ejecución exitosa del proyecto.

- h. **Revisa y valida los documentos:** Antes de distribuir los documentos de construcción, realiza una revisión exhaustiva para asegurarte de que sean completos, precisos y coherentes. Verifica que la información extraída del modelo BIM sea correcta y actualizada. Realiza validaciones cruzadas y solicita retroalimentación de profesionales especializados para garantizar la calidad de los documentos.
- i. **Distribuye los documentos a las partes interesadas:** Una vez que los documentos de construcción estén listos, distribúyelos a todas las partes interesadas, incluyendo al equipo de construcción, contratistas, subcontratistas y proveedores. Asegúrate de que todos tengan acceso a la versión más reciente de los documentos y comprendan su contenido.

Recuerda: La generación de documentos de construcción precisos y completos es esencial para una ejecución eficiente del proyecto. Utiliza el modelo BIM como una fuente confiable de información y aprovecha las herramientas de software compatibles con BIM para facilitar el proceso de generación de documentos.

| Simulaciones y visualizaciones

Propósito	Crear simulaciones y visualizaciones del proyecto que permitan identificar y mitigar problemas potenciales durante el proceso constructivo, facilitar el control de la obra por parte de los stakeholders y mejorar la experiencia general del proyecto.
Procedimiento	1. Crea simulaciones y visualizaciones del proyecto. Esto se puede hacer usando una variedad de programas de software. 2. Utiliza las simulaciones y visualizaciones para identificar posibles problemas o conflictos. Ejecuta las simulaciones y visualizaciones buscando cualquier área en la que el proyecto no funcione según lo planeado. 3. Resuelve los posibles problemas o conflictos. Modifica el diseño, cambia los métodos de construcción o brinda información adicional o capacitación al equipo de construcción. 4. Utiliza las simulaciones y visualizaciones para comunicarte con las diferentes partes interesadas. Esto se puede hacer mediante la creación de presentaciones o mediante el uso de recorridos virtuales para guiar a las partes interesadas a través del proyecto.
Responsabilidades	• El director del proyecto es responsable de supervisar el uso de simulaciones y visualizaciones. • El equipo de diseño es responsable de crear las simulaciones y visualizaciones. • Las partes interesadas son responsables de revisar las simulaciones y visualizaciones y de proporcionar retroalimentación.
Registros	• Las simulaciones y visualizaciones. • Listas de chequeo de simulaciones y visualizaciones. • Cualquier comentario que se haya recibido de las partes interesadas.

Recomendaciones	• Utilice una variedad de programas de software. Hay una serie de diferentes programas de software que se pueden utilizar para crear simulaciones y visualizaciones. Algunos de los programas más populares incluyen Autodesk Navisworks, Bentley Systems ProjectWise y Trimble SketchUp. • Cree simulaciones y visualizaciones realistas. Las simulaciones y visualizaciones deben ser lo más realistas posible. Esto ayudará a garantizar que las simulaciones y visualizaciones sean precisas y que puedan usarse para identificar y resolver cualquier problema o conflicto potencial. • Comunicar las simulaciones y visualizaciones de manera efectiva. Las simulaciones y visualizaciones deben comunicarse de manera efectiva a las diferentes partes interesadas. Esto ayudará a asegurar que todos los involucrados en el proyecto entiendan el proyecto y que estén trabajando hacia los mismos objetivos.
-----------------	--

Utiliza el modelo BIM para realizar simulaciones y visualizaciones que ayuden a comunicar el diseño final a los stakeholders del proyecto. Esto puede incluir visualizaciones en 3D, recorridos virtuales y análisis de impacto ambiental. Procede de la siguiente manera:

- a. **Utiliza el modelo BIM como base:** Utiliza el modelo BIM como base para realizar simulaciones y visualizaciones durante la fase de preconstrucción. El modelo contiene información detallada sobre el proyecto, lo que facilita la creación de representaciones visuales realistas.
- b. **Simulaciones de construcción:** Utiliza herramientas de simulación compatibles con BIM para realizar simulaciones de construcción. Estas simulaciones permiten evaluar el proceso de construcción en un entorno virtual, identificar posibles problemas y optimizar la secuencia constructiva. Las simulaciones de construcción también pueden ayudar a estimar los plazos y los recursos requeridos.
- c. **Simulaciones de flujo de trabajo:** Utiliza el modelo BIM para simular el flujo de trabajo en el sitio de construcción. Esto implica visualizar cómo los equipos, los materiales y los

equipos se moverán y trabajarán juntos en el sitio. Las simulaciones de flujo de trabajo pueden ayudar a identificar posibles cuellos de botella y optimizar la logística y la coordinación.

- d. **Simulaciones de seguridad:** Utiliza el modelo BIM para realizar simulaciones de seguridad en el sitio de construcción. Estas simulaciones pueden ayudar a identificar posibles riesgos y peligros para los trabajadores. Evalúa la seguridad de las rutas de acceso, las áreas de trabajo y la interacción entre diferentes disciplinas en el sitio.
- e. **Visualizaciones realistas:** Utiliza el modelo BIM para generar visualizaciones realistas del proyecto. Estas visualizaciones pueden ser estáticas o interactivas y ayudan a comunicar el diseño a las partes interesadas. Las visualizaciones realistas también pueden utilizarse para presentaciones, informes y marketing del proyecto.
- f. **Presentaciones y recorridos virtuales:** Utiliza el modelo BIM para crear presentaciones y recorridos virtuales del proyecto. Esto permite a las partes interesadas explorar el proyecto en un entorno virtual y comprender mejor el diseño y la construcción propuesta. Los recorridos virtuales pueden incluir vistas en primera persona y mostrar diferentes fases de construcción.
- g. **Colaboración y toma de decisiones:** Utiliza las simulaciones y visualizaciones para fomentar la colaboración y apoyar la toma de decisiones. Proporciona a todas las partes interesadas la oportunidad de revisar y comentar las simulaciones y visualizaciones. Esto facilita la discusión, la comprensión mutua y la toma de decisiones informadas.
- h. **Actualiza las simulaciones y visualizaciones:** A medida que se realicen cambios en el diseño o se tomen decisiones durante la fase de preconstrucción, actualiza las simulaciones y visualizaciones en consecuencia. Asegúrate de que sean precisas y reflejen los cambios realizados en el proyecto.

- i. **Comparte las simulaciones y visualizaciones:** Comparte las simulaciones y visualizaciones con todas las partes interesadas relevantes. Esto puede incluir al equipo de diseño, contratistas, subcontratistas y clientes. Asegúrate de que todos tengan acceso a las simulaciones y visualizaciones actualizadas y comprendan su propósito y contenido.

Recuerda: Las simulaciones y visualizaciones son herramientas poderosas que pueden ayudar a mejorar la comprensión, la comunicación y la toma de decisiones durante la fase de preconstrucción. Aprovecha el modelo BIM y las herramientas de software compatibles para realizar simulaciones y generar visualizaciones que sean realistas y útiles.

9

| Preparación para la construcción

Propósito	Asegurar que el proyecto está listo para ser construido. Esto incluye la finalización del diseño; que el sitio esté listo; que los trabajadores estén capacitados; la adquisición de materiales y equipos; y la coordinación con el equipo de construcción.
Procedimiento	1. Prepara el sitio. Esto incluye limpiar el sitio, brindar acceso al sitio e instalar las utilidades necesarias. 2. Obtén los materiales y equipos. Esto incluye ordenar los materiales y equipos, y asegurarse de que se entreguen en el sitio a tiempo. 3. Forma a los trabajadores. Esto incluye brindar a los trabajadores la capacitación que necesitan para completar el proyecto de manera segura y eficiente.
Responsabilidades	• El director del proyecto es responsable de supervisar la preparación para la construcción. • El equipo de adquisiciones es responsable de adquirir materiales y equipos. • El equipo de construcción es responsable de coordinarse con el equipo de construcción y asegurarse de que el proyecto esté listo para ser construido.
Registros	• El cronograma del proyecto. • El plan de preparación del sitio. • El plan de compras de materiales y equipos. • El cronograma de contratación del personal. • El plan de formación de los trabajadores. • Plan de coordinación de la construcción.
Recomendaciones	• Utiliza una herramienta de gestión de proyectos habilitada para BIM. Esto permitirá al equipo realizar un seguimiento del progreso de la preparación para el proceso de construcción en un entorno digital. • Realiza una preparación periódica para las reuniones de construcción. Esto ayudará a garantizar que todos estén en sintonía y que cualquier problema potencial se identifique y resuelva pronto. • Documenta la preparación para el proceso de construcción. Esto ayudará a garantizar que la preparación para el proceso de construcción sea transparente y que los hallazgos y recomendaciones sean fácilmente accesibles.

Al finalizar la fase de preconstrucción, asegúrate de que todos los documentos, planos y recursos necesarios estén listos para comenzar la construcción. Comunica los detalles del proyecto a todo el equipo y garantiza que estén preparados para iniciar los trabajos en el sitio. Para esto:

- a. **Revisa y actualiza los documentos de construcción:** Antes de iniciar la construcción, revisa y actualiza los documentos de construcción generados a partir del modelo BIM. Asegúrate de que estén completos, precisos y reflejen los cambios realizados durante la fase de preconstrucción.
- b. **Coordina con los contratistas y subcontratistas:** Comunícate con los contratistas y subcontratistas para coordinar la preparación para la construcción. Comparte los documentos actualizados, aclara cualquier duda y asegúrate de que todos estén alineados con los requisitos y las expectativas del proyecto.
- c. **Establece reuniones de inicio de construcción:** En estas reuniones, repasa con el equipo de construcción y las partes interesadas clave los objetivos del proyecto, las especificaciones, los plazos, las responsabilidades y cualquier otro aspecto relevante para el inicio exitoso de la construcción.
- d. **Establece áreas de trabajo y almacenamiento:** Utiliza el modelo BIM y la planificación logística para establecer las áreas de trabajo y almacenamiento en el sitio de construcción. Identifica los espacios necesarios para las actividades de construcción y asegúrate de que se asignen de manera adecuada y eficiente.
- e. **Asegura el acceso y la seguridad en el sitio:** Evalúa el acceso al sitio de construcción y asegúrate de que se tomen las medidas de seguridad adecuadas. Esto puede incluir la instalación de cercas, el establecimiento de rutas de acceso claras y la implementación de medidas de seguridad para proteger a los trabajadores y las áreas circundantes.

- f. **Establece sistemas de control de calidad:** Implementa sistemas de control de calidad para garantizar que los estándares y las especificaciones del proyecto se cumplan durante la construcción. Utiliza el modelo BIM como referencia para realizar inspecciones y verificaciones de calidad en las diferentes etapas de construcción.
- g. **Planifica reuniones periódicas de seguimiento:** Programa reuniones periódicas de seguimiento para evaluar el progreso del proyecto y abordar cualquier problema o desafío que surja. Utiliza el modelo BIM para revisar y discutir los avances, y asegúrate de que todos estén al tanto de los hitos y los plazos clave.
- h. **Actualiza el modelo BIM durante la construcción:** A medida que se realicen cambios o modificaciones durante la construcción, actualiza el modelo BIM para reflejar el estado actual del proyecto. Esto garantizará que el modelo siga siendo una herramienta precisa y útil para la toma de decisiones y la coordinación.
- i. **Promueve la comunicación y la colaboración:** Fomenta una comunicación abierta y una colaboración efectiva entre todas las partes involucradas en la construcción. Utiliza el modelo BIM como una herramienta central para compartir información, realizar seguimientos y resolver problemas de manera conjunta.
- j. **Mantén registros y documentación:** Durante la fase de construcción, lleva registros detallados y documenta todas las actividades relevantes. Esto incluye cambios en el diseño, modificaciones, resoluciones de problemas y cualquier otra información importante. Estos registros serán útiles para futuras evaluaciones del proyecto.

Recuerda: La preparación adecuada antes del inicio de la construcción es crucial para asegurar un flujo de trabajo eficiente y la ejecución exitosa del proyecto. Utiliza el modelo BIM como una herramienta integral para coordinar, comunicar y planificar las actividades de construcción.

Anexo 2

Terminología y Definiciones BIM

Terminología y Definiciones BIM

2D: Segunda dimensión (Planimetría).

3D: Tercera dimensión (Modelo tridimensional).

4D: Se refiere a la información de secuencia de construcción que incluye las tres dimensiones espaciales y una dimensión adicional de tiempo (programación de obra).

5D: Incluye 4D más “costo”. Integra el diseño con la estimación y programación de costos, incluidas los rendimientos de mano de obra y productividad (presupuesto).

6D: Incluye aspectos relacionados con la sostenibilidad de un proyecto de construcción.

7D: Asociada con la gestión de instalaciones y otros conceptos como Internet de las cosas (IoT).

Activo: Artículo, cosa o entidad que tiene valor potencial o real para una organización.

Actor: Una persona, una organización o una unidad organizativa (como un departamento, equipo, etc.) involucrada en un proceso de construcción.

AEC: Arquitectura, ingeniería y construcción (Architecture, Engineering and Construction); o arquitectura, ingeniería y contratación.

AIM: Modelo de información de activos (Asset Information Model). Modelo que describe la manera de gestionar la información en la fase de operación y mantenimiento de un proyecto. Recopila toda la información necesaria en forma de datos para respaldar la gestión de activos.

AIR: Requisito de información de activos (Asset Information Requirement). Describe la información gráfica y no gráfica para un modelo de información de activos. Esta información está documentada en el resumen del cliente y es necesaria para que pueda operar y mantener el activo. Describe el propósito de la información, para quién se produce, así como cuándo y cómo se produce.

Archivo: Componente del entorno común de datos. La sección de archivo del CDE es para información inactiva o reemplazada. Dicha información proporcionará un historial de las transferencias

de información del proyecto, el intercambio, las órdenes de cambio y la retención de conocimientos, y se puede utilizar para otros fines contractuales o "descubrimiento".

As-Built: Modelo digital que contiene documentación e información gráfica y no gráfica que define el activo construido, el cual define las variaciones al modelo diseñado ocurridas durante la construcción, actualizadas continuamente a través de nuevas mediciones mientras avanza el proceso constructivo para realizar una evaluación informada del impacto y la resolución.

BCF: Formato de colaboración BIM (BIM Collaboration Format). Formato de archivo abierto basado en XML. Permite que diferentes partes agreguen comentarios a un modelo IFC BIM. Esto simplifica y ayuda a la colaboración entre las partes que trabajan en el modelo, ya que les permite plantear inquietudes, resolver problemas y brindar respuestas a las preguntas fácilmente.

BEP: Plan de ejecución BIM (BIM Execution Plan). Explica cómo se gestionará la información del proyecto o encargo por parte del equipo de diseño. Describe cómo se ejecutará BIM en el proyecto, las aplicaciones BIM que serán incorporadas y todos los deberes de los stakeholders. El BEP es preparado por los proveedores como respuesta directa al EIR.

BIM: Modelado de información de construcción (Building Information Modeling). También conocido como modelo de información de construcción o gestión de información de construcción, es un término muy amplio que describe el uso colaborativo de datos e información para construir una representación virtual o modelo digital de un edificio o activo con todas sus características físicas y funcionales utilizando información orientada a objetos.

BIP: Plan de implementación BIM (BIM Implementation Plan)

CAD: Dibujo / diseño asistido por computador (Computer-Aided Drawing / Design / Drafting).

CDE: Entorno común de datos (Common Data Environment). Repositorio que contiene toda la información relacionada con un proyecto en particular. Es particularmente útil para definir los requisitos de cada miembro del equipo, monitorear su progreso, validar las entradas de datos y registrar todas las

actividades de los distintos miembros del equipo. Esta fuente central de información, concertada entre los stakeholders para la recopilación, gestión y difusión de la información mediante un proceso controlado, mejora la colaboración y ayuda a evitar errores como la duplicación.

Ciente: Actor responsable de iniciar un proyecto y aprobar su desarrollo.

Ciclo de vida: Etapas y actividades que abarcan la vida de un sistema, desde la enunciación de sus requerimientos hasta su disposición final, abarcando su diseño, desarrollo, operación, soporte de mantenimiento y desuso.

COBie: Intercambio de información de construcción de edificaciones en fase de operaciones (Construction-Operations Building Information Exchange). Definición de vista de modelo (MVD) que incluye información operativa utilizada para proporcionar datos a la organización como insumo para la toma de decisiones y la gestión de activos. Es un estándar abierto que proporciona una manera de agregar y compartir información no gráfica sobre un proyecto, relacionada con los datos y su forma de comunicación, así como la operación, construcción, diseño, demolición y otros datos relevantes.

Dato: Información almacenada pero aún no interpretada o analizada.

Dibujo 2D: Vista de un modelo al que se hace referencia en una “plantilla de hoja de dibujo” (dibujo en blanco y bloque de título). Dichos dibujos siempre deben considerarse documentos estáticos, ya que son representaciones o instantáneas de los archivos del modelo de diseño. Estas representaciones se generan cada vez que se prepara el dibujo para "compartirlo" en hitos regulares.

EIR: Requisitos de información del empleador (Employer’s Information Requirements). Es un documento elaborado por el cliente, de manera previa a la licitación, donde se describen los requisitos de la información a presentar, además como los procesos y estándares que el proveedor debe adoptar para la entrega del proyecto.

Entregable: Producto o servicio como resultado de un proceso.

Etapas / Fase: División de un mapa de procesos estandarizado para la adquisición de una instalación, en algunos de los cuales se entregan los requisitos del proyecto.

FM: Gestión de instalaciones (Facility Management).

HVAC: Calefacción, ventilación y aire acondicionado (Heating, Ventilation & Air conditioning).

IDM: Manual de Entrega de Información (Information Delivery Manual). Metodología estándar que identifica cuándo se requiere información específica durante la fase de construcción u operación de un proyecto. Ahora se conoce como el estándar buildingSMART para procesos.

IFC: Clases básicas de la industria (Industry Foundation Class). Formato de registro de datos abierto creado por buildingSMART para transferir información y mejorar la coordinación entre los distintos participantes del proceso.

Información de referencia: Información existente del activo.

IPD: Entrega integrada de proyectos (Integrated Project Delivery). Sistema de colaboración abierta, transparente y fluida conformado por los stakeholders del proyecto, basado en un acuerdo que alinea sus objetivos e intereses, definiendo claramente la postura de cada uno de ellos.

KPI: Indicador clave de rendimiento (Key Performance Indicator). Medida que proporciona información esencial sobre el desempeño de la prestación de servicios relacionados con activos.

LoD: Nivel de desarrollo (Level of Development). Grado de planificación y ejecución de la geometría de un objeto y los datos adjuntos, así como el grado de confiabilidad de la información para los integrantes del equipo de trabajo al usar el modelo. Incluye el LOD y el LOI.

LOD: Nivel de detalle (Level of Detail). Integridad y precisión de una representación hecha de forma virtual en comparación con las propiedades físicas y utilitarias del objeto real. Indica el grado de detalle incluido en el objeto modelado.

LOI: Nivel de información (Level of Information). Definición del contenido no gráfico definido para el modelo durante cada una de las etapas del proyecto.

MEP/FP: Mecánica, electricidad y fontanería (Mechanical, Electrical & Plumbing) / Protección contra incendios (Fire Protection).

Metadato: Datos utilizados para la descripción y gestión de documentos u otros contenedores de información.

Modelo 3D: Modelo con objetos que tienen propiedades tridimensionales. Dichos modelos siempre deben considerarse dinámicos, ya que estarán formados por “archivos de modelo” que son archivos de “referencia”.

Modelo federado de información de construcción: Conjunto de varios modelos únicos para desarrollar un modelo BIM completo de un activo. El sistema de gestión de modelos trata todas las partes del edificio hasta que se federan y combinan todos los modelos en un proyecto BIM.

MVD: Definición de vista de modelo (Model View Definition). Subconjuntos del formato IFC (buildingSMART International) que emplean operaciones estandarizadas para agrupar determinada información útil para simplificar el intercambio de datos, evitando la duplicidad de la información.

Niveles de madurez BIM: Estos son los niveles de complejidad y colaboración que puede alcanzar el modelado de información para la construcción.

Protocolo BIM: Documento donde se establecen los lineamientos para estructurar, definir y gestionar la información en los proyectos desarrollados en una empresa, normalizando los procedimientos y flujos de trabajo en entorno BIM.

OIR: Requisitos de información organizacional (Organization Information Requirement). Define todos los datos y la información necesarios a nivel organizativo (en lugar de a nivel de activos) para lograr los objetivos comerciales de la organización.

PEP: Plan de ejecución del proyecto (Project Execution Plan). Es una declaración de alto nivel de las intenciones y arreglos para un proyecto. Por lo general, describe la estrategia general para gestionar un proyecto y define las políticas, los procedimientos y las prioridades.

PIM: Modelo de información del proyecto (Project Information Model). Modelo de información creado a través de las fases de diseño, producción y construcción del proyecto. Por lo general, comprende información gráfica y no gráfica complementada con documentos que definen el proyecto entregado.

PIP: Plan de implementación del proyecto (Project Implementation Plan). Declaración que forma parte del BEP, relacionada con la capacidad del proveedor para entregar el EIR.

Rol: Funciones que realiza un actor en un momento dado del proyecto.

Sistema: Conjunto con nombre de componentes manejables que proporcionan una función común.

Stakeholder: (Parte interesada) Persona, grupo u organización beneficiada por la ejecución de un proyecto, aunque también pueden afectar o resultar afectados por cualquier tópico del proyecto.

VDC: Diseño y construcción virtual (Virtual Design & Construction). Método basado en el uso de herramientas BIM para optimizar el desempeño en la gestión de la fase de diseño de un proyecto.

Anexo 3

Terminología y Definiciones ISO 19650

Terminología y Definiciones ISO 19650

Activo (Asset): Según la ISO 55000 (gestión de activos), un activo es un elemento, cosa o entidad que tiene un valor potencial o real para la organización. Pueden ser equipos, propiedades o información; tangible o intangible.

Asignación (appointment): Instrucción acordada para el suministro de información relacionado con obras, bienes o servicios (numeral 3.2.2 ISO 19650 1:2018).

Ciclo de vida: Vida del activo, se puede definir como tres fases principales: diseño (desde su concepción y definición), construcción y operaciones (incluyendo mantenimiento y repotenciación, dado el caso, o demolición).

Equipo de Desarrollo (Delivery Team): Parte Designada Principal y sus Partes Designadas (numeral 3.2.6 ISO 19650 1:2018). Dependiendo del tipo de proyecto será su tamaño, desde una micro o pequeña empresa que realiza todas las funciones hasta un equipo de tareas complejo.

Equipo de Proyecto (Project Team): Parte que designa y todos los Equipos de Desarrollo. (numeral 3.1.2.1 ISO 19650 2:2018). Todas las partes involucradas en el proceso de desarrollo de un activo.

Equipo de Tareas (Task Team): Conjunto de individuos organizados para realizar una tarea específica. (numeral 3.2.7 ISO 19650 1:2018). Parte Designada Principal y sus Partes Designadas (numeral 3.2.7 ISO 19650 1:2018). Es un equipo dentro del Equipo de Desarrollo (también puede ser una persona) responsable de realizar una tarea específica. Por ejemplo, un diseñador de estructuras, un arquitecto, o un contratista con sus subcontratistas y proveedores.

Fase de Desarrollo (Delivery Phase): Parte del Ciclo de Vida, durante el cual se diseña, construye y pone en servicio un activo (numeral 3.2.11 ISO 19650 1:2018).

Fase de Operación (Operational Phase): Parte del Ciclo de Vida, durante el cual se utiliza, opera y mantiene un activo, (numeral 3.2.11 ISO 19650 1:2018).

Información: Representación reinterpretable de datos en una manera formalizada y adecuada para su comunicación, interpretación o procesado. (numeral 3.3.1 ISO 19650 1:2018). La información puede ser procesada por medios humanos o automatizados. Es el activo más importante, se debe custodiar y asegurar que circule a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Parte designada (Appointed party): Proveedor de información relacionada con obras, bienes o servicios (numeral 3.2.3 ISO 19650 1:2018). Lo que se conoce como subcontratista, lideradas por la parte designada principal. Son sus responsabilidades:

- Ayudar a la parte designada principal a crear un plan de ejecución BIM (BEP).
- Acordar qué información y cuándo debe ser producida por cada parte designada.
- Establecer un plan o planes de entrega de información de tareas en todo el equipo de tareas (Task Team).
- Creación colaborativa de información de acuerdo con el estándar y los requisitos de información.
- Participar en la revisión del modelo de información.

Parte designada principal (Lead appointed party): Proveedor de información relacionada con obras, bienes o servicios (numeral 3.2.3 ISO 19650 1:2018). Contratista, proveedor, proponente o candidato. Provee o suministra la información requerida por la parte que designa (appointing party). Tiene como responsabilidades:

- Definir el plan de ejecución BIM.
- Crear los requisitos de información propios, además de los establecidos por la parte designada en un documento llamado Requisitos de intercambio de información.
- Crear el plan maestro de entrega de información.
- Formular los requisitos de información para todas y cada una de las partes designadas.

- Preparar y asignar recursos (personas, procesos y tecnología) dentro del Equipo de Desarrollo (Delivery Team).
- Crear documentos contractuales para cada parte designada.
- Gestionar y supervisar el progreso del modelo de información realizado por el equipo de desarrollo.
- Verificar si el modelo de información proporcionado cumple con los requisitos establecidos por la parte que designa.
- Recopilar conclusiones con cada una de las partes designadas.

Parte que designa (Appointing party): Receptor de información relacionada con obras, bienes o servicios por parte de la parte designada. (numeral 3.24 ISO 19650 1:2018). Comúnmente conocido como contratante, cliente, propietario, mandante, promotor, solicitante. En el caso del Estado, es la entidad pública que solicita el producto o servicio o quien hace la licitación. Está a cargo de:

- Crear los requisitos de información y los estándares del proyecto.
- Establecer instrucciones para la creación y entrega de información (formatos, medios, calendario de entregas, etc).
- Establecer un entorno de datos común para el proyecto.
- Entregar la información existente necesaria para desarrollar el proyecto.

Requisitos de información (Information Requirements): Especificación que establece la información qué hay que producir, cuándo se produce, su método de producción y su destinatario (numeral 3.3.2 ISO 19650 1:2018). La parte que designa o contratante, debe definir con claridad qué información quiere, cuándo, cómo, dónde la quiere. Esto permitirá tener una estrategia de gestión, manejo y producción de información para que las partes puedan acceder a ella sin ningún problema, sin generar traumatismos en el desarrollo del proyecto y que la información esté disponible en el momento que se requiera y como se requiera. Responde a:

- ¿Qué información debe ser producida?
- ¿Cuándo se debe producir o presentar esta información (periodicidad)?
- ¿Cómo se debe entregar esa información (formatos, medios)?
- ¿Quién debe producir o entregar esa información y a quién debe ser entregada?

Requisitos de información de la organización (OIR): Requisitos de información relativos a los objetivos de la organización (numeral 3.3.3 ISO 19650 1:2018). Esta información debe ayudar a la organización a tomar decisiones acerca de:

- Generar alternativas de proyecto, para determinar el impacto financiero de ejecutar o no una actividad.
- Calcular el costo financiero de invertir o no en la ejecución de un proyecto.
- Determinar en fases tempranas flujos financieros para actividades de Operación y Mantenimiento (OyM).

Requisitos de Información del Activo (AIR): Requisitos de Información relativos a la operación de un activo (numeral 3.3.4 ISO 19650 1:2018). Sirve para la gestión y mantenimiento del activo.

Requisitos de Información del Proyecto (PIR): Requisitos de Información relativos al desarrollo de un activo (numeral 3.3.5 ISO 19650 1:2018). Información de OIR aplicado al proyecto concreto.

Requisitos de Intercambio de Información (EIR): Requisitos de información relativos a una Asignación (Appointment) (numeral 3.3.6 ISO 19650 1:2018). Cómo se va a transferir la información (mecanismo, formatos, métodos de entrega), periodicidad, nivel de información, características, etc.

Anexo 4**Consentimiento Informado para Participantes de Investigación**

Consentimiento Informado para Participantes de Investigación

El propósito de este documento es proporcionar a los participantes de esta investigación una explicación clara sobre la naturaleza del estudio y su papel como participantes. El presente estudio es llevado a cabo por Fabián Orlando Nieto Amézquita, estudiante de último semestre del programa de Construcción en arquitectura e ingeniería de la Universidad Santo Tomás. El objetivo general de esta investigación es desarrollar una estrategia metodológica para la implementación de Building Information Modeling (BIM), mediante la cual se integrarán personas y tecnologías informáticas para gestionar la fase de preconstrucción de edificaciones por parte del sector AEC en Colombia.

Si decide participar en este estudio, se le solicitará responder preguntas durante una entrevista personal. Esto tomará aproximadamente entre veinte y treinta minutos. Durante la sesión, se grabará la conversación para que el investigador pueda transcribir las ideas expresadas por usted. La participación en este estudio es completamente voluntaria. Toda la información recopilada será confidencial y se utilizará únicamente con fines de investigación.

Si en algún momento tiene alguna pregunta sobre el proyecto, no dude en hacerla durante su participación. Asimismo, tiene el derecho de retirarse del estudio en cualquier momento sin que esto le cause ningún perjuicio. Si alguna de las preguntas durante la entrevista le resulta incómoda, tiene el derecho de informárselo al investigador o de optar por no responderla. Desde ya, agradezco su participación en este estudio.

Acepto participar voluntariamente en esta investigación, dirigida por Fabián Orlando Nieto Amézquita. Me han informado que el objetivo de este estudio es desarrollar una estrategia metodológica para la implementación de BIM, con el fin de gestionar la fase de preconstrucción de edificaciones por parte del sector AEC en Colombia mediante la integración de personas y tecnologías informáticas. También se me ha informado que se me solicitará responder cuestionarios y preguntas durante una entrevista, lo cual tomará aproximadamente entre veinte y treinta minutos.

Reconozco que la información proporcionada durante este estudio es estrictamente confidencial y no será utilizada para ningún propósito que no esté relacionado con la investigación, sin mi consentimiento. Se me ha informado que puedo hacer preguntas en cualquier momento sobre el proyecto y que puedo retirarme del estudio en cualquier momento sin consecuencias negativas. Si tengo alguna pregunta sobre mi participación en este estudio, puedo contactar a la directora del proyecto, Olga Lucia Vanegas, al teléfono 312 5859174.

Entiendo que se me entregará una copia de este formulario de consentimiento y que puedo solicitar información sobre los resultados de este estudio una vez que haya concluido. Para ello, puedo comunicarme con la directora del proyecto al número de teléfono mencionado anteriormente.



Luis Felipe Gómez Posada

Nombre del Participante

Firma del Participante

2 de junio de 2023

Fecha de la entrevista