



UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA
La Universidad Católica de Loja

ÁREA ADMINISTRATIVA
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE PROYECTOS

TRABAJO DE TITULACIÓN

Propuesta de guía metodológica para la implementación de
metodología BIM en proyectos de edificación en el contexto
ecuatoriano

Autor: Santacruz Núñez, Héctor Patricio

Director: Rojas Asuero, Henry Vicente

CENTRO UNIVERSITARIO QUITO

2021



Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>

2021

Aprobación del director del trabajo de titulación

Loja, 25, de marzo, de 2021

Doctora.

Tania Paola Torres Gutiérrez

Coordinadora de programa de posgrados

Ciudad. -

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación denominado: Propuesta de Guía Metodológica para la Implementación de Metodología BIM en Proyectos de Edificación en el Contexto Ecuatoriano realizado por Héctor Patricio Santacruz Núñez ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo. Así mismo, doy fe que dicho trabajo de titulación ha sido revisado por la herramienta anti-plagio institucional.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

Atentamente,

Firma del director del Trabajo de Titulación

Henry Vicente Rojas Asuero.

C.I: 1104761307

Declaración de autoría y cesión de derechos

“Yo, Hector Patricio Santacruz Núñez, declaro y acepto en forma expresa lo siguiente:

- Ser autor(a) del Trabajo de Titulación denominado: Propuesta de Guía Metodológica para la Implementación de Metodología BIM en Proyectos de Edificación en el Contexto Ecuatoriano, del Programa de posgrados Maestría en Gestión de Proyectos, específicamente de los contenidos comprendidos en: se debe colocar los nombres de los capítulos elaborados en el Trabajo de Titulación. Introducción, Capítulo 1. Antecedentes de la Investigación, Capítulo 2. Marco Teórico, Capítulo 3., Capítulo 4., Henry Vicente Rojas Asuero, director del presente trabajo; y, en tal virtud, eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones judiciales o administrativas, en relación con la propiedad intelectual. Además, ratifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo son de mi exclusiva responsabilidad.
- Que mi obra, producto de mis actividades académicas y de investigación, forma parte del patrimonio de la Universidad Técnica Particular de Loja, de conformidad con el artículo 20, literal j), de la Ley Orgánica de Educación Superior; y, artículo 91 del Estatuto Orgánico de la UTPL, que establece: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través, o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.
- Autorizo a la Universidad Técnica Particular de Loja para que pueda hacer uso de mi obra con fines netamente académicos, ya sea de forma impresa, digital y/o electrónica o por cualquier medio conocido o por conocerse, sirviendo el presente instrumento como la fe de mi completo consentimiento; y, para que sea ingresada al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública, en cumplimiento del artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Autor: Héctor Patricio Santacruz Núñez

C.I.: 1713079869

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a mi madre, de quien aprendí que incluso las tareas más difíciles se pueden llegar a alcanzar dando un paso a la vez. También para todas las personas que estuvieron conmigo durante esta etapa, aportando a mi formación profesional y como ser humano.

Agradecimiento

Al finalizar este trabajo agradezco a mi madre que ha sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez y a mi esposa Polina por su constante apoyo y enorme paciencia durante el desarrollo de este proyecto de estudio, más aún en esta época tan complicada que nos tocó sobrellevar en medio de una Pandemia.

También quiero agradecer a la Universidad Técnica Particular de Loja, directivos y profesores por la organización del programa de Maestría en Gestión de Proyectos.

Índice de Contenido

Carátula.....	I
Aprobación del director del trabajo de titulación	II
Declaración de autoría y cesión de derechos.....	III
Dedicatoria	V
Agradecimiento	VI
Índice de Contenido	VII
Resumen	1
Abstract	2
Introducción.....	3
Capítulo uno.....	5
Análisis del entorno y problemática	5
1 Antecedentes	5
1.1 Planteamiento del Problema	7
1.2 Justificación	8
1.3 Objetivos de la investigación	10
1.3.1 Objetivo General	10
1.3.2 Objetivos Específicos	11
Capítulo dos	12
Marco teórico (estado del arte)	12
2 Desarrollo histórico de la metodología BIM	12
2.1 Características y elementos que forman parte de la metodología BIM.	15
2.1.1 Centro Común de Datos (CDE common data environment)	15
2.1.2 Características Principales de un CDE	18
2.2 Documentación requerida para trabajar en un entorno BIM	20
2.2.1 Model Element Authoring - MEA (Autoría de Elementos de Modelo).....	22
2.2.2 Level Of Development – LOD (Niveles de Desarrollo/Detalle)	22
2.2.3 BIM Execution Plan – BEP (Plan de Ejecución BIM).....	25
2.3 Definiciones generales	26
2.3.1 Modelado Paramétrico	26
2.3.2 Modelos	27
2.3.3 Modelo Multidisciplinario	28
2.3.4 Usos BIM.....	29
2.3.5 Definición de la metodología BIM	32
2.4 Roles y funciones	35
2.4.1 BIM Manager (Gerente BM)	35
2.4.2 BIM Lead (Líder BIM)	36
2.4.3 Model Element Author (Creador de elementos – Modelador)	37

2.5	Metodología de la investigación	39
2.5.1	Definición de Objetivos	40
2.5.2	Diseño de la Investigación	40
2.5.3	Recopilación de Información.....	41
2.5.4	Técnica de Investigación por Aplicarse - Encuestas	41
2.5.5	Análisis de Datos.....	42
2.5.6	Presentación de Resultados	42
Capítulo tres.....		44
Análisis de datos y propuesta de guía metodológica		44
3.1	Análisis de datos	44
3.1.1	Problema de Investigación	44
3.1.2	Técnica de Recolección de Datos.....	44
3.1.3	Enfoque del Problema.....	44
3.1.4	Tipos de Análisis	45
3.2	Resultados	45
3.2.1	Perfil de las empresas relevadas	45
3.2.2	Usos de BIM más utilizados.....	46
3.2.3	Desafíos de los usuarios	49
3.2.4	Educación en Metodología BIM	52
Capítulo cuatro.....		56
Guía metodológica para la implementación de un modelo de gestión BIM		56
4.1	Introducción	56
4.1.1	Propósito de la Guía	56
4.1.2	Beneficios de la Implementación BIM	57
4.2	Normativas de referencia	59
4.3	Etapas de implementación de un modelo de gestión BIM	61
4.3.1	Fase 1. Análisis situacional de la organización	62
4.3.2	Fase 1. Entregables	62
4.3.3	Fase 2. Capacitación personalizada en software y conceptualización de la metodología BIM (Transferencia de conocimientos).....	63
4.3.4	Fase 3. Ejecución de un proyecto piloto	64
4.3.5	Definición de un plan de soporte técnico especializado.	65
4.4	Usos BIM específicos para la etapa de construcción	66
4.4.1	Generación de Presupuestos.....	66
4.4.2	Análisis de Interferencias	67
4.4.3	Definición de prioridades para interferencias.....	69
Recomendaciones		73
Referencias		74
Apéndice		78

Índice de Tablas

Tabla 1 Componentes de Usos BIM.....	30
Tabla 2 Propósitos de los Usos BIM.	30
Tabla 3 Usos BIM propósitos y objetivos.	30
Tabla 4 <i>Usos BIM más populares.</i>	47
Tabla 5 <i>Tipos de proyectos en los que se utiliza la metodología BIM.</i>	47
Tabla 6 Comparación entre Usos BIM y Tipos de Proyectos.....	48
Tabla 7 Comparación entre usos BIM y Tipos de Proyecto.....	49
Tabla 8 Percepción de uso de la Metodología BIM en el futuro.....	54
Tabla 9 Sobre el Marco Regulatorio BIM.	54
Tabla 10 Beneficios obtenidos con la Metodología BIM	55
Tabla 11 Beneficios y Usos BIM Primarios por tipo de Proyecto	57

Índice de Figuras

Figura 1 Entorno común de datos	17
Figura 2 Funcionalidades principales de un CDE	19
Figura 3 Flujo de información tradicional vs flujo de información optimizada	20
Figura 4 Contenido de un PBB	21
Figura 5 Autoría de Modelos y LOD.....	24
Figura 6 Contenido de un BEP	26
Figura 7 Diagrama de un Modelo Multidisciplinario	29
Figura 8 BIM como Modelo de Gestión.....	34
Figura 9 Roles Principales en un entorno BIM.....	39
Figura 10 Flujo de trabajo del proceso de investigación.....	39
Figura 11 Tipo de empresa.	46
Figura 12 Giro de negocio específico.....	46
Figura 13 Tipos de Herramientas de Modelado.....	50
Figura 14 Formatos de Intercambio de Información	51
Figura 15 Uso de algún marco regulatorio BIM	52
Figura 16 Formación en BIM.....	52
Figura 17 Causas para la Implementación BIM	53
Figura 18 Pasos para generar presupuestos en un entorno BIM	67

Resumen

Los proyectos de construcción siempre han representado un reto particular para los gestores de proyectos, debido principalmente a los siguientes factores: alto número de interesados, volumen de información generada, control de ejecución de obra, exactitud en la obtención de cantidades de materiales y cumplimiento de plazos contractuales.

El modelo de gestión bajo metodología BIM se ha desarrollado desde el año 1962 y es una herramienta complementaria a la gestión de proyectos que permite, de una manera más eficiente, administrar los proyectos de construcción durante todo el ciclo de vida de proyecto con soporte en la automatización de varios de sus procesos, como son: las solicitudes de cambio, el uso de los recursos del proyecto, la gestión de la calidad, la gestión de las comunicaciones y la gestión documental

Esta guía metodológica busca servir de referencia para que las empresas constructoras y diversos profesionales relacionados a esta industria puedan tener una fuente fiable de consulta que les ayude a entender que es este modelo de gestión, su utilidad y los requerimientos necesarios para implementar este tipo de metodología en sus proyectos.

Palabras claves: BIM, Ecuador, Construcción.

Abstract

Construction projects have always represented a particular challenge for project managers, mainly due to the following factors: high number of stakeholders, volume of information generated, control of work execution, level of accuracy in obtaining quantities of materials and compliance with contractual deadlines.

The management model under the BIM methodology has been developed since 1962 and is a complementary tool to project management that allows, in a more efficient way, to manage construction projects throughout the project life cycle with support in the automation of several of its processes, such as: change requests, use of project resources, quality management, communications management and document management.

This methodological guide seeks to serve as a reference so that construction companies and various professionals related to this industry can have a reliable source of consultation that helps them understand what this management model is, its usefulness and the necessary requirements to implement this type of methodology in their projects.

Keywords: BIM, Ecuador, Construction.

Introducción

El presente trabajo de titulación presenta una solución a los problemas de incremento de eficiencia en la gestión de proyectos de construcción en el Ecuador por medio de la aplicación de un modelo de gestión BIM de proyectos. La metodología BIM permite optimizar la administración de la información que se genera durante el ciclo de vida de proyecto de tal manera que se puedan automatizar tareas repetitivas, mejorar la trazabilidad de la información y predecir posibles problemas antes de que sucedan; en etapas tempranas del ciclo de vida del proyecto.

Tomando como base los usos BIM se pueden resolver problemas como la visualización del proyecto, transmitiendo la idea que está plasmada por lo general en un plano 2D, en formato 3D para mejor comprensión de los sistemas que integran la facilidad. La posibilidad de obtener presupuestos de proyecto muy exactos a través de la cuantificación elimina la incertidumbre en los componentes monetarios de contingencia. El análisis de interferencias optimiza los tiempos de ejecución al detectar problemas antes que estos se reporten en obra y brinda un soporte muy grande en el ámbito de la seguridad industrial y salud ocupacional.

La guía metodológica para la implementación BIM en compañías constructoras cumple con los objetivos planteados en este Trabajo de Fin de Titulación en su totalidad. Se revisan los conceptos BIM más importantes como: usos BIM, concepto de metodología BIM y su desarrollo histórico como un modelo de gestión de proyectos, la forma adecuada de cuantificar y realizar análisis pre constructivos, y los usos BIM más importantes. La estructura de la guía metodológica establecida con base a la investigación de campo realizada a empresas constructoras de prestigio en el país permite que se realice una implementación BIM en de forma ordenada y eficiente.

Si bien la pandemia por la que atravesamos en la actualidad no permitió que se pueda realizar un análisis más profundo de las compañías constructoras, el apoyo de la

tecnología y el interés que provoca en el ámbito de la construcción que se realicen estudios de este tipo, ayudo mucho para la consecución de los objetivos planteados. La metodología de investigación utilizada se adecuo a las limitantes enunciadas y permitió que los colaboradores de las empresas que participaron del estudio completen los cuestionarios electrónicos planteados sin inconvenientes. El trabajo de titulación demostró también la gran oportunidad que existe en el Ecuador para implementar este tipo de modelos de gestión de proyectos.

El trabajo de titulación consta de los siguientes apartados, un análisis de la problemática del ecosistema de la construcción, sus requerimientos y posibles salidas a esos problemas, un resumen histórico conceptual para entender que es la metodología BIM, su origen y aplicación, una investigación concluyente descriptiva que permite confirmar la estructura de una guía de implementación, misma que se presenta en el siguiente apartado dividida en fases de implementación, se cierra con el apartado de conclusiones y recomendaciones de posibles investigaciones a futuro.

La presente investigación es muy importante para continuar con los procesos de democratización y socialización de la metodología BIM en Ecuador y brinda la oportunidad de regularizar bajo procedimientos específicos los procesos de implementación BIM. Además de ser una investigación que resultara de interés y utilidad para las empresas constructoras en el país, también puede servir como material de consulta para quienes empiecen a investigar sobre este tipo de metodologías o presenten dudas sobre cómo realizar una implementación en sus respectivas organizaciones.

Ecuador como ha demostrado la presente investigación es un país que utiliza este tipo de metodologías ampliamente a nivel corporativo, pero requiere de un marco normativo o estándar que pueda regir la industria de la construcción, como lo tienen países desarrollados de América, Europa y varios países latinoamericanos como: Chile, Argentina, Perú, Colombia y México.

Capítulo uno

Análisis del entorno y problemática

1 Antecedentes

El Departamento de Economía y Asuntos Sociales de las Naciones Unidas estima que para el año 2050 existirá un incremento del 75% de la población urbana, de 3,6 billones a 6,3 billones. “En el año 2025 existirán 37 megaciudades y 12 de estas se encontrarán en los llamados mercados emergentes” (Hage et al., 2020, p. 9), lo que da como resultado una necesidad inminente de los gobiernos por incrementar la infraestructura de vivienda y servicios de los centros urbanos.

La industria de la construcción es uno de los principales protagonistas de este panorama de desarrollo urbanístico. Las necesidades de infraestructura incluyen, pero no se limitan a: proyectos eléctricos y de transmisión de energía, proyectos viales que tomen en cuenta los problemas de movilidad a macro y microescala, incremento de la capacidad instalada de vivienda y la ampliación de redes de alcantarillado y agua potable. A esta mayor cantidad y complejidad en los proyectos requeridos a futuro se debe incluir la variable de un menor presupuesto disponible, ocasionado por la inestabilidad económica de los últimos años a nivel mundial.

Estos hechos obligan a los participantes del ecosistema de construcción a plantearse la pregunta ¿Cómo optimizar y volver más eficiente la gestión de proyectos, tomando en cuenta todas las variables dentro de este escenario de desarrollo económico global?

Los modelos de gestión basados en la obtención, procesamiento y administración de la información cobran entonces relevancia y se convierten en catalizadores para el cumplimiento de los retos que podrían plantearse en los proyectos de construcción actuales y futuros. Los modelos de gestión de construcción basados en información de las facilidades datan de los años 60 y se han desarrollado siempre con el objetivo de optimizar recursos y tiempo, con la tecnología como una herramienta de soporte que apoya a los gestores de proyectos.

Estos modelos de gestión se han convertido en la actualidad en una herramienta indispensable para la administración óptima de proyectos de construcción, desde su concepción hasta su operación, es decir durante el desarrollo de todo el ciclo de vida de proyecto. La gestión de proyectos BIM requiere de un proceso de implementación, aceptación e inclusión dentro de la cultura corporativa de las organizaciones y han llegado a tener amplia aceptación a nivel mundial.

En varios países como: Inglaterra, Estados Unidos, España, Nueva Zelanda, México, Rusia, Perú, Chile y Argentina, la Gestión de Proyectos bajo metodología BIM es de común aplicación a nivel de ingeniería, diseño y construcción, al punto de haberse convertido en un estándar de la industria que es de obligatorio cumplimiento en todos los proyectos que son licitados por parte de sus respectivas entidades gubernamentales. Organismos internacionales, como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), fomentan constantemente la aplicación de la metodología BIM en la gestión de proyectos de construcción.

Una muestra tangible de lo enunciado es el esfuerzo dirigido por la Gerencia de Infraestructura y la División de Ciencia, Tecnología e Innovación del BID la cual trabaja arduamente para la incorporación de metodología BIM en proyectos de infraestructura a nivel público, además de incluir a varios actores privados en la discusión por ser estos los principales ejecutores de los proyectos. “A nivel estratégico y de políticas públicas, se apoyará a los países en capacitación y reformas normativas y regulatorias para la adopción de esta metodología en la ejecución de proyectos” (Banco Interamericano de Desarrollo, 2018).

Es importante manifestar que en Ecuador este tipo de metodologías han sido investigadas y desarrolladas para su adaptación al mercado ecuatoriano desde el año 2006 por parte de la compañía Autodesk Inc., esfuerzos a los que se unieron hace unos años las empresas Bentley Solutions y Graphisoft. Desde el año 2008 las compañías EPC han ejecutado proyectos piloto de testeo de la metodología BIM en proyectos reales, lo que ha

permitido que se obtenga experiencia práctica en la aplicación de estos modelos de gestión en Ecuador.

Este importante trabajo que se desarrolla en Ecuador y que lleva varios años a nivel privado, se complementa en la actualidad con los esfuerzos desarrollados por varias organizaciones y gremios, que desde el año 2019 han organizado diversos foros y conversatorios con la participación de Colegios y Cámaras de Profesionales, colectivos privados, representantes de marcas internacionales y universidades con el objetivo de poder compartir experiencias relacionadas a la implementación de buenas prácticas en los proyectos de construcción y organizar un frente de trabajo común para generar una normativa BIM aplicable a Ecuador.

1.1 Planteamiento del Problema

La industria de la construcción históricamente ha carecido de un sistema de gestión de proyectos que pueda ser aplicado durante todo su ciclo de vida. El resultado de aquello es que los integrantes de proyecto: Ingeniería y diseño, proveedores, constructores, administradores, trabajen de manera aislada y no integrada, lo que degenera en un alto valor de ineficiencia en la gestión de la información y de los procesos en general. Por otro lado, la industria de la construcción es propensa a la corrupción debido a las grandes sumas de dinero que se invierten en los proyectos y que, por causa de la gestión no eficiente de estos, deja abierta la posibilidad de creación de órdenes de cambio o contratos complementarios muchas veces no justificables.

La industria de la construcción es además una de las industrias más afectadas por las fluctuaciones económicas a nivel global, lo que plantea escenarios urgentes de reestructuración en la forma de trabajo de la misma y obliga a desarrollar herramientas de gestión orientadas a los proyectos de construcción para incrementar la eficiencia en la administración de los recursos. Según el reporte Chaos “solo el 44% de los proyectos terminan con el presupuesto planificado, el 40% en el marco de tiempo establecido y 56% cumplen el objetivo inicial” (The Standish Group International, p.2, 2015). Si bien el reporte

se enfoca en proyectos de Gestión de Tecnologías de Información y Comunicaciones, estas estadísticas brindan un adecuado marco referencial sobre el éxito de proyectos.

Los proyectos de construcción dependen de diseños de ingeniería que se aplican durante la fase de ejecución del proyecto. Lastimosamente estas dos áreas de conocimiento funcionan como islas separadas, lo cual ocasiona una pérdida gigantesca de información. Esta brecha de información es la principal causa de generación de una gran cantidad de problemas como: incremento de horas hombre, paradas en la ejecución de obras, rediseños en campo, toma de decisiones con base a la experiencia del constructor y no a datos verificados o verificables.

Normar la gestión de la construcción a través de modelos de gestión Building Information Modeling permite no únicamente optimizar los procesos relacionados a los proyectos de construcción, sino también mejorar de manera sustancial el desempeño de la compañía constructora que lo implemente. La aplicación de un modelo 3D inteligente ligado a una base de datos brinda la posibilidad de realizar tareas como: la identificación temprana de problemas constructivos antes de que ocurran en obra, automatizar tareas repetitivas disminuyendo la cantidad de horas de trabajo no efectivas, gestionar la documentación a través de roles y permisos y conocer el desempeño de los colaboradores a través del seguimiento del trabajo asignado a cada uno de ellos.

1.2 Justificación

La industria de la construcción tiene grandes retos por delante, que surgen de la problemática propia de esta industria. Entre los principales se podría enunciar: la optimización de recursos que se invierten en los proyectos, agilidad en la respuesta frente a los cambios contractuales derivados de la inestabilidad económica y la mejora del control y prevención de prácticas que fomenten la corrupción. Frente a esta problemática la tecnología se nos presenta como una solución altamente viable para resolver estos problemas, al brindarnos la capacidad de poder obtener y administrar grandes cantidades

de datos relacionados a los proyectos y dándonos la posibilidad de transformar esos datos en información de relevancia para una toma de decisiones acertada.

La conversión de información en datos relevantes para la toma de decisiones, la automatización de procesos repetitivos y la posibilidad de gestionar la información global de un proyecto, eran hace muchos años utopías muy poco realizables. Los modelos de Gestión BIM posibilitan involucrar los avances tecnológicos para obtener no solamente la información adecuada sino también la posibilidad de predecir escenarios problema antes de que ocurran. El poder administrar esta gran cantidad de información y poderla convertir en datos relevantes permite que los gestores de proyectos se enfoquen en las necesidades propias del proyecto en lugar de en la gran cantidad de documentos, formularios y protocolos que deben ser llenados o cumplidos bajo enfoques tradicionales de gestión, que en varias ocasiones generan más problemas que soluciones al gestor del proyecto.

Los modelos de Gestión BIM permiten además tener control de todas las variables que influyen en un proyecto constructivo: cantidades de materiales, diseños de ingeniería, rendimientos, interferencias entre sistemas, planificación, gestión de cambios, gestión de comunicaciones y presupuestos por nombrar las más relevantes. La capacidad propia de automatización y personalización del modelo de gestión de proyectos con base a la metodología BIM, logra que el mismo se complemente de manera fácil con otras metodologías de gestión de proyectos como las establecidas por el Project Management Institute y que además se incluya sin inconvenientes procesos de gestión de calidad tipo ISO (International Organization of Standardization).

El uso cada vez más creciente e importante de tecnologías como los sistemas de información geográfica (GIS), abre la posibilidad de analizar escenarios de forma contextual, elemento que, al ser incluido como un parámetro de análisis, afecta de manera drástica la socialización e impacto de los proyectos en la comunidad. La gran capacidad de información que tienen los modelos GIS logra que los gestores de proyectos también puedan entender

el impacto socio económico del proyecto a construir y permite valorar las mejores opciones y viabilidad de estos.

La mayoría de las comunidades que se consideran inteligentes ya usan SIG. Muchas de estas comunidades inteligentes ya están investigando activamente la integración BIM-GIS porque “se dan cuenta de que un flujo de información más racionalizado entre los datos del ciclo de vida operativo y de construcción les permitirá planificar, financiar y mantener con mayor precisión los activos de infraestructura de la comunidad” (ESRI, 2019).

Al comprender la transformación por la que atraviesa la industria en la actualidad, su problemática y la necesidad imperante de construir cada vez más infraestructura con menos recursos humanos, materiales o económicos; solo queda abierto el camino de la optimización y es en este preciso instante donde las metodologías basadas en información como: Building Information Modeling, BIG DATA, Business Analytics, etc. se convierten en las opciones más viables para la gestión de los proyectos modernos. Cabe recalcar que los modelos de gestión bajo metodología BIM no reemplazan la gestión del proyecto, sino que la complementan.

Por las razones expuestas, para Ecuador es importante transferir conocimientos de gestión de proyectos desde la empresa privada hacia la gestión estatal de tal manera que la construcción en el país sea más eficiente, más segura, cumpla con los criterios de sostenibilidad de manera real y se modernice.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 *Objetivo General*

Diseñar una guía metodológica que permita a las empresas, contratistas e integrantes del rubro de construcción de edificaciones en Ecuador, conocer la forma de implementar un modelo de gestión de sus proyectos basado en la metodología Building Information Modeling.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Elaborar el estado del arte de la metodología BIM en el contexto de la gestión de proyectos de construcción.
- Desarrollar un marco conceptual de un modelo de gestión bajo metodología BIM aplicado al rubro específico de proyectos de construcción.
- Conceptualizar y proponer las etapas requeridas para la implementación de modelos de gestión BIM en empresas constructoras.
- Identificar las aplicaciones concretas de la metodología BIM dentro de un proyecto de construcción.

Capítulo dos

Marco teórico (estado del arte)

2 Desarrollo histórico de la metodología BIM

La metodología BIM en la actualidad ha alcanzado un alto nivel de popularidad, pero es importante recalcar que la misma lleva un desarrollo de varias décadas. El inicio de la conceptualización de este tipo de metodología de trabajo se remonta al año 1962 año en el que Douglas C. Engelbart publica su artículo llamado Augmenting Human Intellect (Potenciando el Intelecto Humano), en el cual el autor expresa una visión de cómo se debe considerar al arquitecto del futuro. Engelbart visualiza como, el trabajo del arquitecto de la siguiente forma:

comienza a ingresar una serie de especificaciones y datos: un piso de losa de seis pulgadas, paredes de concreto de doce pulgadas de dos metros y medio de altura dentro de la excavación, etc. Cuando ha terminado, la escena revisada aparece en la pantalla. Una estructura está tomando forma. Lo examina, lo ajusta ... Estas listas crecen hasta convertirse en una estructura interconectada cada vez más detallada, que representa el pensamiento maduro detrás del diseño real.(Engelbart, 1962).

Dentro del desarrollo de la investigación de Engelbart se pueden observar las bases de lo que se conoce en la actualidad como modelado paramétrico, un fundamento teórico a través del cual se define el uso de bases de datos relacionales que en nuestros días son el motor principal para la cuantificación de materiales a partir de elementos 3D. El desarrollo en los años 60 de la fundamentación tecnológica sobre la cual se apoya la metodología BIM requirió mucho del desarrollo de programación orientada a objetos y donde autores como Christopher Alexander proponen resolver problemas de diseño mediante funciones graficas que pueden ser descompuestas y que dan como resultado un programa que a la vez puede ser utilizado como base para la construcción de diagramas a partir de los cuales es posible desarrollar formas.

Este enfoque permite ser aplicado en la resolución de un amplio espectro de problemas como indica el mismo Alexander “Estos son ejemplos típicos. Vamos a diseñar un sistema de carreteras para la ciudad de Nueva York; una tetera para su uso en el entorno técnico y cultural proporcionado por los Estados Unidos metropolitanos de 1965; una nueva ciudad, para 30.000 personas, a cuarenta millas de Londres” (Alexander, 1973). La investigación de Alexander permite entender que los sistemas que van a ser analizados deben poseer una interfaz gráfica que brinde la posibilidad de interactuar de mejor manera con el entorno del proyecto, en otras palabras, obtener un modelo del sistema a analizar.

En el año 1963 aparece el programa Sketchpad de Ivan Sutherland y en conjunto con otros intentos de desarrollo de geometría de sólidos, en los años 1970s y 1980s aparecen los conceptos de geometría solida constructiva y representación de límites, pero el ingreso de datos en esos años representaba un problema debido a lo largo y tedioso que podría ser trabajar con tarjetas perforadas para programar. Hecho que permite el desarrollo de las primeras interfaces de interacción humano – maquina como los lápices de luz que permiten a los usuarios tener una interacción directa con los ordenadores.

Los conceptos de geometría solida constructiva y la representación de límites brindan la posibilidad de utilizar una serie de formas sencillas para convertirlas en formas complejas a través de la combinación de dichas formas, esta funcionalidad permite su aplicación en elementos arquitectónicos como puertas y ventanas. Todos estos avances llevaron a la inclusión de bases de datos de diseño, el desarrollo más conocido es el Building Description System (BDS) o Sistema de Descripción de Edificación.

El BDS es un software que describe elementos de manera individual por medio de librerías, utilizando una interfaz gráfica, vistas ortogonales y de perspectiva y realizar un ordenamiento de la información con base a las necesidades del proyecto por ejemplo atribuir materialidad y asignar proveedores. Eastman plantea la premisa de poder “desarrollar una base de datos informática que permitiera la descripción geométrica, espacial y de propiedad

de una gran cantidad de elementos físicos, dispuestos en el espacio y "conectados" como en un edificio real" (Eastman et al., 1974).

A partir del desarrollo de Eastman, se puede generar ciertos usos específicos que brindan los datos obtenidos del modelo generado por el sistema BDS, entre los principales: reducción de costos asociados a las ineficiencias del proceso de diseño (dibujo manual), mejor comprensión del proyecto a través de la visualización y acceso a información asociada a cada elemento constructivo. Un avance teórico - práctico muy grande que dio paso en los años siguientes, junto con el avance tecnológico y computadoras más potentes, al desarrollo de programas más complejos orientados a cubrir las necesidades operativas de los proyectos.

En los años 80 existe un desarrollo sumamente amplio en este tipo de arquitectura de software, aparecen AutoCAD en el año 1982, RUCAPS en el año 1986 mismo que es el primer programa que involucra el concepto de fases temporales de construcción y que fue utilizado en el proyecto de remodelación de la Terminal 3 del Aeropuerto Heathrow. ArchiCAD en el año 1984 es el primer software de modelado paramétrico comercial que aparece en el mercado, seguido por Pro/Engineer en el año 1988 y REVIT en el año 2000.

Con la aparición de los diversos programas de modelado paramétrico surgieron también problemas nuevos relacionados a la comunicación entre los mismos, este problema generó muchas ineficiencias debido a la cantidad de trabajo adicional repetitivo ocasionado por incompatibilidad de sus arquitecturas de programación. Por tal motivo, en el año 1995 se crea The International Foundation Class (IFC) un archivo de interconexión neutro que permite la comunicación entre los diversos tipos de softwares disponibles, además de democratizar el uso de la metodología BIM al no obligar al usuario final a utilizar un tipo de software específico.

El desarrollo a nivel de software ha permitido que en la actualidad tengamos herramientas de lectura de extensiones universales como Navisworks, herramientas de análisis de entorno ambiental como Ecotect, Energy Plus, Green Building Studio, Insigth.

Esta capacidad de análisis que nos permite el desarrollo de la tecnología ha logrado que los involucrados dentro del proyecto puedan enfocarse más en tareas de diseño y menos en las tareas operativas, dando como resultado una óptima generación de protocolos, procedimientos y sistemas de trazabilidad de información que dan forma a la metodología BIM como la conocemos en la actualidad.

Luego de cinco décadas de desarrollo, la metodología BIM ha empezado a interactuar con elementos como: la realidad virtual, escaneo 3D, IoT, realidad aumentada, interfaces de interacción humano – computacionales, computación de nube, entre las principales. Estas tecnologías de vanguardia junto con la capacidad de hardware disponible en la actualidad han dado como nacimiento el Diseño Generativo que brinda la capacidad de generar de manera automática varias opciones de diseño a partir de una idea única, permitiendo al diseñador escoger lo que mejor se adapte a sus necesidades.

Esta revisión por la línea de tiempo de las herramientas e ideas que dieron como resultado el nacimiento de la metodología BIM permite comprender lo importante de su aplicación y la causa por la cual esta se ha convertido en un elemento tan importante e indispensable en la gran mayoría de proyectos de la actualidad sin importar el nivel de complejidad de los mismos.

2.1 Características y elementos que forman parte de la metodología BIM.

La metodología BIM como todo modelo de gestión requiere de protocolos, procedimientos y herramientas tecnológicas que se integran e interactúan de manera permanente facilitando su uso, a continuación, se describen las que se consideran fundamentales.

2.1.1 Centro Común de Datos (CDE common data environment)

La gestión de la información de un proyecto siempre ha sido fundamental para el desarrollo del mismo, la información es el activo más importante de un proyecto y por supuesto de una empresa. El Centro Común de Datos es un repositorio centralizado de información en donde se administra, archiva y respalda la información de los proyectos. Es

un punto único de abastecimiento de información para la colaboración exitosa entre los miembros del proyecto y forma parte crucial de los procesos de gestión documental, se recomienda que este en capacidad de cumplir la normativa ISO 19650 o BS1192 del Instituto Británico de Estandarización.

CDE se define como una única fuente de información para cualquier proyecto. Funciona como un centro digital para que las partes interesadas del proyecto recopilen, gestionen y difundan la información pertinente aprobada del proyecto en un entorno gestionado. La información incluye modelos de información de construcción, dibujos, informes y otra información relacionada con el proyecto (BIM Acceleration Committee, 2019b).

El CDE gestiona el flujo de la información a través de las distintas fases del ciclo de vida del proyecto; por lo general se definen 4 etapas fundamentales en el flujo de información de proyecto tomando como base la normativa británica BS1192, estas etapas no deben ser confundidas con las fases de inicio, planificación, ejecución y cierre (ciclo de vida de proyecto) estas etapas son propias del desarrollo y transferencia de información, estas son:

- **Trabajo en progreso. (Work in Progress – WIP):** Trabajo que se está ejecutando por separado por cada uno de los miembros del equipo de proyecto antes de la emisión al resto del equipo de trabajo.
- **Compartido. (Shared):** Elementos que están listos para ser compartidos o que ya se han compartido a otros miembros del equipo de trabajo y que pueden servir como apoyo para el desarrollo de otras actividades.
- **Publicado. (Published):** Documentos que se han emitido a través de procesos de aprobación y revisión, los mismos están listos para ser compartidos al cliente interno o externo.
- **Archivo. (Archived):** Biblioteca donde se almacena el histórico de documentos, también se puede agregar documentos contractuales y estándares o normativas técnicas del proyecto.

El estándar ISO 19650 es un estándar internacional para la gestión de información durante todo el ciclo de vida de un activo, se tiene que entender al activo como el elemento o conjunto de elementos e información que forman parte del proyecto, estos activos tienen que cumplir un único requerimiento, haber sido creados mediante metodología BIM. El estándar ISO 19650 “contiene los mismos principios y requisitos de alto nivel que el marco BIM del Reino Unido y está estrechamente alineado con los estándares actuales del Reino Unido 1192.” (British Standards Institution, 2019).

Figura 1

Entorno común de datos.



Nota. Common Data Environment, representación de un flujo de información normado.

2.1.2 Características Principales de un CDE

El CDE tiene dos objetivos fundamentales y que se plantean de forma muy específica en el documento STF Scottish Futures Trust preparado por AECOM para el The BIM Delivery Group de Escocia:

1. Permitir a todos los involucrados en el proyecto acceder a información actualizada, confiable en un formato estructurado y fácilmente accesible de la facilidad durante todo su ciclo de vida.
2. Brindar soporte de gestión, creación, aseguramiento, compartición, diseminación y coordinación de la información generada durante los trabajos, mayores, menores, operación y actividades de mantenimiento. (Mordue, 2018).

Un CDE debe tener una gama amplia de funcionalidades que permitan gestionar de manera segura y confiable la información de proyecto, además debe cumplir con las mínimas necesidades operativas requeridas por el gestor de proyecto, entre las principales funcionalidades que deben estar incluidas como parte integral de un CDE podemos nombrar las siguientes:

- Gestión documental.
- Dashboard general para reportes e información de estado del proyecto.
- Gerencia de proyecto: planificación, cronograma, reporte de problemas.
- Gestión de aprobaciones: Submittals, Trasmittals.
- Gestión de RFIs (Request for Information).
- Gestión de costos.
- Gestión de Calidad: QA/QC.
- Gestión de tiempo: reuniones, minutas.
- Integración con dispositivos móviles en campo.

Los CDE deben cumplir con normativas específicas de seguridad de información como son las ISO: 27001, ISO 27002. Es altamente recomendable poseer sistemas de

redundancia y contingencia en el caso de que el CDE sea configurado con base a una Infraestructura Física de servicios, en el caso de optarse por una sistema SaaS Service as a System lo más importante es verificar el cumplimiento de todos los protocolos de seguridad de información, redundancia y escenarios de contingencia, por lo general todos estos protocolos y sistemas de contingencia o de escenarios “catastróficos” son que normalmente son cubiertos por los proveedores de los servicios SaaS, lo que lo convierte en la más popular en la actualidad.

Figura 2

Funcionalidades principales de un CDE



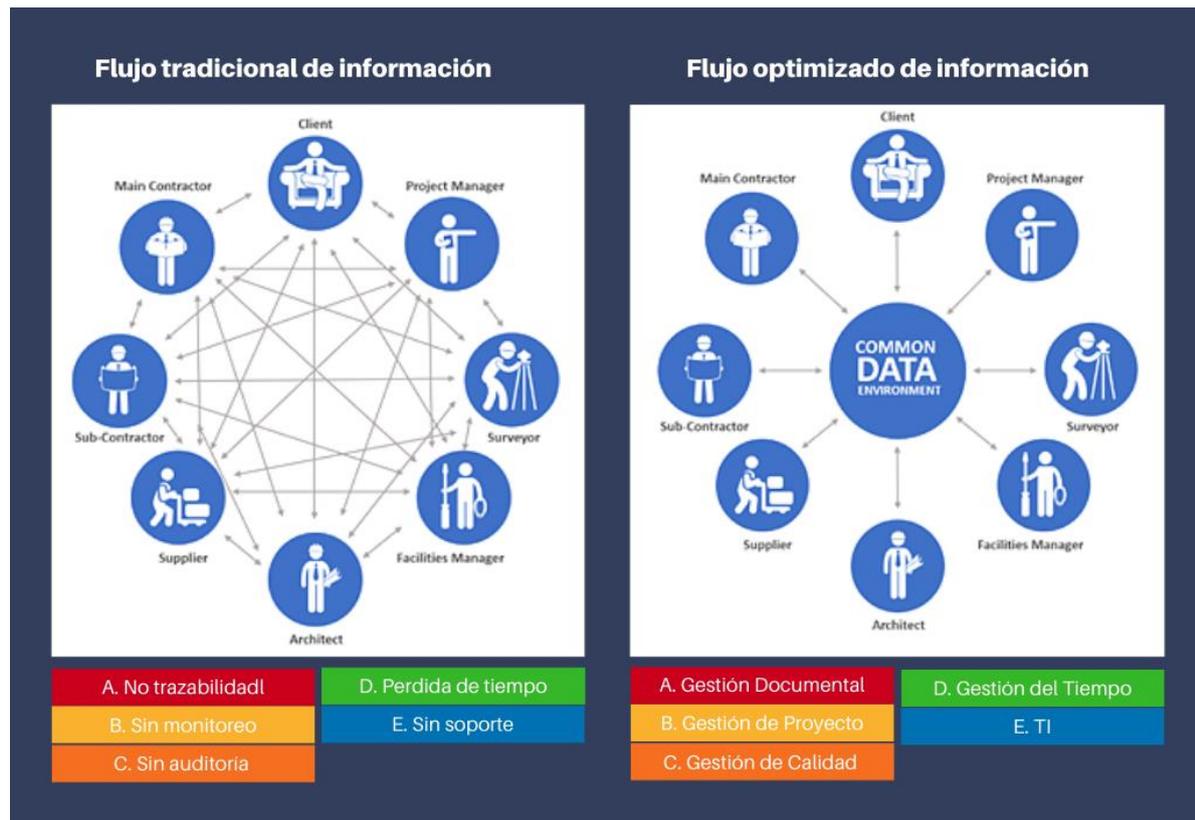
Nota. Funcionalidades y objetivos de un Common Data Environment.

El objetivo principal del CDE es busca organizar y mejorar la comunicación de los involucrados en el proyecto, pasar de un estado de comunicación ineficiente y que no permite tener trazabilidad de la información a un entorno ordenado, seguro y confiable. A medida que la metodología BIM ha ido evolucionando la cantidad de información que se

deben procesar es cada vez mayor y las posibilidades de perderlos o aún peor tomar los datos no correctos vuelve a los proyectos más sensibles a errores catastróficos por tener varias fuentes de datos distintas, el CDE las concentra en una sola fuente de alta confiabilidad.

Figura 3

Fujo de información tradicional vs flujo de información optimizada



Nota. Diferencias entre los estados de desorden y orden de la información, gráficos internos adaptados de CDE Concept [Fotografía] por (Mordue, 2018).

2.2 Documentación requerida para trabajar en un entorno BIM

Toda metodología de trabajo normada requiere de documentos y formatos estandarizados de trabajo que permitan la comunicación formal entre los participantes de un proyecto. A continuación, se definirán los siguientes documentos: Project BIM Brief PBB, Model Element Authoring MEA, Level of Development LOD, BIM Execution Plan BEP, PROJECT BIM BRIEF – PBB (Resumen Ejecutivo BIM).

El resumen BIM del proyecto es una compilación de los requisitos del proyecto o documentación contractual que pueda ser equivalente a la misma, por ejemplo, una especificación técnica, acta de ajuste técnico o definición de alcance de proyecto. El resumen del proyecto BIM debe incluir detalles que permitan al equipo de proyecto evaluar adecuadamente las implicaciones comerciales y de programación que ocasionan los requerimientos BIM de un cliente. Los requerimientos del proyecto deben incluirse en el contrato del proyecto e implementarse a través de un plan de ejecución BIM.

El Project BIM Brief se debe desarrollar en el fase de prediseño, es un documento informativo por su propia naturaleza y por lo general forma parte de una solicitud de propuesta (Request For Proposal). En este documento debe entenderse como cliente, tanto al cliente externo como al cliente interno, esto debido a que en el ecosistema de proyectos actual no únicamente existe el cliente final, sino varios involucrados como subcontratistas y proveedores que también poseen procesos BIM.

Figura 4

Contenido de un PBB

Resumen Ejecutivo BIM	
TABLA DE CONTENIDO	
Revisión	4
Información de Proyecto	4
Cronograma de Proyecto	5
Contactos Principales dentro del Proyecto	6
Metas del Proyecto	7
Requerimientos y Competencias BIM	8
Entorno Común de Datos (CDE)	9
Requerimientos Específicos del Cliente	9
Entregables del Proyecto	10
Documentos de Referencia y Estándares	11

Nota. Adaptado de New Zealand BIM Handbook [Fotografía] por (BIM Acceleration Committee, 2019b) ©Copyright NZ.

Este documento varias veces es absorbido por el documento que regula las operaciones de todos los participantes del proyecto BIM en general como es el BIM

Execution Plan. Se lo puede definir de manera formal como un documento que “presenta al equipo de proyecto los objetivos del cliente, los requisitos de información, los usos de BIM, las razones y el propósito, incluye detalles técnicos y comerciales que deben abordarse durante la implementación de BIM” (BIM Acceleration Committee, 2019b).

2.2.1 Model Element Authoring - MEA (Autoría de Elementos de Modelo)

Este documento se desarrolla para su uso en las diferentes etapas del ciclo de vida de proyecto y enuncia las respectivas entidades, departamentos, áreas o colaboradores responsables de cada elemento en conjunto con su respectivo nivel de desarrollo, forma parte integrante del BEP BIM Execution Plan. El autor del elemento del modelo es el participante del proyecto responsable de desarrollar el modelo de información de la construcción durante el proceso de entrega del proyecto. Los autores de elementos de modelo tienen la tarea de facilitar los usos y objetivos del plan BIM propuesto.

“La entidad (o individuo) responsable de gestionar y coordinar el desarrollo de un modelo específico para el LOD requerido para un hito del proyecto, independientemente de quién sea responsable de proporcionar el contenido en el elemento modelado” (National Institute of Building Sciences, 2013).

2.2.2 Level Of Development – LOD (Niveles de Desarrollo/Detalle)

El LOD es una característica que juega un papel sumamente importante dentro del desarrollo de los elementos necesarios para la obtención de información en un entorno de trabajo BIM, cobran crucial relevancia debido a que al normarlos se puede mejorar el entendimiento entre los involucrados y mejorar la eficiencia en el desarrollo de entregables para cada etapa del ciclo de vida de proyecto. Se lo define formalmente como "una referencia que permite a los profesionales de la industria AEC especificar y articular con un alto nivel de claridad el contenido y la confiabilidad de los modelos de información de construcción (BIM) en varias etapas del proceso de diseño y construcción" (FORO BIM, 2020).

Los niveles de desarrollo se encuentran definidos de manera específica en cuerpos normativos que rigen cada país, más poseen una relación directa con la etapa del ciclo de vida de proyecto en el que se va a aplicar. Los niveles de desarrollo se pueden clasificar, tomando como base la convención establecida por el BIM FORUM (Bedrick et al., 2020, p. 15), en los siguientes grupos:

- **LOD 100.** El elemento del modelo puede estar representado gráficamente en el modelo con un símbolo u otra representación genérica, pero no satisface los requisitos de LOD 200.
- **LOD 200.** El elemento del modelo se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o conjunto genérico con cantidades aproximadas, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica también puede ser adjunta al elemento del modelo.
- **LOD 300.** El elemento se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o ensamblaje especificado por el diseño en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. La información no gráfica también puede ser adjunto al elemento del modelo.
- **LOD 350.** El elemento se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación, orientación e interfaces con otros sistemas de construcción. También se puede adjuntar información no gráfica al elemento del modelo.
- **LOD 400.** El elemento se representa gráficamente dentro del modelo como un sistema, objeto o ensamblaje específico en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación con detalles, fabricación, montaje e información de instalación. También se puede adjuntar información no gráfica al elemento del modelo.

- **LOD 500.** El elemento es una representación verificada en el campo en términos de tamaño, forma, ubicación, cantidad y orientación. Información no gráfica también se puede adjuntar al elemento del modelo. También se lo conoce como modelo As – Built.

Los requerimientos para cada proyecto son únicos, por tal razón es importante comprender que el LOD y su respectivo desarrollo durante el proyecto también puede ser único para cada elemento. No es una regla que todos los elementos deben inicialmente modelarse en LOD 100 y progresar a un LOD más alto. Algunos elementos pueden comenzar en LOD 200, aumentar a LOD 300 y saltar a LOD 500. Mientras que algunos elementos pueden saltar inmediatamente a LOD 500, en dependencia de las necesidades del proyecto y previa verificación, aprobación y declaración en el Plan de Ejecución BIM.

Figura 5

Autoría de Modelos y LOD.

Autoría de Modelos y Niveles de Desarrollo					
MEA DISCIPLINE:				LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD):	REFER TO NEW ZEALAND BIM HANDBOOK FOR DEFINITIONS:
ARCHITECTURE	■	ELECTRICAL	■	100	Conceptual
STRUCTURE	■	CIVIL	■	200	Approximate geometry
HYDRAULIC	■	OTHER	■	300	Design specified system (Precise geometry)
LANDSCAPE	■			350	Specific system (precise geometry) + Interfaces
MECHANICAL	■			400	Fabrication and assembly
FIRE	■			500	Field verified

Aplicación por Fases del Ciclo de Vida de Proyecto													
PROJECT PHASE:	CONCEPT DESIGN		PRELIMINARY DESIGN		DEVELOPED DESIGN		DETAILED DESIGN		CONSTRUCTION		OPERATION		NOTES
MODEL ELEMENT:	MEA	LOD	MEA	LOD	MEA	LOD	MEA	LOD	MEA	LOD	MEA	LOD	
SPATIAL:													
SITE BOUNDARIES, SETBACKS	■	500	■	500	■	500	■	500	■	500	■	500	Field verified obtained through registered site survey. Information includes boundary points, bearings, datum, vegetation and existing services including invert levels.
GRIDS	■	500	■	500	■	500	■	500	■	500	■	500	
LEVELS	■	500	■	500	■	500	■	500	■	500	■	500	

Nota LOD por disciplina referidos a cada etapa de proyecto gráficos internos adaptados de New Zealand BIM Handbook [Fotografía] por (BIM Acceleration Comité, 2019b) ©Copyright NZ.

2.2.3 BIM Execution Plan – BEP (Plan de Ejecución BIM)

El plan de ejecución BIM o BEP es el documento o protocolo que regula la operación de la gestión de proyecto bajo metodología BIM, el BEP define como se planificará, ejecutará y administrará la metodología BIM durante las etapas del ciclo de vida del proyecto. El BEP es un documento vivo como enuncia el BIM Acceleration Committee y debe actualizarse cuando existan cambios en el proyecto, de la misma manera tiene que ser avalado por los contratistas con el objetivo de comunicar de manera adecuada y precisa la intención de diseño y las características que tendrán los entregables en el entorno BIM planificado. Los principales apartados que debe contener un BEP son:

- Información general del proyecto.
- Lista de contactos clave del proyecto.
- Metas por alcanzar en el proyecto.
- Usos BIM que se aplicarán en el proyecto.
- Gestión de manejo y administración de la información de proyecto.
- Gestión de la Colaboración entre los involucrados.
- Entregables de proyecto.
- Control de Calidad.
- MEA y LOD
- Documentación de referencia y estándares del proyecto.

Es importante recalcar que todo proyecto tiene un Gerente de Proyecto que gestiona la ejecución de este y no debe ser confundido con un BIM Manager o Gerente BIM, de igual forma la planificación de proyecto no debe confundirse con la planificación BIM del proyecto, sin embargo, la planificación BIM en conjunto con el BEP son un complemento muy importante para la gestión de ejecución de proyecto que ejecuta la Oficina de Proyectos (PMO). El BEP se desarrolla con base a cuatro elementos principales:

1. Metas BIM.

2. Procesos de ejecución.
3. Desarrollo de protocolos de Intercambio de Información.
4. Infraestructura de soporte para la implementación BIM.

Figura 6

Contenido de un BEP.

Plan de Ejecución BIM	
TABLA DE CONTENIDO	
Revisión	4
Información de Proyecto	4
Cronograma de Proyecto	5
Contactos Principales dentro del Proyecto	6
Responsables de usos BIM	7
Requerimientos BIM específicos del Cliente	9
Usos BIM adicionales a utilizarse por el Equipo de Proyecto	10
Gestión de la información	11
Intercambio de Información	13
Cronograma de Intercambio de Información	15
Sistemas de Coordenadas y Medición	16
Tolerancias y Coordinación de los Modelos	17
Estándares de Modelado	18
Estructura del Modelo	20
Permisos y Accesos	22
Metas del Proyecto	24
Gestión y cronograma de reuniones	25
Entregables del Proyecto	26
Gestión de Calidad	27
Documentos de Referencia y Estándares	28

Nota. Adaptado de New Zealand BIM Handbook [Fotografía] por (BIM Acceleration Committee, 2019b) ©Copyright NZ.

2.3 Definiciones generales

2.3.1 Modelado Paramétrico

El software es una herramienta muy importante dentro del trabajo bajo metodología BIM, dicho software debe poseer capacidades específicas dentro de su arquitectura de programación que permitan a los involucrados del proyecto editar elementos complejos fácilmente sin necesidad de una reconstrucción manual. La información debe ser vinculada por medio de algoritmos en un modelo paramétrico digital estructurado, de modo tal, que

cuando se realicen modificaciones, los componentes se actualicen de manera automática en relación directa con los parámetros especificados

La compañía de desarrollo de software Nemetschek Allplan lo define de una forma muy didáctica, “el modelado paramétrico es un método que no se centra solo en obtener resultados individuales, como con el diseño CAD tradicional, sino que describe todo el proceso de diseño” (Nemetschek Allplan GmbH, 2020). El procedimiento de modelado por lo general inicia creando un boceto en dos dimensiones para a través de variables seguidamente proceder a aplicar restricciones, el boceto 2D se consume luego para crear un elemento 3D y de ser requerida alguna modificación, se la realiza con ayuda de las entidades controladas por las variables obtener el diseño deseado.

Una vez terminado de modelar un componente, el mismo puede ser archivado como una célula paramétrica, lo que permite capturar la lógica de diseño y tener acceso a un componente y su base de datos de forma permanente. Algunos ejemplos de software de modelado paramétrico son: Autodesk REVIT, ArchiCAD de Graphisoft, All Plan de Nemetschek Allplan GmbH, Pro Structure de Bentley Systems. Es fundamental no confundir el modelado 3D con el modelado paramétrico, el modelado 3D incluye datos de geometría, pero no contiene información de las facilidades diseñadas, en cambio el modelado paramétrico permite que la geometría se encuentre vinculada a una base de datos, dándonos la posibilidad de acceder a información técnica y administrativa del proyecto.

2.3.2 Modelos

El modelo es la representación gráfica en dos o tres dimensiones del sistema, conjuntos de elementos o marco conceptual ideado por los diseñadores dentro del espacio computacional, los elementos que integran estos modelos deben reunir preferentemente todas las condiciones establecidas bajo el concepto de modelado paramétrico, pero en dependencia de la necesidad y uso pueden ser también únicamente representaciones geométricas en 2D y 3D. Los modelos son un elemento sustancial para la obtención de datos: cuantificaciones, documentos de construcción, analítica de datos, por tal motivo la

elaboración de estos debe definirse de manera específica y concisa en el MEA, estos modelos pasarán luego a formar parte del modelo multidisciplinario.

2.3.3 Modelo Multidisciplinario

El entorno de trabajo de un proyecto incluye a varios integrantes: diseñadores, proveedores, subcontratistas los cuales pueden generar su propio modelo en el alcance que les corresponde dentro del proyecto. La combinación de estos modelos individuales que dan como resultado un modelo compuesto, es lo que se conoce como modelo multidisciplinario.

El intercambio de información y la compatibilidad e interoperabilidad del formato de archivo deben documentarse en el plan de ejecución de BIM. Esto asegurará que la geometría y / o la información se administren en formatos de archivo compatibles para admitir el intercambio de archivos entre los miembros del proyecto y, en el proceso, un flujo de trabajo fluido. Existen modelos en diferentes formatos. Los modelos federados no están vinculados a un software de creación específico (BIM Acceleration Comitte, 2019b).

La correcta coordinación interdisciplinaria es la parte más complicada dentro del modelo multidisciplinario en especial el control de cambios en los modelos de disciplina individuales. “En proyectos grandes, dividir los modelos de disciplina en varios modelos más pequeños hace que los tamaños de archivo sean más manejables” (BIM Acceleration Comitte, 2019b).

Figura 7

Diagrama de un Modelo Multidisciplinario.



Nota. Esquema de información y datos de un modelo multidisciplinario.

2.3.4 Usos BIM

Los usos BIM se pueden definir como los objetivos para los cuales se quiere utilizar o aplicar la metodología BIM en el proyecto, no son necesariamente los objetivos del proyecto, por ejemplo, un objetivo del proyecto puede ser terminar los trabajos de pintura interior en el nivel +450 para la semana 20 y un uso BIM puede ser cuantificar la cantidad de pintura interior a utilizarse en el nivel +450. Un uso BIM puede definirse también como “un método para aplicar el modelado de información de construcción durante el ciclo de vida de una instalación para lograr uno o más objetivos específicos”(Kreider & Messner, 2013).

Los usos BIM poseen propósitos y características, el propósito indica el objetivo de la implementación de ese uso BIM y las características en cambio definen el uso BIM con base a atributos o propiedades del proyecto. Los propósitos y objetivos para implementar un

uso BIM, se dividen en cinco categorías principales y 18 subcategorías. La categorización la realiza la Universidad de Penn en su área de Construcción Integrada por Computador (Computer Integrated Construction – CIC), misma que se encarga de realizar investigaciones en el área de aplicación BIM en proyectos reales.

Tabla 1

Componentes de Usos BIM.

USOS BIM				
Propósitos			Características	
Adquirir	Generar	Analizar	Elemento de la Facilidad	Fase de la Facilidad
Comunicar		Realizar	Disciplina	Nivel de Desarrollo

Nota. Subdivisión de los Usos BIM en Propósitos y Características.

Tabla 2

Propósitos de los Usos BIM.

Primario	Adquirir		Generar		Analizar		Comunicar		Realizar	
Secundario	Calidad	Monitoreo	Prescribir	Tamaño	Coordinar	Predecir	Visualizar	Dibujar	Fabricar	Ensamblar
	Captura	Cantidad	Arreglo		Validar		Transformar	Documentar	Controlar	Regular

Nota. Adaptado de The Uses of BIM (Kreider & Messner, 2013).

Para poder tener una implementación BIM exitosa, es de fundamental importancia tener en cuenta toda la vida útil de la facilidad, el equipo de trabajo debe entender e incluir todos los criterios de las partes involucradas en el entorno de trabajo BIM. El equipo de planificación debe considerar “cómo los propietarios de la facilidad van a utilizar BIM primero y entonces trabajar de manera inversa a través de la construcción, a través del diseño y hacia la planificación” (Kreider & Messner, 2013).

Tabla 3

Usos BIM propósitos y objetivos.

	BIM Propósito de uso	BIM Objetivo de uso	Sinónimos
01	Recolectar	Recolectar u organizar la información de la facilidad	Administrar, recolectar, gestionar, adquirir
01	Capturar	Representar o preservar el estado actual de la facilidad y sus elementos	Recolectar

02	Cuantificar	Medir la cantidad de elementos en la facilidad	Cuantificar, cubicar
03	Monitorear	Recolectar información relacionada al desempeño de los elementos y sistemas de la facilidad	Observar, medir
04	Calificar	Caracterizar o identificar el estatus de los elementos de la facilidad	Seguir, rastrear, identificar
02	Generar	Crear o dar autoría a la información de la facilidad	Crear, autor, modelo
01	Prescribir	Determinar la necesidad de elementos específicos de la facilidad	Programar, especificar
02	Arreglar	Determinar la ubicación y lugar de los elementos de la facilidad	Configurar, planta, localización, sitio
03	Tamaño	Determinar la magnitud y escala de los elementos de la facilidad	Escala, ingeniería
03	Analizar	Analizar los elementos de la facilidad para ganar un mejor entendimiento de ellos.	Examinar, evaluar
01	Coordinar	Asegurar la eficiencia y armonía entre las relaciones de los elementos de la facilidad	Detectar, evitar
02	Predecir	Predecir el desempeño futuro de la facilidad y los elementos de la facilidad	Simular, predecir
03	Evaluar	Comprobar o probar la exactitud de la información de la facilidad y que esta sea lógica y razonable	Chequear, confirmar
04	Comunicar	Presentar la información de la facilidad en un método que permita el intercambio	Intercambio
01	Visualizar	Formar una representación realística de la facilidad y sus elementos	Revisar
02	Transformar	Modificar la información y transmitirla de manera que pueda ser recibida por otro proceso	Traducir
03	Dibujar	Realizar una representación simbólica de la facilidad y sus elementos	Dibujar, anotar, detallar

04	Documentar	Crear un registro de la información de la facilidad, incluyendo la información necesaria para especificar sus elementos	Especificar, transmitir, secuenciar, reportar
05	Realizar	Realizar un control del elemento físico utilizando la información de la facilidad	Implementar, desarrollar, ejecutar
01	Fabricar	Utilizar la información de la facilidad para la fabricación de los elementos	Manufactura
02	Ensamblar	Utilizar la información de la facilidad para enlazar los elementos que están separados	Prefabricar
03	Controlar	Utilizar la información de la facilidad para manipular físicamente el equipamiento	Manipular
04	Regular	Utilizar la información de la facilidad para informar sobre la operación de los elementos	Directo

Nota. Adaptado de (Kreider & Messner, 2013)

2.3.5 Definición de la metodología BIM

Se revisará a continuación algunos de los conceptos de BIM establecidos por entes regulatorios de varios países. La definición establecida por el comité de regulación y estándares británico conceptualiza BIM como una metodología de gestión de proyectos y no únicamente se enfoca en la optimización de los procesos de diseño.

BIM es la gestión de la información durante todo el ciclo de vida de un activo construido, desde el diseño inicial hasta la construcción, el mantenimiento y finalmente la puesta fuera de servicio, mediante el uso del modelado digital. Se trata de colaboración: entre ingenieros, propietarios, arquitectos y contratistas en un entorno de construcción virtual tridimensional (entorno común de datos) (British Standards Institution, 2019).

El comité Neozelandés, en cambio realiza un énfasis profundo en la gestión de la información y como esta agrega valor a cada uno de los procesos que involucra la gestión

de proyecto, cabe recalcar que este país es uno de los que más invierte en el desarrollo de metodología BIM a nivel mundial.

BIM es un conjunto coordinado de procesos, apoyados por la tecnología, que agregan valor a través del intercambio de información estructurada para edificios y activos de infraestructura ... BIM es el intercambio de información estructurada (BIM Acceleration Comitte, 2019b).

El Instituto Nacional de Ciencias de la Edificación de Estados Unidos va un paso más allá al integrar los procesos de negocios de las organizaciones que utilizan la metodología BIM, queda claro que a mayor madurez en los procesos de implementación y con el apareamiento de marcos regulatorios, la metodología de BIM se convierte en un Modelo de Gestión, no únicamente de proyectos de ingeniería y construcción sino que también incluye a todos los procesos y entidades que forman parte de esta industria.

BIM es un término que representa tres funciones separadas pero vinculadas: Modelado de información de construcción: es un PROCESO DE NEGOCIO para generar y aprovechar los datos de construcción para diseñar, construir y operar el edificio durante su ciclo de vida. BIM permite que todas las partes interesadas tengan acceso a la misma información al mismo tiempo mediante la interoperabilidad entre plataformas tecnológicas. Modelo de Información de Edificación: Es la REPRESENTACIÓN DIGITAL de las características físicas y funcionales de una instalación. Como tal, sirve como un recurso de conocimiento compartido de la información sobre una instalación, formando una base confiable para las decisiones durante su ciclo de vida desde el inicio en adelante. Gestión de la información del edificio: es la ORGANIZACIÓN Y EL CONTROL del proceso empresarial mediante la utilización de la información en el prototipo digital para realizar el intercambio de información durante todo el ciclo de vida de un activo. Los beneficios incluyen comunicación visual y centralizada, exploración temprana de opciones, sustentabilidad, diseño eficiente, integración de disciplinas, control del sitio,

documentación construida, etc.– desarrollar de manera efectiva un proceso y modelo del ciclo de vida de los activos desde la concepción hasta el retiro final de la facilidad (National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance, 2015).

Con base a las definiciones precedentes podemos llegar a establecer que la metodología BIM provee la capacidad para gestionar proyectos, de manera eficiente, coordinada y segura; toma en consideración el impacto ambiental y permite la toma de decisiones con base en información real y controlada que es suministrada a un modelo 3D de manera permanente, brinda un mejor entendimiento del ciclo de vida del proyecto y agrega valor a cada uno de los procesos requeridos para la ejecución del mismo.

BIM es en resumidas cuentas una metodología de Gestión de Proyectos basada en un modelado 3D inteligente.

Figura 8

BIM como Modelo de Gestión.



Nota. Requerimientos que debe cumplir un modelo de gestión BIM.

2.4 Roles y funciones

A continuación, se definirá la estructura organizacional que debe poseer un entorno de trabajo para proyectos BIM, cabe recalcar el hecho que la existencia de varios roles no implica que deba existir un número de colaboradores igual o mayor al número de roles establecidos. Si bien el modelo de gestión BIM busca la especialización de los integrantes del equipo, “pasando de un estado de desorden a un estado de orden” no es un limitante un número de colaboradores menor al número de roles establecidos, debido a que un colaborador podría (no es lo óptimo) participar en varios roles dentro del entorno de trabajo BIM.

El único limitante radica en las competencias necesarias que deben reunir los integrantes de un equipo de trabajo BIM, dichas competencias son un factor esencial en la tasa de éxito o fracaso durante la ejecución de un proyecto BIM. Si bien el equipo de trabajo que formara el equipo BIM pasara por una transferencia de conocimientos específica es importante recalcar que se requieren cierto tipo de perfiles que les permita desempeñar sus roles con eficacia y eficiencia.

2.4.1 *BIM Manager (Gerente BM)*

Es un cargo de gestión que por lo general es ocupado por un profesional que posee amplia experiencia de trabajo en aplicación de la metodología BIM en proyectos de construcción, montaje e infraestructura. “Los gerentes BIM son responsables de satisfacer los objetivos del proyecto en lo que respecta a los usos BIM, la información y BIM.” (BIM Acceleration Comité, 2019b). En proyectos de gran magnitud o cuando la compañía está iniciando su implementación este rol suele ser compartido o subcontratado con un consultor externo. Las principales responsabilidades de este rol incluyen:

- Generación del Resumen Ejecutivo BIM.
- Generación del BEP para cada proyecto.
- Comunicación a Gerente de Proyecto y Directivos del estado de avance del proyecto.

- Control y monitoreo de ejecución del BEP durante el proyecto.
- Control y monitoreo del equipo de modeladores y BIM Leads.
- Coordinación con Tecnología de la Información de la configuración inicial y correcto funcionamiento CDE.
- Participación en las reuniones multidisciplinarias.
- Coordinación con la Gerencia Técnica en caso de requerirse cambios.
- Generación de estándares de información y requerimientos para contratistas externos.
- Ejecución del control de interferencias.
- Coordinación de modelos multidisciplinarios
- Generación de indicadores de cumplimiento de proyecto según lo establecido en el BEP.
- Apoyar al cliente y al proyecto para garantizar que se cumplan los requisitos BIM y se logren los objetivos del proyecto relacionados con BIM.

2.4.2 BIM Lead (Líder BIM)

Rol de gestión que se desempeña con base a cada disciplina o sistema que se desarrollara durante la ejecución del proyecto: arquitectura, ingeniería civil, HVAC, ingeniería sanitaria, etc. El BIM Lead es quien lidera el grupo de diseñadores que están a cargo de realizar el modelado de los elementos y facilidades del proyecto. Las principales responsabilidades de este rol incluyen:

- Participar en la realización de BEP en la disciplina que está a su cargo.
- Verificar la validez técnica de los modelos antes de emitirlos. Sea para aprobaciones el análisis de interferencias.
- Verificar que los modelos cumplen con los parámetros de MEA y LOD establecidos en el BEP
- Realizar verificaciones de modelos en coordinación con las otras disciplinas.

- En caso de encontrar problemas en los modelos coordinar la corrección de los mismos. Incluye la coordinación de ser necesaria con las otras disciplinas.
- Realizar análisis de interferencias en sus sistemas locales como parte del control de los modelos.
- Controlar el versionamiento de los modelos.
- Controlar que se mantengan los requerimientos del CDE dentro de su disciplina.
- Presentar informe de lecciones aprendidas a BIM Manager después de finalizada cada etapa o fase del proyecto.
- Notificar al BIM Manager en caso de existir problemas de desempeño de aplicativos.

2.4.3 Model Element Author (Creador de elementos – Modelador)

Rol relacionado específicamente a la creación de contenido BIM (modelos y elementos) para cada disciplina requerida: arquitectura, ingeniería civil, HVAC, sistema sanitario, etc., es además quien se encarga de facilitar la visión adecuada para el planteamiento de que tipo usos BIM se utilizarán y que tipo de metas BIM se establecerán, al ser quien mayor conocimiento operativo posee de las herramientas de software y tiempos de ejecución de tareas en entornos de trabajo BIM. Las principales responsabilidades de este rol incluyen:

- Especificar los LOD para el BEP.
- Desarrollar los modelos paramétricos requeridos para la disciplina en la que se desempeña.
- Crear y/o aplicar las plantillas de proyecto.
- Configurar los aplicativos con base a los requerimientos del proyecto establecidos en el BEP.
- Generar los listados de materiales.
- Generar los documentos de construcción.

- Comunicar problemas a los participantes del proyecto.

Todos los roles especificados en este apartado son los mínimos requeridos para el trabajo bajo un modelo de gestión BIM dentro de una compañía. Estos roles requieren de una inducción y nivelación de conocimientos previo el inicio de sus respectivas funciones, la generación de dicho plan de capacitación y proceso de inducción se encuentran bajo la responsabilidad del BIM Manager y debe realizarse preferentemente con los recursos propios de cada organización.

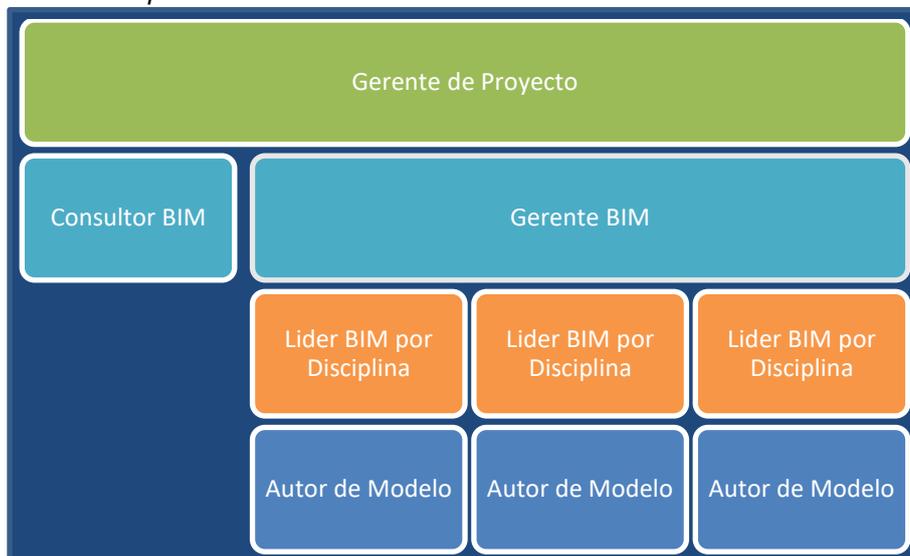
Es también una práctica habitual la coordinación con consultores externos de los procesos de actualización de conocimientos, mismos que se ejecutan con periodicidad semestral o anual en tópicos relacionados a actualizaciones de software de modelado paramétrico o en programas de educación continua en el modelo de gestión implementado, en ciertas ocasiones se coordinan también los procesos de inducción con los consultores externos con el fin de optimizar el tiempo de los recursos propios en caso de alta demanda de ejecución de proyectos.

Dentro de estos roles no se toman en cuenta roles relacionados a la gestión de proyectos habitual de la compañía, dichos roles se asumen como ya existentes dentro de la estructura organizacional de la mismo o dentro de su oficina de gestión de proyectos (PMO) y están orientados a los procesos de gestión documental, área de gestión de cronograma, gestión de la información y área financiera. Estos roles son:

- Gerente de Proyectos
- Control de Proyectos
- Control de Documentos
- Departamento de Tecnologías de Información
- Control de Presupuestos.

Figura 9

Roles Principales en un entorno BIM.



Nota Adaptado de Key Personnel and BIM Roles [Fotografía] por (BIM Acceleration Comitte, 2019b)© Copyright NZ.

2.5 Metodología de la investigación

Con el objetivo de poder establecer el alcance de la guía metodológica es necesario realizar una investigación que nos permita establecer los parámetros principales con base a los cuales se realizara la misma. El proceso de investigación se resume en el siguiente grafico para una mejor comprensión del procedimiento efectuado.

Figura 10

Flujo de trabajo del proceso de investigación.



Nota Flujo de trabajo del proceso de investigación.

2.5.1 Definición de Objetivos

En esta etapa se requiere establecer qué resultados se pretenden conseguir con la investigación, es una de las etapas más importantes del proceso ya que aquí se define la estrategia a seguir. En el caso del presente estudio se definen como objetivos:

- Determinar los principales usos BIM en el contexto del mercado de la construcción en el Ecuador.
- Determinar la necesidad del establecimiento de un marco de trabajo normado para la utilización de un modelo de gestión BIM para la construcción en el Ecuador.
- Conocer el estado de implementación, uso y aplicación de la metodología BIM en el mercado de la construcción en el Ecuador.
- Establecer una correlación de uso de metodología BIM entre entidades públicas y privadas.

2.5.2 Diseño de la Investigación

Se define como tipo de investigación a utilizarse un tipo de investigación concluyente descriptiva, que tiene como “principal objetivo la descripción de algo, por lo regular características o funciones del mercado” (Malhotra, 2008, p. 82). Parte importante de este tipo de investigación es la posibilidad de utilizar encuestas como una técnica para recopilar información. La pandemia del COVID – 19 a obligado a que muchas de nuestras actividades rutinarias se vean modificadas y no se puedan aplicar todos los instrumentos habituales para recolección de información como podrían ser entrevistas u observación.

Con base a los factores externos enunciados se selecciona también un diseño transversal simple “donde se extrae una muestra de encuestados de la población meta y se obtiene información de esta muestra una sola vez” (Malhotra, 2008, p. 84). En el contexto actual de pandemia las prioridades dentro de las compañías han cambiado, este hecho

sumado a la reducción de personal dentro de las mismas obliga a establecer instrumentos de recolección de información adecuados y lo más precisos posibles.

2.5.3 Recopilación de Información

Para definir la técnica de muestreo es muy importante entender la población a la cual se aplicará dicha técnica. El estudio se realizará sobre un nicho específico de constructoras de prestigio que dominan la industria de construcción ecuatoriana, a nivel de tecnología y captación de mercado. Este segmento definido permite que en la presente investigación se utilice un muestreo no probabilístico por juicio; si bien este se fundamenta en el juicio personal del investigador para seleccionar a los elementos de la muestra, las muestras no probabilísticas pueden dar muy buenas estimaciones de las características de la población.

2.5.4 Técnica de Investigación por Aplicarse - Encuestas

Según (Hair et al., 2015) la encuesta es una técnica de investigación que permite recolectar datos en formatos de preguntas y respuestas. (p. 222) Los métodos de investigación por encuesta son uno de los principales métodos de investigación y están por lo general asociados a investigaciones descriptivas y causales. Se selecciono como método de aplicación de la encuesta el formato electrónico a través del servicio pago Survey Monkey, siendo esta la mejor opción de obtención de datos debido a que no se mantiene contacto con los encuestados, permitiendo el cumplimiento de las políticas de bioseguridad que son requeridas en la actualidad.

El diseño de la encuesta toma como consideración los objetivos establecidos por la investigación de manera inicial y consta de 15 preguntas de selección múltiple con orientación a la obtención de información dividida en 4 ejes: Datos Generales de Contexto, Datos sobre Conocimiento BIM, Herramientas y Protocolos BIM y Motivación para la Implementación. La encuesta toma como base el formato de encuestas realizadas por instituciones como: El Banco Interamericano de Desarrollo, Plan BIM de Chile y el Reporte NBS de Reino Unido.

2.5.5 Análisis de Datos

Al tratarse de datos cualitativos, el análisis de los mismos será inductivo “las categorías temas y pautas que señalan los analista en sus informes preceden de los datos, y no se definen antes de recolectarlos como en los análisis cuantitativos” (Hair et al., 2015, p. 197). Debido a la aplicación del método inductivo se debe aplicar una teoría fundamentada; un modelo de gestión es la aplicación de ciertos axiomas que damos por verdaderos debido a los resultados experimentales que encontramos expresados en las buenas prácticas de la industria donde dicho modelo de gestión se desarrolla.

Se procederá entonces como primer paso a pulir los datos recibidos con el fin de no tener sesgos en los resultados generales, el proceso de depuración de datos será el siguiente:

- Filtrar encuestas completadas al 100%
- Verificar que se cumplan los criterios del público objetivo
- Verificar el tiempo promedio de culminación de la encuesta
- Verificar respuestas sin sentido en preguntas abiertas.

Terminado el proceso de depuración de datos se aplicarán reglas de filtrado y comparación que nos permitirá tener referencias cruzadas para establecer relaciones y tendencias entre los encuestados, en el caso de la presente investigación, las encuestas serán aplicadas a actores relacionados con la construcción, el diseño y la ingeniería. El método de comparación se puede aplicar debido a que en las empresas constructoras existen procedimientos de trabajo normados, lo que nos permite a través de este análisis identificar las tendencias objetivo de la investigación.

2.5.6 Presentación de Resultados

La aplicación del método analítico nos permitirá tener un diagnostico situacional de la implementación BIM en la industria de la construcción y dividir la guía en secciones relacionadas y correspondientes a los resultados de la investigación: usos BIM a utilizarse, transferencia de conocimientos y proceso de implementación. Los datos analizados serán

presentados en forma de gráficas y tablas de datos estadísticos etiquetados para facilitar la comprensión lectora, de la misma manera se rotularán los filtros y comparaciones aplicadas entre preguntas del cuestionario.

Capítulo tres

Análisis de datos y propuesta de guía metodológica

3.1 Análisis de datos

En este apartado se procederá a presentar los datos tabulados del instrumento aplicado (Encuesta) con el objetivo de poder establecer los principales Usos BIM que aplican las empresas relacionadas con el rubro de la construcción en el Ecuador, comprender también cuan amplio es el uso de la gestión de proyectos con base a metodología BIM y cuáles son los principales factores que impiden de cierta manera su aplicación.

3.1.1 *Problema de Investigación*

Se establece como problema de investigación principal, la comprensión del estado de implementación BIM, cual es el ámbito de aplicación y la necesidad de poseer un marco regulatorio.

3.1.2 *Técnica de Recolección de Datos*

Para poseer un marco de referencia óptimo se realizó una encuesta estándar de selección múltiple dividida en cuatro ejes temáticos: Datos generales de contexto, Datos sobre conocimiento BIM, Herramientas y protocolos BIM y Motivación para la implementación. La encuesta está basada en varias encuestas de estado BIM de gran relevancia y que dieron excelentes resultados cuando fueron aplicadas como son: Encuesta de Relevamiento BIM Chile, Encuesta BIM LATAM del Banco Interamericano de Desarrollo y la Encuesta BIM del Centro Nacional de Estandarización de Reino Unido.

3.1.3 *Enfoque del Problema*

Para la realización de una guía didáctica es sumamente importante comprender su ámbito de aplicación, de tal forma que se pueda ser lo más específico posible en su elaboración. Al ser la guía orientada al giro de negocio de la construcción y sus dependientes, la técnica se aplicó a representantes de 20 empresas privadas y 10 públicas que de manera general cubren las etapas de diseño, procura, construcción y montaje, fiscalización y administración de contratos. El perfil de los encuestados cubre roles que

poseen las características generales de: ingeniero de proyecto, coordinador de proyectos y administrador de contratos. Se conserva la confidencialidad de los encuestados con el objetivo de que las respuestas tengan el menor sesgo posible de la realidad de cada empresa.

3.1.4 Tipos de Análisis

Para la recolección y tabulación de resultados se utiliza la herramienta Survey Monkey que nos permite establecer relaciones cruzadas entre las preguntas de mayor relevancia para esta investigación, además de la aplicación de filtros, parámetros de comparación y gráficos que permiten una comprensión clara de los resultados obtenidos.

Los parámetros de filtración nos permiten desglosar los resultados de la encuesta y poder tener un enfoque específico en cierto tipo de datos. Los parámetros de comparación nos dan la opción de elegir dos o más opciones de respuestas de una sola pregunta y observar los resultados como una comparación paralela. El uso de estos parámetros es fiable debido a que el público objetivo se relaciona entre e interactúa entre si durante la ejecución de proyectos y pertenecen al mismo rubro de trabajo (poseen características similares). Giro de negocio de Construcción.

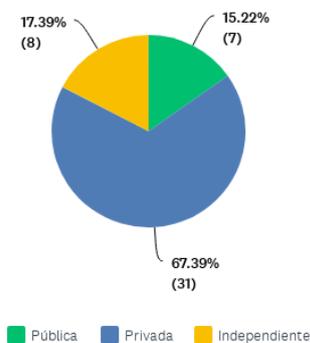
3.2 Resultados

3.2.1 Perfil de las empresas relevadas

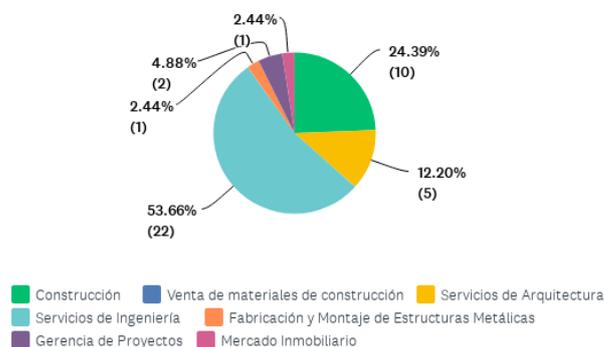
La muestra conforma un 15,22% de empresas públicas, 67,39% de empresas privadas y un 17,39% de profesionales independientes que perdieron su contrato fijo con las empresas donde laboraban, pero aún continúan prestando servicios profesionales con las mismas. En cuanto a su especialidad un 53,66% se dedica a prestar servicios de ingeniería, 24,39% se dedica a la construcción, 12,20% a servicios de arquitectura y en porcentajes menores a otras áreas como la gerencia de proyectos, fabricación y montaje de estructuras metálica y ventas de materiales de construcción.

Figura 11*Tipo de empresa.*

P1 ¿En qué tipo de empresa trabaja?

**Figura 12***Giro de negocio específico.*

P2 ¿A qué se dedica la empresa en la que trabaja?



3.2.2 Usos de BIM más utilizados

Los principales usos BIM reportados por los encuestados se encuentran dentro de los esperados, debido a que son beneficios palpables de manera directa a través de las capacidades ofrecidas por el modelado paramétrico. Así podemos encontrar a la visualización del diseño como el uso BIM más utilizado con un 75,61%, la generación de documentos constructivos con un 51,6% y la cuantificación y presupuesto con un 48,78%. La mayor utilización de estos usos se puede fundamentar en el hecho que son un producto directo que se obtiene de manera automática a través del software de modelado paramétrico.

Tabla 4*Usos BIM más populares.*

OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS
Visualización durante el diseño.	75,61 %
Generación de documentación de construcción (planos, detalles, informes, etc.)	51,22 %
Cuantificación y presupuesto.	48,78 %
Control de avance de obra.	12,20 %
Análisis de interferencias.	39,02 %
Simulación de construcción.	21,95 %
Control de documentos.	17,07 %
Obtención de imágenes fotorrealistas.	14,63 %
Análisis estructural.	26,83 %
Análisis energético.	2,44 %

Nota. En esta tabla se observa los usos BIM más utilizados, varios usos BIM son utilizados a la vez.

El tipo de proyecto en el cual se utiliza la metodología BIM es un factor importante que va de la mano con los usos BIM que más utilizados. Si se toma en cuenta que, por citar un ejemplo, los proyectos urbanísticos requieren de mayor capacidad de visualización durante el desarrollo del diseño que los proyectos industriales, donde se utiliza más el análisis de interferencias o proyectos de diseño de infraestructura civil en los cuales el análisis estructural y la simulación de construcción son bastante comunes.

Tabla 5*Tipos de proyectos en los que se utiliza la metodología BIM.*

OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS
Residenciales	37,50 %
Oficinas	22,50 %
Industriales	52,50 %
Salud	7,50 %
Arquitectura	27,50 %
Obra Civil	35,00 %
Cadena de producción	7,50 %
Puentes	7,50 %

Nota. En esta tabla se clasifica los tipos de proyecto de manera general.

Se realiza una comparación cruzada, como parte del análisis para determinar cómo se relacionan los usos BIM con el tipo de proyecto que se ejecuta, se puede notar que los usos BIM van surgiendo con base a las necesidades propias de cada proyecto.

Tabla 6

Comparación entre Usos BIM y Tipos de Proyectos.

	RESIDENCIAL	OFICINAS	SALUD	ARQUITECTURA
Visualización durante el diseño.	43,33 %	26,67 %	10,00 %	26,67 %
Generación de documentación de construcción (planos, detalles, informes, etc.).	47,62 %	23,81 %	9,52 %	38,10 %
Cuantificación y presupuesto.	55,00 %	30,00 %	10,00 %	25,00 %
Control de avance de obra.	40,00 %	40,00 %	40,00 %	40,00 %
Análisis de interferencias.	50,00 %	25,00 %	12,50 %	12,50 %
Simulación de construcción.	33,33 %	22,22 %	22,22 %	22,22 %
Control de documentos.	42,86 %	28,57 %	28,57 %	28,57 %
Obtención de imágenes fotorrealistas.	0,00 %	33,33 %	16,67 %	0,00 %
Análisis estructural.	45,45 %	45,45 %	18,18 %	27,27 %
Análisis energético.	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Operación y mantenimiento de la facilidad.	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %

Nota. En esta tabla se observa proyectos urbanísticos y de edificación vs usos BIM.

Se confirma que en los proyectos relacionados a urbanismo, arquitectura y edificaciones los usos BIM más utilizados son: visualización durante el diseño, generación de documentación de construcción, cuantificación y presupuesto, análisis estructural. El hecho de que en este tipo de proyectos se requiera interactuar de manera visual con el cliente final, sumado a que se debe conservar el concepto arquitectónico mientras se desarrolla la ingeniería y la atención a los detalles implica un alto grado de colaboración a la vez de cambios constantes, la automatización de cuantificaciones, planos cobra por tal motivo una gran relevancia.

Tabla 7

Comparación entre usos BIM y Tipos de Proyecto.

	OBRA CIVIL	CADENA DE PRODUCCIÓN	PUNTES	INDUSTRIAL
Visualización durante el diseño	30,00 %	10,00 %	10,00 %	63,33 %
Generación de documentación de construcción (planos, detalles, informes, etc.)	33,33 %	14,29 %	9,52 %	57,14 %
Cuantificación y presupuesto	45,00 %	10,00 %	10,00 %	65,00 %
Control de avance de obra	80,00 %	20,00 %	20,00 %	40,00 %
Análisis de interferencias	37,50 %	6,25 %	6,25 %	75,00 %
Simulación de construcción	44,44 %	11,11 %	11,11 %	66,67 %
Control de documentos	57,14 %	14,29 %	14,29 %	57,14 %
Obtención de imágenes fotorrealistas	16,67 %	0,00 %	0,00 %	83,33 %
Análisis estructural	36,36 %	9,09 %	18,18 %	81,82 %
Análisis energético	0,00 %	0,00 %	0,00 %	100,00 %
Operación y mantenimiento de la facilidad	100,00 %	0,00 %	0,00 %	100,00 %

Nota. En esta tabla se observa proyectos de infraestructura vs usos BIM.

Lo opuesto sucede en los proyectos de infraestructura que requieren de mayor gestión de riesgos, en este caso se observa que los usos BIM más relevantes son: control de avance de obra, análisis de interferencias y control de documentos. Esto se puede relacionar a los procesos de gestión de calidad que poseen este tipo de proyectos, el alto grado de detalle requerido durante la construcción y lo importantes que son los documentos constructivos no únicamente para la ejecución de la obra sino también para el mantenimiento y la operación.

3.2.3 Desafíos de los usuarios

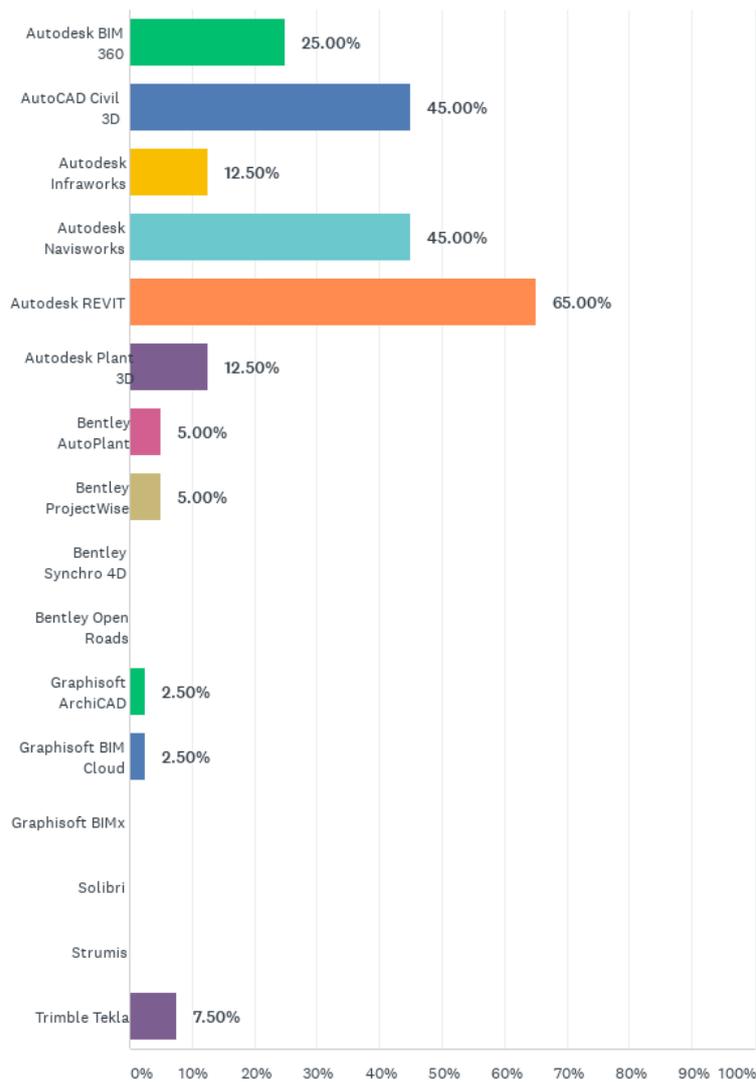
El modelado paramétrico es el fundamento principal para el ingreso de datos en un entorno de trabajo BIM, las herramientas más utilizadas, son también las más populares comercialmente. Autodesk Inc., posee el conjunto de herramientas más utilizadas debido principalmente a que poseen capacidad de comunicarse de manera sencilla entre ellas y a

su gigantesca base instalada de AutoCAD, seguido de Bentley Software, Tekla Systems muy popular entre los ingenieros estructurales y finalmente Graphisoft.

Figura 13

Tipos de Herramientas de Modelado.

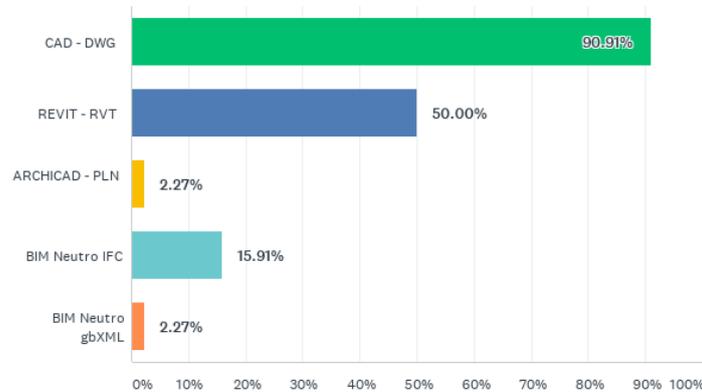
P7 ¿Qué tipo de herramientas BIM utiliza dentro de su entorno?



Nota. Todos los usuarios ocupan varias herramientas durante el desarrollo del proyecto.

Figura 14*Formatos de Intercambio de Información.*

P8 ¿Que tipo de formatos utiliza para intercambiar información?

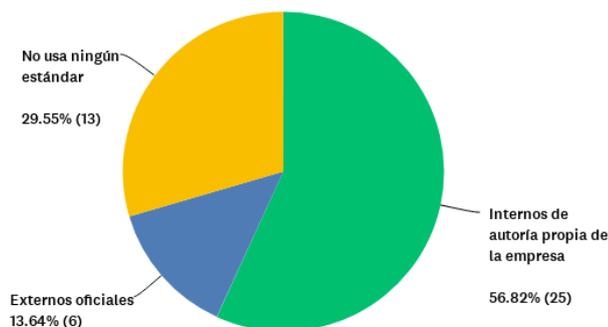


El hecho de trabajar con herramientas de modelado genera un problema adicional que vemos plasmado en la gran variedad de formatos de archivo que se producen, lo que dificulta de sobremanera la transferencia e integridad de la información, y confirma la necesidad de incorporar un CDE al entorno de trabajo BIM. El alto porcentaje de uso CAD - DWG en el 90.91% de los casos está relacionado a la generación de documentos de construcción en 2D y se observa solo un 15,91% de utilización de archivos IFC o de comunicación neutra.

El inconveniente de los tipos de formatos arriba enunciado y la baja utilización de un archivo de transferencia neutro de información (IFC), nos lleva a suponer que la única manera de realizar un trabajo colaborativo eficiente es establecer estándares o marcos regulatorios que, permitan trabajar a los usuarios finales de una forma ordenada. Estos estándares son en su mayoría de elaboración propia de la compañía y son los más comunes con un 56,82%, la utilización de estándares internacionales implica un conocimiento más profundo de la metodología BIM y por eso ocupa solo el 13,64%, el 29,55% no utiliza ningún estándar por lo que se asume que únicamente aprovechan las bondades del modelado paramétrico.

Figura 15*Uso de algún marco regulatorio BIM.*

P9 ¿Que tipo de estándares utiliza?

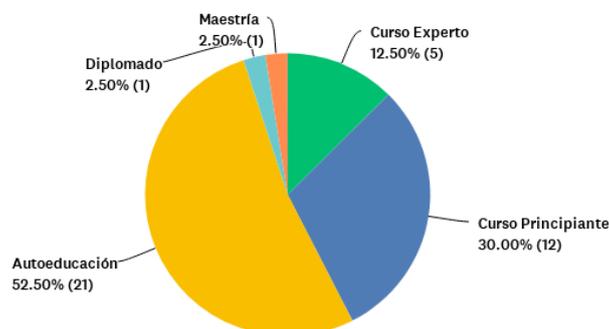


3.2.4 Educación en Metodología BIM

La correlación entre la Figura 15 y la formación recibida en esta metodología es clara, el 52,50% se auto educa y con base a esa autoeducación crean las regulaciones internas de la empresa para trabajar en BIM. El 17,50% ha recibido formación formal lo que también concuerda con el uso de regulaciones oficiales.

Figura 16*Formación en BIM.*

P11 ¿Ha recibido formación BIM?



El alto porcentaje de interés en la educación BIM debería también reflejar un alto interés en la implementación de esta metodología. Se observa que la gran mayoría de

empresas ven en la metodología BIM una oportunidad de mejora con un 80%, lo que se correlaciona con las necesidades de instrucción y explica el porqué del alto porcentaje de auto educación que se encontró en la presente investigación. Este resultado también es un indicador de la no existencia de oferta en el país de oferta académica de este tipo.

Figura 17

Causas para la Implementación BIM.

P12 La empresa donde trabaja ha implementado o piensa implementar BIM debido a



La percepción de uso de la metodología BIM es un indicador que confirma la necesidad no solo de tener una oferta académica formal en el área BIM sino también permite suponer la necesidad de poseer un marco regulatorio local que permita a todos los integrantes de la industria de la construcción trabajar de forma organizada y eficiente. La percepción de que la metodología BIM tendrá un uso mayor en un futuro cercano es del 52,27% y que su uso será masivo del 36,36%, tan solo un 2,27% considera que es una moda que pasara y de ende se dejara de aplicar este tipo de metodología.

Tabla 8

Percepción de uso de la Metodología BIM en el futuro.

OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS
Mucho mayor que en la actualidad	36,36 %
Mayor que en la actualidad	52,27 %
Igual que en la actualidad	2,27 %
Menor que en la actualidad	2,27 %
No usaré BIM a menos que sea un requerimiento contractual	6,82 %

Respecto al marco normativo la gran mayoría 54,55% considera que se requiere una normativa ecuatoriana que permita regular el uso de BIM, el 38,64% indica que se debería desarrollar al menos un manual o reglamento básico que permita normar los tipos de documentos y procedimientos generales de trabajo. Solo el 6,82% piensa que no se requiere ningún marco regulatorio cifra que coincide de manera exacta con los encuestados que solo utilizarían BIM de caso de que sea un requerimiento contractual de la Tabla 8.

Tabla 9

Sobre el Marco Regulatorio BIM.

OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS
Se requiere un normativa BIM para Ecuador	54,55 %
Se debería tener un marco estandarizado de trabajo para Ecuador BIM Handbook	38,64 %
No es necesaria una normativa	6,82 %

Para que entender el porqué de los resultados con porcentajes tan altos de aceptación, requerimientos de educación y deseo de implementación BIM (como parte de los procesos de mejora continua) en las empresas de la industria de la construcción en Ecuador, es importante entender los beneficios que obtienen estas compañías en sus proyectos cuando utilizan la metodología BIM. Entre los principales beneficios observamos: la optimización de tiempos de emisión de documentos, predicción de problemas de campo, mejor manejo de presupuesto, una mejor planificación que da como resultado una optimización de los tiempos de ejecución de proyecto. Beneficios que impactan directamente en la capacidad de crecimiento y mejora de calidad empresarial.

Tabla 10*Beneficios obtenidos con la Metodología BIM.*

OPCIONES DE RESPUESTA	RESPUESTAS
Reducción de tiempos en la emisión de documentación.	66,67 %
Reducción de conflictos en construcción	69,23 %
Optimización de los presupuestos	43,59 %
Reducción del tiempo de construcción	25,64 %
Optimización de la planificación del proyecto	41,03 %
Mejora en la satisfacción del cliente	51,28 %
Capacidad de administrar más proyectos	25,64 %

El ecosistema de la construcción se encuentra migrando desde los flujos de trabajos tradicionales CAD hacia la gestión moderna de la información de proyecto, convirtiéndose este en un factor que incrementa la complejidad de la gestión de la información que, sumado al gran número de formatos de uso diario, da como resultado la necesidad de poseer algún tipo de reglamentación o estándar que facilite el uso y comunicación entre las disciplinas y las compañías, no menos importante es también suplir la necesidad de educación formal en esta metodología. En el futuro mediato (se consultó a los encuestados en un periodo de tiempo de 12 a 24 meses) la utilización de BIM será mucho mayor que en la actualidad, percepción que se justifica en los beneficios operativos que los encuestados han experimentado.

Capítulo cuatro

Guía metodológica para la implementación de un modelo de gestión BIM

4.1 Introducción

Esta guía metodológica tiene como base dos estándares probados y que se encuentran en uso en países con un nivel de madurez BIM 2: el BIM Handbook v3.1 de Nueva Zelanda y la NBIMS v3 de los Estados Unidos. La guía toma como referencia los resultados de la investigación realizada tomando en cuenta los problemas presentados dentro de un entorno de trabajo BIM como son: los usos BIM principales, la organización de la información, la comunicación y el trabajo colaborativo dentro de un marco regulador.

La aplicación de metodología BIM lleva consigo un sinnúmero de estrictos procedimientos, mismos que deben ser adaptados a la necesidad de cada compañía constructora, por tal motivo la guía tiene como objetivo principal el poder servir como instrumento de consulta a los gestores de procesos BIM en las compañías constructoras para implementar modelos de gestión con base a metodología BIM. La guía incluye procedimientos generales que se han seleccionado como resultado del proceso de investigación realizado a compañías constructoras que tienen varios años de experiencia y reconocimiento en la industria de la construcción en el Ecuador.

4.1.1 Propósito de la Guía

La guía tiene como objetivo cumplir con los siguientes propósitos:

- Facilitar el entendimiento de cada uno de los formatos a utilizarse durante la implementación de BIM para la construcción.
- Crear un lenguaje estándar entre los actores de la industria de la construcción
- Socializar estos procedimientos con los participantes del ecosistema de construcción: proveedores, contratistas
- Entender de manera didáctica la importancia de administrar los datos que se obtienen del modelado 3D paramétrico y la correcta aplicación en los procesos constructivos.

- Traducir a un lenguaje comprensible para la industria ecuatoriana los procesos que involucran el trabajo con metodología BIM.

4.1.2 Beneficios de la Implementación BIM

La guía está pensada para su aplicación en una amplia gama de proyectos de construcción, en la siguiente tabla se pueden observar los beneficios de las implementaciones BIM según el tipo de proyecto. Como se puede notar los beneficios concuerdan con los resultados de la investigación tanto a nivel de edificaciones como a nivel de infraestructura civil.

Tabla 11

Beneficios y Usos BIM Primarios por tipo de Proyecto.

Tipo de Proyecto	Beneficios tangibles	Oportunidades BIM Claves	Usos BIM Primarios
Residencial - vivienda	<ul style="list-style-type: none"> • Mercadeo más eficiente direccionado a los posibles compradores y a los comercializadores de bienes raíces • Procesos de Prefabricación más eficientes 	<ul style="list-style-type: none"> • Proveer a los potenciales dueños de una vista virtual de toda la facilidad, incluyendo modelos preliminares 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisión de diseños • Trazabilidad de información.
Comercial – Oficinas	<ul style="list-style-type: none"> • Presentar a inversores y propietarios imágenes vividas de los desarrollos propuestos • Reducir los cambios en diseño y en fases constructivas 	<ul style="list-style-type: none"> • La colaboración dará como resultado diseños coordinados • Producir modelos para análisis y gestión de costos 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimación de costos • Revisión de diseños • Trazabilidad de información • Análisis de ingeniería • Análisis estructural

		<ul style="list-style-type: none"> Lograr la inclusión de tomadores de decisión e inversores a medida que el diseño avanza 	<ul style="list-style-type: none"> Coordinación 3D
Instituciones – Salud, Transporte	<ul style="list-style-type: none"> Incentivar la participación de actores no técnicos Mejorar el diseño y la eficiencia al momento de construir Reducir la cantidad de cambios inesperados debido a la complejidad propia de este tipo de facilidades. 	<ul style="list-style-type: none"> La colaboración dará como resultado diseños coordinados Producir modelos para análisis y gestión de costos Lograr la inclusión de tomadores de decisión e inversores a medida que el diseño avanza Actualizar los modelos con información no grafica durante la construcción (datos) Mantener actualizada sobre los cambio a la administración 	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de diseños Trazabilidad de información Análisis de ingeniería Análisis estructural Coordinación 3D Autoría de diseños
Infraestructura – carreteras,	<ul style="list-style-type: none"> Incentivar la participación de 	<ul style="list-style-type: none"> La colaboración 	<ul style="list-style-type: none"> Revisión de diseños

redes de alcantarillado	actores no técnicos <ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el diseño y la eficiencia al momento de construir • Reducir la cantidad de cambios inesperados debido a la complejidad propia de este tipo de facilidades. • Obtener modelos de información para soporte al mantenimiento de redes • Ligar datos operacionales para monitorear las características actuales vs las planeadas 	dará como resultado diseños coordinados <ul style="list-style-type: none"> • Producir modelos para análisis y gestión de costos • Lograr la inclusión de tomadores de decisión e inversores a medida que el diseño avanza • Actualizar los modelos con información no grafica durante la construcción (datos) Mantener actualizada sobre los cambio a la administración	<ul style="list-style-type: none"> • Trazabilidad de información • Análisis de ingeniería • Análisis estructural • Coordinación 3D • Autoría de diseños
--------------------------------	---	--	--

Nota Adaptado de Key Personnel and BIM Roles [Fotografía] por (New et al., 2016)

4.2 Normativas de referencia

Una guía didáctica requiere de un soporte normativo comprobado sobre el cual fundamentarse, al Ecuador no poseer un marco regulatorio propio se ha escogido una serie de regulaciones probadas y en operación en países con una madurez BIM comprobada y que operan a nivel público y privado con esta metodología. El marco normativo utilizado para el desarrollo de la presente guía se detalla a continuación.

National BIM Standard - United States® Version 3. Normativa BIM estadounidense cuyo enfoque principal es proporcionar estándares para facilitar de manera eficiente la gestión del ciclo de vida de un entorno de construcción, se logra este objetivo a

través de prescribir elementos y mecanismos efectivos y repetibles en la creación, el intercambio y la gestión de datos del modelado de información de construcción (BIM). Este estándar pone especial énfasis en la gestión de proyecto con fundamentación Project Management Institute (PMI) por tal motivo es uno de los marcos normativos más completos y de amplia aplicación en todos los estamentos públicos y privados de Estados Unidos, es un marco normativo pensado en proyectos de gran magnitud. (BIM Acceleration Committee, 2019b, p. 4)

Estos elementos y mecanismos incluyen referencias estándares de tecnología, sistemas de clasificación y especificaciones de conformidad; estándares de intercambio de información que describen procesos y requisitos de intercambio para tareas específicas durante diferentes partes del del ciclo de vida construcción; y estándares que describan procesos y flujos de trabajo para el modelado de datos, gestión, comunicación, ejecución y entrega de proyectos, e incluso especificaciones contractuales(BIM Acceleration Committee, 2019a, p. 2)

Project BIM Execution Plan New Zealand Version 3. El plan de ejecución de proyecto BIM es un plan detallado que define como el proyecto será ejecutado, monitoreado y organizado. (buildingSMART alliance, 2015a). El BEP se ha modificado en detalles específicos de tal forma que pueda aplicarse a nuestra industria. La integridad del BEP se mantiene en sus requerimientos y características generales.

Level of Development (LOD) Specification Part I & Commentary, Part II. BIM Forum Abril 2019. Norma que establece el nivel de desarrollo (LOD) de los objetos BIM que se modelan, en dependencia de las necesidades y etapa en la que se encuentra el proyecto. El LOD facilita la comunicación no únicamente definiendo lo que debe incluir el modelo o elemento, una parte sumamente importante para no sobrecargar de información los modelos, sino que permite también que la comunicación sea más eficiente entre las disciplinas.

NZ-BIM-Handbook-Appendix+Ei-Project-BIM-brief. El resumen ejecutivo del proyecto, documento de utilización obligatoria con el fin de poder definir las principales características del proyecto, los roles requeridos, metas, alcance, y características del entorno común de datos. Este documento se convierte en una forma resumida de acta de constitución del proyecto en un entorno BIM.

AEC UK BIM Technology Protocol v 2.1.1 Junio 2015. Protocolo que define un marco de acción para uso BIM en Reino Unido y su interacción con la comunidad internacional; para uso de metodologías BIM de manera independiente en los proyectos.

Industry Foundation Classes IFC 4.1.0.0. Las Industry Foundation Classes, IFC, son un estándar internacional abierto para los datos del Modelo de información de construcción (BIM) que se intercambian y comparten entre las aplicaciones de software utilizadas por los diversos participantes en el sector de la industria de gestión de instalaciones o construcción. El estándar incluye definiciones que cubren los datos requeridos para las facilidades durante su ciclo de vida. Esta versión, y las próximas versiones, amplían el alcance para incluir definiciones de datos para los activos de infraestructura también durante su ciclo de vida (BIM Acceleration Comité, 2019a, p. 2)

4.3 Etapas de implementación de un modelo de gestión BIM

La implementación de una metodología de trabajo nueva requiere de etapas o fases de implementación bien definidas, mismas que deben recolectar información para personalizar la aplicación de la metodología establecida o preparar a los colaboradores para poder afrontar posibles problemas una vez puesta en operación. Estas fases deben ser cumplidas a cabalidad y sin omisión de alguna de ellas para incrementar la tasa de éxito esperada dentro de la organización. Se han definido las siguientes fases de implementación:

1. Análisis Situacional de la Organización.
2. Capacitación Personalizada en Software y Conceptualización de la Metodología BIM.
3. Ejecución de un Proyecto Piloto.

4. Definición de un Plan de Soporte Técnico Especializado.

4.3.1 Fase 1. Análisis situacional de la organización

La primera fase de implementación tiene como objetivo principal evaluar el estado actual de la organización en la que se va a implementar un modelo de gestión de proyectos bajo metodología BIM. El análisis se concentra en la forma de trabajo actual de la empresa, entender los procedimientos actuales de trabajo, optimizarlos cuando se requiera o crear procedimientos complementarios en beneficio de la organización, tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Estado organizacional: misión, visión, objetivos empresariales.
- Metas BIM: objetivos que se quieren llegar a cumplir con la Implementación BIM.
- Herramientas de diseño y modelación paramétrica actuales, incluyendo software de gestión documental.
- Evaluación diagnóstica de conocimientos BIM, CAD y de modelado paramétrico, necesaria para establecer un correcto alcance durante la transferencia de conocimientos (Fase 2).
- Revisión y comprensión de los procesos de diseño, documentación, ingeniería (cuantificación, entregables, procesos de revisión y aprobación).
- Revisión y comprensión de los procesos organizacionales y principales flujos de trabajo actuales.
- Definición preliminar de Usos BIM a ser utilizados.
- Revisión de la infraestructura de Tecnología de Información existente.

4.3.2 Fase 1. Entregables

Luego de haber finalizado el análisis situacional de la organización, se obtienen una gran cantidad de datos que deben ser analizados y organizados en un formato tipo reporte. El reporte permite tener una carta guía preliminar sobre cómo se va a implementar la metodología BIM dentro de la organización, este documento es un documento vivo que va

a ir sufriendo actualizaciones a medida que se van ajustando procesos y protocolos con el equipo de trabajo, durante las siguientes fases de implementación. El reporte debe incluir los siguientes apartados:

- Metas BIM: a donde se desea llegar con la optimización propuesta.
- Herramientas de diseño y modelación paramétrica actuales, incluyendo software de gestión documental.
- Habilidades actuales del equipo de trabajo.
- Habilidades requeridas del equipo de trabajo.
- Herramientas de diseño y modelación paramétrica recomendadas.
- Selección del posible Entorno Común de Datos.
- Plan de capacitación con base a los requerimientos de la organización.
- Mapas de procesos a implementarse durante la ejecución de proyectos BIM.
- Modelos planeados durante la ejecución de Proyectos BIM.
- BEP Preliminar.
- Recomendaciones para la optimización de la infraestructura de Tecnología de Información existente.

4.3.3 Fase 2. Capacitación personalizada en software y conceptualización de la metodología BIM (Transferencia de conocimientos)

Culminada la fase 1 con el reporte de estado situacional que permite establecer claramente las necesidades y objetivos de la organización; se debe proceder con la transferencia de conocimientos o capacitación al personal designado en cada una de las herramientas de diseño y modelación paramétrica, es importante incluir capacitación en conceptualización de administración de proyectos bajo metodología BIM. Esta etapa de transferencia de conocimientos es sumamente importante y debe ejecutarse a medida de las necesidades de cada organización, debido a que la implementación de la metodología BIM debe personalizarse según los requerimientos de la organización de forma tal que estos

conocimientos se apliquen a los proyectos que la empresa tenga planificados, siempre con base a los nuevos procesos establecidos.

No debe crearse planes de transferencia de conocimiento generales, estos siempre deben ser personalizados y fundamentados en los proyectos que ejecuta cada organización.

4.3.4 Fase 3. Ejecución de un proyecto piloto

Completadas las fases 1 y 2 la organización se encuentra ya en capacidad de aplicar los conocimientos adquiridos en proyectos reales, pero la implementación de cualquier modelo de gestión de proyectos dentro de una organización debe pasar por una etapa de prueba y ajuste, ese es el objetivo de la fase 3.

En la fase 3 se desarrolla un proyecto piloto aplicando la metodología y procesos definidos en la etapa 1 de la implementación, se busca durante la ejecución del proyecto piloto resolver todos los problemas o dificultades que se puedan presentar durante su aplicación real, pero en un ambiente controlado. La importancia de esta fase de cara a la operación de la organización bajo este modelo de gestión de proyectos es muy alta, principalmente por las lecciones aprendidas que deja en el equipo de trabajo y a que el resultado de la misma son protocolos, procedimientos y flujos de trabajo ya ajustados para la operación de la organización. Las características que debe poseer el proyecto piloto son las siguientes:

- Seleccionar un proyecto real de complejidad media y que sea de habitual para la organización.
- Establecer el organigrama estructural para el entorno BIM y su interacción con la Gerencia de Proyecto y Gerencias Funcionales.
- Establecer los Usos BIM a utilizarse.
- Configurar el Entorno Común de Datos.
- Generar un BEP completo para el proyecto.

- Con base a los Usos BIM establecidos, generar el listado de entregables se deben establecer al menos: cuantificación, documentos de construcción y análisis de interferencias.
- Establecer medidores de los objetivos planteados en el BEP.
- El proyecto no debe extenderse más allá de 3 semanas.
- El proyecto debe ejecutarse con todas las características habituales: Kick-Off Meeting, reuniones de avance, reuniones interdisciplinarias y demás actividades habituales de la gestión de proyectos.

4.3.5 Definición de un plan de soporte técnico especializado.

Una vez culminada la fase 3 se tiene una metodología implementada y ajustada para la organización, pero con el incremento de información debido al modelado paramétrico y a la implementación de un entorno de datos común, surgen nuevos retos que deben ser afrontados por la organización a nivel operativo y que deben ser atendidos de manera oportuna para no causar retrasos en las actividades cotidianas, entre los principales problemas que se pueden encontrar se pueden enumerar los siguientes:

- Administración de bibliotecas de modelos, familias y elementos.
- Administración del entorno común de datos.
- Generación excesiva de revisiones de documentos en los sistemas automatizados.
- Cuantificaciones automáticas inexactas.
- Incompatibilidad de ciertos modelos debido a la extensión de archivo.
- Modificaciones en los flujos de revisión y aprobación automatizados.
- Actualizaciones de los paquetes informáticos.
- Administración de respaldos en la biblioteca de proyectos.

Con la finalidad de afrontar estos retos relacionados al trabajo colaborativo en un entorno de trabajo BIM, es altamente recomendable contar con un equipo de soporte que

pueda resolver estos inconvenientes de manera oportuna. La no resolución pronta de estos inconvenientes puede llevar a que los modelos tengan un margen de error alto, las cuantificaciones erróneas impacten directamente en el cálculo de presupuestos y los proyectos sufran serios retrasos o problemas mayores durante las etapas de diseño y construcción.

Una práctica muy utilizada en el Ecuador es la subcontratación de este servicio con proveedores certificados en servicios BIM, debido principalmente a que se elimina una carga de horas hombre de trabajo difícil de predecir para el equipo BIM de la organización y se tiene un alto grado de eficiencia y rapidez en la resolución de problemas.

4.4 Usos BIM específicos para la etapa de construcción

4.4.1 Generación de Presupuestos

La generación de presupuestos se la realiza principalmente a través de hojas de cálculo o software específico de presupuesto, pero siempre se requiere como dato de entrada principal la cuantificación generada por el modelo paramétrico. Para cumplir con el objetivo de generar una cuantificación correcta, siempre se debe de tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Generar en concordancia con el BEP una plantilla general en la herramienta de modelado paramétrico.
- Establecer los campos requeridos para las tablas de planificación en acuerdo con la Gerencia Técnica y el Departamento de Presupuestos.
- Generar en concordancia con el MEA las familias o elementos paramétricos a utilizarse en la herramienta de modelado paramétrico respectiva.
- Pasar por un proceso de revisión y aprobación del BIM LEAD de los tipos de familias o elementos a utilizarse con base a los requerimientos del MEA y del BEP.
- Generar parámetros adicionales si se requiere para ser utilizados en las tablas de planificación.

- Aprobar e incluir dentro del BEP como un anexo las tablas de planificación aprobadas para uso, así como el formato de exportación.

Figura 18

Pasos para generar presupuestos en un entorno BIM.



4.4.2 Análisis de Interferencias

El análisis de interferencias o choques se lo define como las intersecciones solidas que existen entre los sistemas que integran la facilidad, los mismos deben ser analizados bajo criterios de constructibilidad debido principalmente a que muchas de estas interferencias son de rápida solución en campo y no requieren de la actualización de planos o rediseño de los sistemas involucrados, otras interferencias por el contrario requerirán de revisión o rediseño de los sistemas y será necesario aplicar criterios de ingeniería y afectación incluyendo a otros sistemas asociados con el problema encontrado. Para realizar

el análisis de interferencias es indispensable cumplir con ciertos parámetros de obligatorio cumplimiento:

- Poseer modelos paramétricos emitidos oficialmente, para conservar la trazabilidad de la información.
- Definir los sistemas en los que se ejecutaran los análisis.
- Definir las tolerancias para cada análisis
- Filtrar las interferencias con base a los criterios de análisis: falsos positivos, duplicados, rediseño, resolución en campo, y demás criterios que sean establecidos con antelación o que disponga la compañía.
- Agrupar las interferencias que requieren solución.
- Asignar las interferencias a quien se encargara de su resolución.
- Establecer prioridades de resolución de las interferencias
- Emitir un informe de interferencia para aprobación.

Los parámetros, protocolos y priorización de interferencias arriba enunciados son una guía general, los mismos deben personalizarse y detallarse en dependencia de cada proyectos en que se aplicaran y en relación con los requerimientos de la organización que los va a utilizar.

4.4.3 Definición de prioridades para interferencias

4.4.3.1 Interferencias Duras y Suaves “Hard and Soft Interferences”. Es de suma importancia definir las diferencias entre estos dos tipos de interferencias y entender la utilidad de cada una de ellas. Un choque duro ocurre cuando dos objetos chocan físicamente o se atraviesan, como por ejemplo una viga de acero que cruza un conducto mecánico en cambio un choque blando ocurre cuando un objeto interfiere con la zona de separación definida de otro objeto, es decir no choca físicamente con algo, pero si ocupa un espacio que debe estar libre para su uso, sea por criterios de diseño o seguridad. Se recomienda por lo general “implementar zonas de separación (zonas libres) para garantizar la accesibilidad. Considere el mantenimiento y la seguridad de la instalación como parte del proceso de detección de interferencias” (BIM Acceleration Committee, 2019a, p. 2).

4.4.3.2 Definición de prioridad para interferencias. A medida que se desarrolla el proyecto y en conjunto con el desarrollo del BEP, el equipo de proyecto debe definir y ajustar ciertas reglas de prioridad para las interferencias encontradas, si bien se recomienda que el BIM Manager sea el responsable de realizar dicho análisis, se requiere la colaboración permanente del BIM Lead y del equipo de ingeniería (de requerirse) para poder llegar a una conclusión objetiva de dicho análisis. A continuación, tomaremos un ejemplo del protocolo de interferencias del BIM Acceleration Committee de Nueva Zelanda:

Consideraciones de prioridad de choque:

- Disciplina del modelo.
- Tipo / categoría de componente.
- Orientación de intersección (paralela o cruzada).
- Tamaño de componente.
- Estado de construcción (propuesto / existente).
- Secuencia de construcción y ruta crítica.

Los ejemplos de problemas de alta prioridad incluyen:

- Componentes duplicados.
- Componentes uno dentro del otro

- Intersecciones con puertas, ventanas, columnas y vigas.
- Orientación de intersección (paralela o cruzada).

Ejemplos de problemas de baja prioridad:

- Cruce entre tuberías pequeñas.
- Paredes divisorias contra losas arquitectónicas.
- Tubos que penetran las paredes divisorias, donde las penetraciones no han sido modeladas.

Típicamente, los objetos fijos más grandes son más difíciles de mover o ajustar que los componentes más pequeños. Una regla general simple: cuanto más grande (p. Ej., Torre de enfriamiento) o más permanente (p. Ej., Cimentación) sea el objeto, mayor es su derecho de paso en un escenario de choque, algunos objetos más pequeños pueden tener derecho de paso sobre otros (p. Ej., ubicaciones de rociadores del sistema contra incendios vs bandejas de cables), ya que entran en juego otras restricciones, como las regulaciones de construcción.

La guía presentada resume el proceso de implementación con sus respectivos requerimientos de ejecución, la importancia de especificar los usos BIM a utilizarse haciendo énfasis en el correcto modelado paramétrico, el procedimiento adecuado para la obtención de cuantificaciones correctas y los pasos a seguir para poder realizar un análisis de interferencias coherente, análisis sumamente importante previo a la construcción de la facilidad teniendo en cuenta un elemento muy importante como la seguridad industrial. Si bien la guía es general, la misma permite regular los procesos de implementación BIM para que estos lleguen a feliz término, como se planteó en el presente trabajo de titulación.

Conclusiones

Dado el carácter de este trabajo de titulación se ha realizado una importante labor de síntesis del concepto de metodología BIM para el sector de la construcción en el Ecuador. Se ha echado un vistazo internacional a países como Reino Unido, Nueva Zelanda y Estados Unidos los cuales poseen marcos de trabajo BIM estandarizados y que son utilizados como primera referencia para construir la guía didáctica propuesta en el presente trabajo de titulación, los marcos regulatorios especificados se complementan con un estudio realizado a compañías constructoras ecuatorianas lo que permite establecer parámetros adecuados a nuestra región.

La investigación literaria realizada en conjunto con el conocimiento adquirido a lo largo del máster, la investigación efectuada en compañías constructoras de renombre en el país, así como con base al conocimiento y experiencia del autor de este trabajo de titulación brindan la confianza de que la guía didáctica propuesta será de amplia utilidad para los gestores de proyectos y servirá como punto de partida para que otros autores puedan desarrollar más a detalle secciones específicas de la misma o complementarla con apartados que se relacionen a otras etapas del ciclo de vida de un proyecto de construcción.

Por último, se ha propuesto que la guía tenga fases de aplicación con base a los elementos principales que caracterizan a la metodología BIM, con el objetivo de que la implementación por parte de los interesados sea ordenada y sencilla, teniendo en cuenta la importancia de los nuevos flujos de trabajo, la relación directa de la metodología BIM con el software y hardware requerido, la necesidad de definir nuevos roles, responsabilidades, tareas, la importancia de la formación del equipo de trabajo a través de un programa de transferencia de conocimientos personalizado y lo imprescindible de la implementación de un entorno común de datos (CDE) para la gestión de la información. Con base a lo enunciado se pueden establecer las siguientes conclusiones:

Es indispensable realizar un diagnóstico organizacional antes de iniciar una implementación BIM en una compañía constructora. El alto nivel de personalización que

requiere el modelo de gestión de proyectos bajo metodología BIM obliga a conocer el estado presente de la compañía y sus proyectos para poder optimizar procedimientos, protocolos, entorno tecnológico y estructura organizacional.

Es indispensable establecer documentación de proyecto para la administración del trabajo en un entorno BIM. El trabajo con modelos 3D, la variedad de formatos de archivos y la gestión de la comunicación, exigen documentos específicos para la correcta gestión del proyecto. Los mínimos requeridos son: BEP, MEA y un protocolo de intercambio de información.

La transferencia de conocimiento es fundamental para el éxito de una implementación BIM, la misma debe adaptarse a las necesidades de la compañía que se encuentra en proceso de implementación.

La administración de grandes cantidades de información obliga a que los entornos BIM sean operados bajo la gobernanza de un entorno común de datos (CDE) que administre los procesos de: gestión documental, gestión de comunicaciones, flujos de aprobación y emisión de documentos.

La metodología BIM está siendo ampliamente utilizada en la industria de la construcción, pero no cuenta con un marco regulatorio general, lo cual hace que cada compañía desarrolle su marco normativo interno.

Es necesaria la generación de un marco normativo ecuatoriano que permita regular el uso y aplicación de la metodología BIM.

Por último, cabe recalcar la importancia de ejecutar un proyecto piloto durante la etapa de implementación. El proyecto piloto permite ajustar protocolos, procedimientos, software, hardware, sistemas automatizados de gestión y enfrentar al equipo BIM a situaciones de operación del día a día, permitiendo así ajustar el modelo de gestión de manera eficiente.

Recomendaciones

El trabajo de titulación engloba de manera general el modelo de gestión de proyectos de construcción bajo metodología BIM, su aplicación e implementación. La aplicación de esta metodología, si bien se enmarca en protocolos y procedimientos estandarizados, requiere del desarrollo de elementos específicos que se alineen a la forma de trabajo que se utiliza en cada país. Es fundamental poder generar trabajos de investigación complementarios en los siguientes campos y herramientas que son de común utilización en los entornos de trabajo BIM.

Generación de estándares LOD (niveles de desarrollo) para diseño e ingeniería con base a normativas técnicas ecuatorianas.

Estudio de relevamiento de utilización de metodología BIM en el Ecuador.

Desarrollo de una herramienta de medición de nivel de madurez BIM para Ecuador.

Propuesta de revisión y aprobación de proyectos en entidades colaboradoras con base a modelos BIM multidisciplinarios para la obtención de permisos municipales.

Análisis de viabilidad y aplicación de la normativa ISO 19650 en el Ecuador.

Desarrollo de una guía metodológica de gestión BIM para proyectos de minería en el Ecuador.

Desarrollo de una guía metodológica para la implementación de metodología BIM en Pequeñas y Medianas Empresas en el Ecuador.

Aplicabilidad de soluciones Building Information Modeling (BIM) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para proyectos de recuperación ambiental en el Ecuador.

Aplicabilidad de soluciones Building Information Modeling (BIM) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la gestión de riesgos en el Ecuador.

Referencias

- Acevedo, A., & Lopez, A. (2007). *El Proceso de la Entrevista*. Editorial Limusa.
- Alexander, C. (1973). *Notes on the Synthesis of Form*.
https://monoskop.org/images/f/ff/Alexander_Christopher_Notes_on_the_Synthesis_of_Form.pdf
- Arráiz, I., Henríquez, F., & Stucchi, R. (2011). *Impact of the Chilean Supplier Development Program on the performance of SME and their large firm customers Impact of the Chilean Supplier Development Program on the performance of SME and their large firm customers **.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2018). *BIM: El futuro está en la construcción inteligente - Moviliblog*. Blog Transporte. <https://blogs.iadb.org/transporte/es/bim-el-futuro-esta-en-la-construccion-inteligente/>
- Bedrick, J., Reinhardt, J., & Ikerd, W. (2020). *LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION PART I & COMMENTARY LOD Spec 2020 Part I For Building Information Models Level of Development Specification*. www.bimforum.org/lo
- BIM Acceleration Committee. (2019a). *Appendix I Model Coordination* (Vol. 9).
- BIM Acceleration Committee. (2019b). *The New Zealand BIM Handbook*. In *The New Zealand BIM Handbook* (Vol. 5).
- British Standards Institution. (2019). *BIM - Building Information Modelling - ISO 19650 | BSI*. <https://www.bsigroup.com/en-GB/iso-19650-BIM/>
- buildingSMART alliance. (2015a). *Nbims-Us-3: 2.2 - Ifc. National BIM Standard - United States - Version 3, Idm, 2*.
- buildingSMART alliance. (2015b). *NBIMS-US-3: 5.9 - The uses of BIM. National BIM Standard - United States - Version 3, October 2013, 12*.
- Eastman, C., Fisher, D., Lafue, G., Lividini, J., Stoker, D., & Yessios, C. (1974). *An Outline of the Building Description System*. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED113833.pdf>

- Engelbart, D. C. (1962). *Augmenting Human Intellect: A Conceptual Framework*.
https://www.dougenelbart.org/pubs/papers/scanned/Doug_Engelbart-AugmentingHumanIntellect.pdf
- ESRI. (2019). *GIS and BIM Integration Leads to Smart Communities*.
<https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/gis-and-bim-integration-leads-to-smart-communities/>
- Hage, K., Stoschek, U., So, K., Walters, P., Hughes, C., Carlock Jr, B., Beausoleil, L.-A., & Santos, J. (2020). *Real Estate 2020 Building the future*. www.pwc.com/realestate
- Hair, J., Bush, R., & Ortinau, D. (2015). *Investigación de Mercados en un Ambiente Digital* (4ta ed., Vol. 3, Issue 2). Mc Graw Hill. <http://repositorio.unan.edu.ni/2986/1/5624.pdf>
- JB Knowledge. (2016). *Construction Technology Report*.
- Kim, I., Choi, J., Teo, E. A. L., & Sun, H. (2020). Development of kbim e-submission prototypical system for the openbim-based building permit framework. *Journal of Civil Engineering and Management*, 26(8), 744–756.
<https://doi.org/10.3846/jcem.2020.13756>
- Kreider, R. G., & Messner, J. I. (2013). *The Uses of BIM Classifying and Selecting BIM Uses*. <http://bim.psu.edu>.
- Liu, H., Song, J., & Wang, G. (2020). Development of a tool for measuring building information modeling (BIM) user satisfaction – method selection, scale development and case study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(9), 2409–2427. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2019-0448>
- Liu, Z., Lu, Y., Shen, M., & Peh, L. C. (2020). Transition from building information modeling (BIM) to integrated digital delivery (IDD) in sustainable building management: A knowledge discovery approach based review. In *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125223>
- Lu, K., Jiang, X., Yu, J., Tam, V. W. Y., & Skitmore, M. (2021). Integration of life cycle assessment and life cycle cost using building information modeling: A critical review.

- In *Journal of Cleaner Production* (Vol. 285). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125438>
- Malhotra, N. K. (2008). *Investigación de Mercados* (Quinta). Pearson Educacion.
- Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leicht, R., Saluja, C., Zikic, N., & Bhawani, S. (2021). *Appendix B-12: Model Use: Review Design Model(s)*. Computer Integrated Construction Program, Penn State.
- Mordue, S. (2018). *Implementation of a Common Data Environment. The Benefits, Challenges & Considerations*.
- National Institute of Building Sciences. (2013). *National BIM Standard-United States® Version 3.2 Reference Standards 2.7 Level of Development Specification 2013 2.7.1 Scope-Business Case Description*.
- National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance. (2015). NBIMS-US-3: 3 - Terms and definitions. In *National BIM Standard - United States - Version 3*.
- Nemetschek Allplan GmbH. (2020). *Modelado BIM paramétrico: eficiencia en los procesos de planificación*. <https://blog.allplan.com/es/modelado-bim-parametrico-eficiencia-en-los-procesos-de-planificacion>
- New, T. H. E., Bim, Z., To, A. G., Bim, E., & Building, O. N. (2016). *Appendix B BIM Uses across NZCIC phases BIM uses across NZCIC phases*. 5(November), 1–2.
- Olanrewaju, O. I., Chileshe, N., Babarinde, S. A., & Sandanayake, M. (2020). Investigating the barriers to building information modeling (BIM) implementation within the Nigerian construction industry. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(10), 2931–2958. <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2020-0042>
- Project Management Institute. (2017). *GUIA DEL PMBOK SEXTA EDICION* (Sexta). Project Management Institute.
- Samimpay, R., & Saghatforoush, E. (2020). Benefits of Implementing Building Information Modeling (BIM) in Infrastructure Projects. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 10(2), 123–140. <https://doi.org/10.2478/jepm-2020-0015>

The American Institute of Architects. (2013). *Project Building Information Modeling Protocol Form G202 - 2013*.

The Standish Group International. (2015). CHAOS Report 2015. *The Standish Group International, Inc.*, 13.

https://www.standishgroup.com/sample_research_files/CHAOSReport2015-Final.pdf

The University of Texas at Austin. (2020). *RS10-2 - Measuring the Cost of Quality in Design and Construction*. Research Summary. <https://www.construction-institute.org/resources/knowledgebase/best-practices/quality-management/topics/rt-010/pubs/rs10-2>

Tower, N. W., North, B. E. P., Closer, W. T., & Street, V. (2016). Model Description Document – example. *The New Zealand BIM Handbook, April*, 3–6.

United Nations Department of Public Information. (2019, June 17). *Población | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html>

Wang, Z., & Liu, J. (2020). A Seven-Dimensional Building Information Model for the Improvement of Construction Efficiency. *Advances in Civil Engineering, 2020*, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2020/8842475>

Zhou, X., Xie, Q., Guo, M., Zhao, J., & Wang, J. (2020). Accurate and Efficient Indoor Pathfinding Based on Building Information Modeling Data. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 16*(12), 7459–7468. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.2974252>

Apéndice

Se incluye de acuerdo con el orden citado en el cuerpo del Trabajo de Titulación.

Apéndice 1: Formato de Plan de Ejecución BIM (BEP).

Apéndice 2: Formato de Autoría de Modelos (MEA).

Apéndice 3: Documento Evaluación de Madurez BIM. Iniciativa BIME.