

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
METODOLOGÍAS Y PROCESOS BUILDING INFORMATION MODELING
EN PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN EN EL
ECUADOR**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS**

LUIS FERNANDO MAYA SANTACRUZ

luis.maya@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. PABLO ALEJANDRO PINTO GAIBOR, Msc

pablo_a_pinto@yahoo.com

CODIRECTOR: ING. JORGE RICARDO VINTIMILLA JARAMILLO, MSc

jorge.vintimilla@epn.edu.ec

Quito, Enero 2018

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Luis Fernando Maya Santacruz, bajo nuestra supervisión.

ING. PABLO PINTO G. MSc
DIRECTOR DEL TRABAJO

ING. JORGE VINTIMILLA J. MSc
CODIRECTOR DEL TRABAJO

DECLARACIÓN

Yo, Luis Fernando Maya Santacruz, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

LUIS FERNANDO MAYA SANTACRUZ

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos.

Luis Fernando Maya Santacruz

AGRADECIMIENTO

A mis padres por su apoyo constante y dedicación.

A mis hermanos por ser parte de mi alegría.

Luis Fernando Maya Santacruz

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	I
DECLARACIÓN.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
SIMBOLOGÍA.....	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT.....	XVII
PRESENTACIÓN.....	XVIII
CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3.1. Justificación Teórica.....	3
1.3.2. Justificación Metodológica.....	4
1.3.3. Justificación Práctica.....	4
1.4. OBJETIVOS.....	5
1.4.1. Objetivo General.....	5
1.4.2. Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO 2.....	7

2	MARCO TEÓRICO	7
2.1.	BIM.....	7
2.1.1.	Objetivos BIM.....	10
2.1.2.	Campos del BIM	10
2.1.3.	Etapas del BIM.....	12
2.2.	DIMENSIONES BIM.....	16
2.2.1.	BIM 3D Datos paramétricos del proyecto.....	16
2.2.2.	BIM 4D Integración del proyecto en el tiempo	17
2.2.3.	BIM 5D Estimaciones de costo	17
2.2.4.	BIM 6D Comportamiento energético y sustentabilidad	17
2.2.5.	BIM 7D Gestión del ciclo de vida	17
2.3.	NIVEL DE DEFINICIÓN Y NIVEL DE DESARROLLO (LOD)	18
2.3.1.	Nivel de definición.....	18
2.3.1.1.	Niveles de detalle	18
2.3.1.2.	Niveles de información	19
2.3.2.	Nivel de desarrollo	19
2.3.2.1.	LOD 100	20
2.3.2.2.	LOD 200	20
2.3.2.3.	LOD 300	20
2.3.2.4.	LOD 350	21
2.3.2.5.	LOD 400	21
2.3.2.6.	LOD 500	21
2.4.	INTEROPERABILIDAD BIM.....	23
2.4.1.	.IFC	23
2.4.1.1.	Cómo funciona.....	24

2.5. TIPOS DE SUBMODELOS	25
2.5.1. Submodelo arquitectónico.....	26
2.5.2. Submodelo estructural	26
2.5.3. Submodelo de coordinación (Arquitectónico con Estructural).....	26
2.5.4. Submodelo de instalaciones	27
2.5.5. Submodelo de impacto en el sistema de transporte y pavimentos	27
2.5.6. Submodelo de coordinación de especialidades	27
2.5.7. Submodelo de construcción preliminar	28
2.5.8. Submodelo de cubicación	28
2.5.9. Submodelo de construcción.....	28
2.5.10. Submodelo As Built.....	28
2.5.11. Submodelo de operación y mantenimiento	28
2.6. TRABAJO COLABORATIVO	29
2.7. CICLO DE VIDA.....	30
2.7.1. Ciclos de vida predictivos.....	34
2.7.2. Ciclos de vida incrementales	34
2.8. FLUJO DE TRABAJO CON BIM.....	34
2.9. PROTOCOLO BIM	36
2.10. PLAN DE EJECUCIÓN BIM (BEP)	37
2.11. ROLES Y COMPROMISOS	38
CAPÍTULO 3	41
3 CONTEXTO MUNDIAL Y NACIONAL DE LA APLICACIÓN DE BIM.....	41
3.1. ANTECEDENTE TÉCNICO	41
3.1.1. Utilización de BIM en el Canal de Panamá	41
3.2. BIM EN EL MUNDO	48

3.2.1. Europa	49
3.2.2. Asia	51
3.2.2.1. China	51
3.2.2.2. Corea del Sur.....	51
3.2.2.3. Singapur	52
3.2.2.4. Japón	53
3.2.3. Norte América	53
3.2.3.1. Estados Unidos.....	53
3.2.3.2. Canadá	57
3.2.4. América del sur	57
3.2.4.1. Chile	57
3.2.4.2. Perú	58
3.2.4.3. Brasil.....	59
3.3. BIM EN ECUADOR.....	60
3.3.1. Datos estadísticos.....	60
CAPÍTULO 4	63
4 PRÁCTICAS HABITUALES EN LA INDUSTRIA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	63
4.1. ANÁLISIS DIAGNOSTICO	63
4.1.1. Incertidumbre en la industria de la construcción	63
4.2. ESTUDIO DE LA LEY ORGÁNICA DEL SISTEMA NACIONAL DE CONTRATACIÓN PÚBLICA	67
4.2.1. Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública (LOSNCNP).....	67
4.2.1.1. Los objetivos de la LOSNCNP	68
4.2.2. Reglamento.....	68

4.2.2.1. Especificaciones técnicas y términos de referencia.....	70
4.3. PROBLEMAS DETECTADOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	71
4.3.1. Pre diseño	72
4.3.2. Diseño.....	72
4.3.3. Construcción	74
4.3.4. Puesta en marcha	76
4.3.5. Operación y mantenimiento	77
4.4. RESULTADO DE LAS ENTREVISTAS	78
4.5. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE BIM.....	80
4.5.1. Requerimientos para implementar BIM.....	80
4.5.2. Propuesta para la implementación de BIM	81
4.5.2.1. Criterios de tecnología	81
4.5.2.2. Criterios de procesos	83
4.5.2.3. Criterios de políticas	84
4.5.2.4. Requerimientos organizacionales generales	85
4.5.2.5. Requerimientos técnicos generales	86
CAPÍTULO 5	88
5 ANÁLISIS DE VIABILIDAD – “TORRE DE TUMBACO 1”	88
5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	89
5.2. VIABILIDAD TÉCNICA.....	95
5.2.1. Disciplinas e integración	95
5.2.2. Comunicación, Colaboración e Interoperabilidad.....	96
5.2.3. Nivel de detalle	98
5.2.4. Visualización	100

5.2.5. Presentación de la documentación	101
5.3. VIABILIDAD ECONÓMICA	102
5.3.1. Costo de hardware.....	102
5.3.2. Costo de software	103
5.3.3. Costo de formación	104
5.3.4. Capacitación continua.....	105
5.4. VIABILIDAD FINANCIERA.....	106
5.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE BIM	109
5.5.1. Ventajas	109
5.5.1.1. Evaluación de necesidades y objetivos	110
5.5.1.2. Diseño conceptual	110
5.5.1.3. Planificación del diseño	111
5.5.1.4. Control del diseño.....	112
5.5.1.5. Control del diseño preliminar	112
5.5.1.6. Control del desarrollo del diseño	113
5.5.1.7. Planificación de la construcción.....	114
5.5.1.8. Control de la construcción	114
5.5.1.9. Seguridad industrial	115
5.5.1.10. Inspección final, entrega y recepción de obra.....	115
5.5.2. Desventajas	116
5.6. DIFERENCIAS ENTRE BIM Y LA METODOLOGÍA TRADICIONAL	118
CAPÍTULO 6	125
6 CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, SUGERENCIAS Y PROPUESTAS.....	125
6.1. CONCLUSIONES	125

6.1.1. La importancia de la gestión de los proyectos con BIM	125
6.1.2. Impacto de la implementación BIM en el Canal de Panamá.....	125
6.1.3. BIM en el mundo y en Ecuador	127
6.1.4. Estudio de la normativa en el país	127
6.1.5. Identificación de los principales problemas en proyectos de ingeniería y construcción	128
6.1.6. Impacto de la implementación BIM	128
6.2. RECOMENDACIONES SUGERENCIAS Y PROPUESTAS	130
6.2.1. Propuesta para la implementación de metodologías y procesos BIM en la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional.....	130
6.2.2. Futuras líneas de investigación.....	133
BIBLIOGRAFIA	134

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Comparativa con las diferentes etapas propuestas.....	15
Tabla 2.2. Nivel de desarrollo	22
Tabla 4.1. Software BIM	81
Tabla 5.1. Marcas y costos de hardware.....	103
Tabla 5.2. Marcas y costos de software	103
Tabla 5.3. Formación académica y costo	104
Tabla 5.4. Cursos de capacitación y costo	105
Tabla 5.5. Información inicial.....	106
Tabla 5.6. Cálculo financiero	108
Tabla 6.1. Asignaturas y objetivos.....	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Ciclo de vida de un proyecto BIM.....	8
Figura 2.2. Campos del BIM.....	11
Figura 2.3. Etapas BIM.....	13
Figura 2.4. Diagrama de la madurez del BIM.....	14
Figura 2.5. Dimensiones BIM	16
Figura 2.6. Niveles del detalle de un modelo	18
Figura 2.7. Relaciones entre agentes según metodología tradicional y BIM	24
Figura 2.8. Trabajo colaborativo BIM	29
Figura 2.9. Niveles típicos de costo y dotación de personal en una estructura genérica del ciclo de vida del proyecto.....	31
Figura 2.10. Alcance del proyecto y del producto.....	32
Figura 2.11. Impacto de las Variables en Función del Tiempo del Proyecto	33
Figura 2.12. Flujo de trabajo con BIM	35
Figura 2.13. Flujo de trabajo con BIM	40
Figura 3.1. Vista del modelo del tercer juego de esclusas	42
Figura 3.2. Boca del Canal de Panamá.....	43
Figura 3.3. Modelo 3D de una sección del Canal de Panamá	44
Figura 3.4. Integración de especialidades.....	46
Figura 3.5. Etiquetas de identificación.....	47
Figura 3.6. Documentos, entidades y obligaciones de BIM en distintos países.....	49
Figura 3.7. Regulación BIM en Europa	51
Figura 3.8. Niveles de Adopción de BIM en Estados Unidos por tipo de firma	54
Figura 3.9. Niveles de Adopción de BIM en Estados Unidos por tamaño de firma	55
Figura 4.1. Evaluación del PIB en el sector de la construcción y estimación	

de acuerdo al ajuste fiscal	64
Figura 4.2. Índice de precios en la construcción	66
Figura 4.3. Porcentaje de profesionales participantes en la encuesta	79
Figura 4.4. Rango de años de experiencia de los profesionales entrevistados	79
Figura 4.5. Conocimiento acerca de las metodologías y procesos BIM	80
Figura 4.6. Herramientas de visualización.....	83
Figura 5.1. Vista del proyecto.....	88
Figura 5.2. Ubicación del proyecto	89
Figura 5.3. Perfil transversal del terreno	90
Figura 5.4. Topografía del terreno.....	91
Figura 5.5. Distribución de áreas en departamento tipo.....	92
Figura 5.6. Esquema de los parqueaderos	93
Figura 5.7. Esquema de los parqueaderos	94
Figura 5.8. Disciplinas e integración.....	95
Figura 5.9. Comunicación, Colaboración e Interoperabilidad	97
Figura 5.10. Elementos paramétricos.....	98
Figura 5.11. Disposición solar del proyecto.....	99
Figura 5.12. Sistema de agua potable y sanitario para un baño tipo.....	100
Figura 5.13. Planos de planta y elevación del modelo	102
Figura 5.14. Modelo distribuido	118
Figura 5.15. Proceso Tradicional.....	119
Figura 5.16. Modelo centralizado	120
Figura 5.17. Proceso colaborativo BIM	121
Figura 5.18. Diagrama tiempo/efecto publicado por la AIA	122
Figura 5.19. Curvas comparativas de tiempo vs esfuerzo del procesos colaborativo y tradicional	124

SIMBOLOGÍA

- 3D** Geometría Tridimensional.
- 4D** Información de secuencia de construcción.
- 5D** Información de Costos.
- 6D** Comportamiento energético y sustentabilidad.
- 7D** Información del ciclo de vida del proyecto.
- AEC** Arquitectura, Ingeniería y Construcción (siglas en inglés).
- BEP** Plan de Ejecución BIM.
- BIM** Modelado de la información para la construcción.
- CAD** Diseño asistido por computadora.
- IFC** Industry Foundation Classes.
- LOD** Nivel de desarrollo, nivel de detalle
- MEP** Mecánica, Eléctrica y Fontanería.

RESUMEN

Se analizó la viabilidad técnica, económica y financiera de la implementación de las metodologías y procesos Building Information Modeling (BIM) en la industria de la construcción en el Ecuador, para identificar si esta propuesta es capaz de optimizar los procesos y aportar valor agregado al desarrollo de un proyecto.

Para obtener resultados relacionados con la viabilidad técnica, se realizaron entrevistas a varios profesionales de la industria de la construcción, entre los que se encuentran docentes universitarios, constructores, consultores y jefes de departamentos técnicos de instituciones públicas; a fin de, identificar los principales conflictos en las diferentes etapas de una proyectos. Posteriormente se comparó de forma cualitativa las ventajas y las desventajas técnicas de la adopción de BIM.

Por otra parte, para la viabilidad económica se realizó, la consulta de proformas relacionadas con los costos de adquisición de equipos, software y formación.

Con esta información, se puede concluir que la implementación de BIM es factible desde el punto de vista técnico y económico, ya que el principal limitante es un cambio de mentalidad y de adaptación más no de capacidad. Sin embargo, el aspecto económico es un factor importante.

Palabras clave: Building Information Modeling, BIM, Software BIM, construcción, ingeniería, arquitectura.

ABSTRACT

The technical, economic and financial feasibility in the implementation of the methodologies and processes of Building Information Modeling (BIM) in the construction industry in Ecuador was analyzed to identify if this proposal is capable of optimizing processes and providing added value for a project development.

To obtain results related to technical feasibility, interviews were conducted with several professionals from the construction industry, among whom are university professors, builders, consultants and heads of technical departments of public institutions; In order to, identify the main conflicts in the different stages of a project. Subsequently, the advantages and technical disadvantages of adopting BIM were qualitatively compared.

On the other hand, for economic feasibility, a market study was carried out related to the costs of acquisition of equipment, software and training.

With this information, it can be concluded that the implementation of BIM is feasible from a technical and economic point of view, since the main limitation is a change in mentality and adaptation, not capacity, however, the economic aspect is an important factor.

Keywords: Building Information Modeling, BIM, BIM Software, construction, engineering, architecture.

PRESENTACIÓN

Las metodologías y procesos de Modelado de Información para la Construcción, BIM por sus siglas en inglés, se enfocan en el diseño, análisis y documentación técnica a detalle. Adicionalmente a esto, trata sobre la gestión de la información a lo largo del ciclo de vida de un proyecto, abarcando las distintas etapas como prediseños conceptuales, diseños definitivos, construcción y la gestión de las instalaciones (Demchak, Dzambazova, & Krygiel, 2009).

Este trabajo de investigación consta de seis capítulos distribuidos de la siguiente manera:

En el primer capítulo, se presenta el planteamiento del problema, la justificación para la elección del tema y objetivos del proyecto de investigación.

El segundo capítulo contiene la base teórica de las metodologías y procesos BIM; de forma detallada se abarca los conceptos primordiales que comprende esta nueva metodología: objetivos, dimensiones, niveles de desarrollo y de detalle, interoperabilidad, flujo de trabajo colaborativo y roles.

En el tercer capítulo, está el estado del arte de la temática; tomando como referencia países que están en el proceso de transición del CAD a BIM y que incorporan esta nueva metodología en la formación de profesionales. Adicionalmente, se presenta información del Canal de Panamá como antecedente técnico.

En el cuarto capítulo, se presenta un análisis diagnóstico de la compleja situación de la construcción en el país. Adicionalmente, se realiza el estudio de ciertos artículos de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública y finalmente, se presenta los resultados de entrevistas realizadas a varios profesionales, a fin de detectar los principales conflictos en la construcción.

En el quinto capítulo, se realiza el análisis de viabilidad económica y técnica de la implementación de las metodologías y procesos BIM en el proyecto Torre de Tumbaco 1 –caso de estudio-, donde se analizan aspectos como: costo de implementación (equipos computacionales y licencias de programas), costo de capacitación, el cumplimiento de los principios de BIM y las ventajas de su implementación.

El sexto capítulo contiene las conclusiones, recomendaciones y propuestas de posibles líneas de investigación, en base al análisis de cada objetivo.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

A finales del siglo XX, la industria de la construcción tuvo cambios representativos, éstos implicaron el paso de herramientas de dibujo y cálculo manuales a herramientas computacionales denominadas Diseño Asistido por Computador, CAD por sus siglas en inglés, que permitieron la optimización del diseño y la calidad del dibujo (Sierra, 2017).

A pesar de estos avances, los proyectos de construcción siguieron manejándose de manera compartimentada, es decir que los ingenieros y arquitectos involucrados en las distintas áreas de un proyecto trabajan de forma individual, solamente en el marco de su área asignada. Esto sumado a la deficiencia en la comunicación y coordinación en las distintas áreas de un proyecto; provoca interferencias entre las distintas ramas, incremento en el tiempo de la concepción, diferencias entre los diseños y lo realmente ejecutado, e incluso; incrementos en el costo de los proyectos.

Al inicio del siglo XXI, con el desarrollo de la tecnología, se hizo evidente la importancia y necesidad de la integración de los modelos tridimensionales digitales para la comprensión global de los proyectos (Abrishami, Goulding, Rahimian, & Ganah, 2014). Este periodo se caracteriza por la transición de un método tradicional 2D, a una nueva forma, enfocada en modelos digitales 3D y en procesos de gestión de proyectos que involucran comunicación y trabajo colaborativo. Esta nueva metodología se denomina Modelado de Información para la Construcción. Este conjunto de métodos sistematizados ganan cada vez más reconocimiento en la industria de la construcción a lo largo de todo el mundo.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Lamentablemente las herramientas computacionales y software 2D empleados tradicionalmente no son capaces de representar en su totalidad las características únicas y especificaciones necesarias de un proyecto. Lo que pone en evidencia sus limitaciones expuestas a continuación:

- Problema de coordinación y comunicación: La coordinación y comunicación entre las distintas especialidades se ve en conflicto debido a que todo el proceso debe hacerse por superposición, es decir, se utilizan los planos de planta, elevación y corte del área de arquitectura para realizar el diseño estructural, instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias e instalaciones especiales aumentando la complejidad para determinar las interferencias.
- Errores en la construcción: Como consecuencia de los problemas de coordinación y comunicación entre las distintas disciplinas en la etapa de diseño, la incertidumbre que genera la documentación 2D y la falta de planificación del proceso de construcción provoca que en la etapa de ejecución se evidencien las imperfecciones e inconsistencias de los entregables del proyecto, lo que ocasiona que el trabajo deba ser rectificado.

Muchos de los problemas a los que se enfrenta la industria de la construcción, son debido a la falta de investigación y desarrollo en el sector (Murray & Langford, 2008). Por ello, es imprescindible que las universidades formen profesionales con alto conocimiento técnico de diseño estructural, hidrosanitario, eléctrico, mecánico y además que sean capaces de adaptarse y comprender metodologías eficientes en la gestión integral de proyectos.

Afortunadamente estos problemas pueden ser solucionados si se implementan metodologías y procesos BIM, debido a que se puede visualizar el proyecto de forma global integrando las distintas disciplinas involucradas, facilitando la definición y delimitación de todos los detalles antes de la etapa de construcción.

La realidad es que no existen antecedentes o estudios suficientes en Ecuador que aclaren cuáles serían los beneficios reales de la utilización del BIM en proyectos de construcción. A falta de información necesaria, políticas públicas, o involucramiento de las empresas públicas y privadas, la adopción del BIM en Ecuador y Sudamérica debe recorrer un gran camino para ser una realidad. Sin embargo, la Cámara Chilena de la Construcción a partir del año dos mil siete está asumiendo el liderazgo para promover la difusión del uso del BIM. Como consecuencia, en el año dos mil diez el gobierno chileno aprobó la “Implementación y promoción de la tecnología BIM en Chile”, a cargo de la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT) y de importantes constructoras de ese país (BIM Forum Chile et al., 2017).

1.3. JUSTIFICACIÓN

El planteamiento de los proyectos de obra civil, necesita una nueva perspectiva, en lo que respecta a la metodología de trabajo. Dicho cambio podría consistir en la implementación de metodologías y procesos BIM. Éstas tienen como objetivo resolver las necesidades específicas en las distintas etapas de un proyecto de obra civil de forma conjunta y colaborativa entre las distintas disciplinas, optimizando los recursos económicos, técnicos y humanos en su realización.

1.3.1. Justificación Teórica

En el Ecuador han aparecido de forma aislada y esporádica estudios de pregrado y posgrado sobre iniciativas dirigidas a incorporar metodología y procesos BIM, desafortunadamente estos trabajos de investigación no han generado el interés necesario en el sector académico.

La creciente competitividad a nivel nacional, regional y mundial exige que los estudiantes se capaciten en los nuevos avances tecnológicos, académicos y de gestión. Por ello, el ambiente educativo necesita mantener concordancia con las prácticas reales del sector de la construcción, proponiendo un plan de estudios basado en las necesidades de la industria. En este sentido, este proyecto de

investigación busca introducir una reflexión y propiciar un debate sobre la necesidad de actualizar los contenidos de estudio en la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, de la Escuela Politécnica Nacional del Ecuador, acorde con el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos adaptados a la construcción y a la demanda de formación en los profesionales en ingeniería civil.

1.3.2. Justificación Metodológica

Este proyecto de investigación pretende aplicar varias metodologías en cuanto al análisis de la temática propuesta. La técnica de recopilación bibliográfica permitirá crear un banco de información para investigaciones sobre el manejo de la información en proyectos dirigidos con BIM en nuestro país. Así también la aplicación del análisis diagnóstico, que incluye la indagación en la normativa vigente, tendrá como resultado el estudio del estado actual de la industria de la construcción en Ecuador.

Además, la realización del análisis comparativo entre las metodologías BIM y las metodologías tradicionales permitirá conocer de manera específica y concreta las ventajas y desventajas de ambos grupos de herramientas. Como consecuencia de las anteriores propuestas metodológicas se obtendrá la información necesaria para determinar la viabilidad de la aplicación de las metodologías BIM en el contexto ecuatoriano.

1.3.3. Justificación Práctica

La etapa de diseño de un proyecto produce la información fundamental para las fases posteriores de construcción y puesta en funcionamiento de la edificación, por ello no puede limitarse a la entrega dispersa de planos e informes técnicos, uno sobre otro; menos si no se tiene en cuenta la articulación y la correspondencia de la totalidad de la información. Una gestión integral es lo que determinará en gran medida la eficiencia y la calidad de los diferentes componentes técnicos del proyecto, durante las etapas posteriores de construcción y puesta en

funcionamiento, para garantizar la calidad en los procesos y productos derivados de éstos.

Las metodologías BIM toman de la disciplina de Gestión de Instalaciones el principio de la optimización de los recursos con los que cuenta un proyecto, por ello comparten el objetivo de la adecuación continua de los facilities (activos o recursos inmobiliarios) y al personal técnico y administrativo que forman parte de la organización, así como la adecuada gestión del mantenimiento para lograr una reducción de gastos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Analizar la viabilidad en la implementación de las metodologías y procesos BIM en proyectos de ingeniería y construcción, de acuerdo a la realidad ecuatoriana. A partir de la descripción, registro, análisis e interpretación de las características y propiedades de la situación actual en la gestión de proyectos.

1.4.2. Objetivos Específicos

Identificar la importancia de las metodologías BIM en la gestión y su relación con las áreas involucradas en los proyectos de obra civil.

Realizar un análisis comparativo entre la aplicación de las metodologías BIM frente a las metodologías tradicionales.

Analizar la existencia de formatos de presentación de información en el desarrollo de proyectos de obra civil en la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública Ecuatoriana.

Demostrar los impactos de la implementación de las herramientas BIM en el

proyecto propuesto como caso de estudio.

Determinar la viabilidad económica y técnica de la aplicación de metodologías BIM en un proyecto de obra civil propuesto como caso de estudio.

Plantear un conjunto de recomendaciones para la implementación de las metodologías BIM en la industria de la construcción en Ecuador.

CAPÍTULO 2

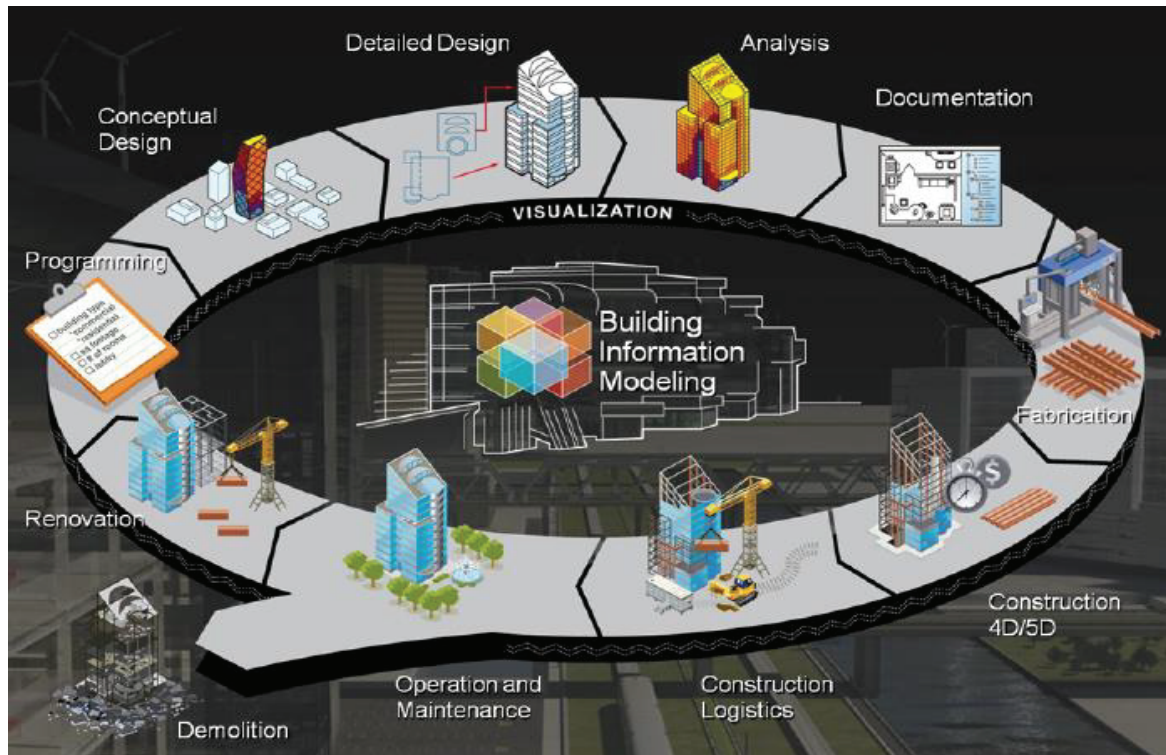
MARCO TEÓRICO

2.1. BIM

BIM son las siglas de Building Information Modelling y su traducción al español es Modelado de Información para la Construcción. Podemos entender, BIM como un conjunto de procedimientos para el desarrollo, diseño, ejecución y mantenimiento de un proyecto, que contiene información detallada a lo largo de su ciclo de vida. Gracias a las herramientas computacionales, es posible crear un modelo virtual del proyecto que no es una simple representación 3D, sino un modelo dinámico y paramétrico que contiene toda una base de datos de información como geometría, materiales proceso constructivos, modelo analítico de estructuras, características térmicas y prestaciones energéticas, cálculos de instalaciones, mediciones, seguridad y operación y mantenimiento.

Su característica principal es que se basa en un modelo virtual, que tiene la posibilidad de abarcar todas las áreas de trabajo como arquitectura, ingeniería civil, mecánica, eléctrica. En él se pueden unir elementos con información paramétrica, lo que nos permite evaluar su estado, en las distintas etapas de vida del proyecto como diseño, construcción, operación y mantenimiento. Como se muestra a continuación en la figura 2.1.

Figura 2.1. Ciclo de vida de un proyecto BIM



Fuente: Autodesk

Para comprender de forma clara el término BIM, es indispensable el análisis de cada una de sus siglas:

Building se basa particularmente en el objeto del proyecto, abarcando la ingeniería, construcción, rehabilitación y obras especiales. Es decir, abarca de forma global el ciclo de vida del proyecto (Brugarolas, 2016).

Information comprende toda la descripción necesaria que se genera durante todo el ciclo de vida del proyecto. Es decir, la recopilación de información relevante como materiales, planos de detalle, procesos constructivos, vistas en tres dimensiones, fichas técnicas, memorias de cálculo estructural, memorias de cálculo energético, detalle de instalaciones, rendimientos, presupuestos, programación de obra, documentos de operación y mantenimiento, entre otras.

Modeling engloba todo lo relacionado con el desarrollo de una maqueta virtual,

enfocándose en el trabajo colaborativo y en la comunicación entre las distintas disciplinas que intervienen en el proyecto. Por ejemplo, permite enlazar el modelado arquitectónico con las distintas especialidades que complementan el proyecto, como el estudio topográfico integral, sistemas estructurales, las instalaciones, estudios de eficiencia energética, cubicación de materiales, presupuestos, cronogramas, etc. (Brugarolas, 2016).

La filosofía BIM se divide en dos áreas:

- Little BIM es el conjunto de paquetes computacionales y aplicaciones que son empleadas como herramientas para la creación del modelo paramétrico. Eso quiere decir que es la cara más visible de la metodología y de sus procesos. Actualmente, en el mercado existen una gran variedad de paquetes computacionales de diversos desarrolladores, sin embargo, es necesario que cada software tenga por principio la interoperabilidad entre las distintas áreas de un proyecto (Borrmann, König, Koch, & Beetz, 2015).
- Big BIM se define como las bases de la filosofía, es decir, los lineamientos que se deben cumplir para la adecuada aplicación, buscando que la información y documentación que se obtenga sea lo más precisa, esté disponible en el momento necesario con el formato adecuado. Esta rama de BIM “incluye la gestión de la información mediante el modelo, la gestión de los recursos humanos y técnicos del proyecto y de la organización en general. Además, las interrelaciones con el entorno: proveedores, clientes y administración” (Berger, Elixmann, Hiller, Herkel, & Rudat, 2016).

Es común confundir al BIM con un software debido a la utilización continua de paquetes computacionales, sin embargo, es necesario saber que BIM engloba un entorno de trabajo donde actúan un diverso grupo de herramientas, donde además se encuentren programas -que a partir de un modelo tridimensional llamado “Modelo de Información” extraen información de forma exacta y coordinada-.

BIM cuenta con una serie de procedimientos que refuerzan el desarrollo integral de

un proyecto. Por ello, no es únicamente la visualización de modelos en tres dimensiones, ya que engloba distintas áreas que van más allá de la geometría de los elementos, permitiendo la adición de información y propiedades a cada componente, generando una base de datos integral del proyecto.

2.1.1. Objetivos BIM

Los principales objetivos del BIM, de acuerdo con la Guía de Usuario BIM presentada el año 2014, son:

- Ser una referencia en cuanto a los aspectos de inversión, controlando el alcance, funcionalidad y costos de las posibles alternativas.
- Facilitar el análisis de los requisitos energéticos y aspectos medioambientales, para disminuir el impacto en el ecosistema y en el entorno del proyecto.
- Proporcionar información relevante para estudiar la viabilidad de la construcción y sus posibles diseños.
- Garantizar la calidad de los procesos, materiales y producto final, al igual que el intercambio de datos en un diseño eficiente.
- Desarrollar documentación e información precisa del proyecto, para las etapas de construcción, explotación y mantenimiento.” (Building Smart Spanish Chapter, 2014b).

2.1.2. Campos del BIM

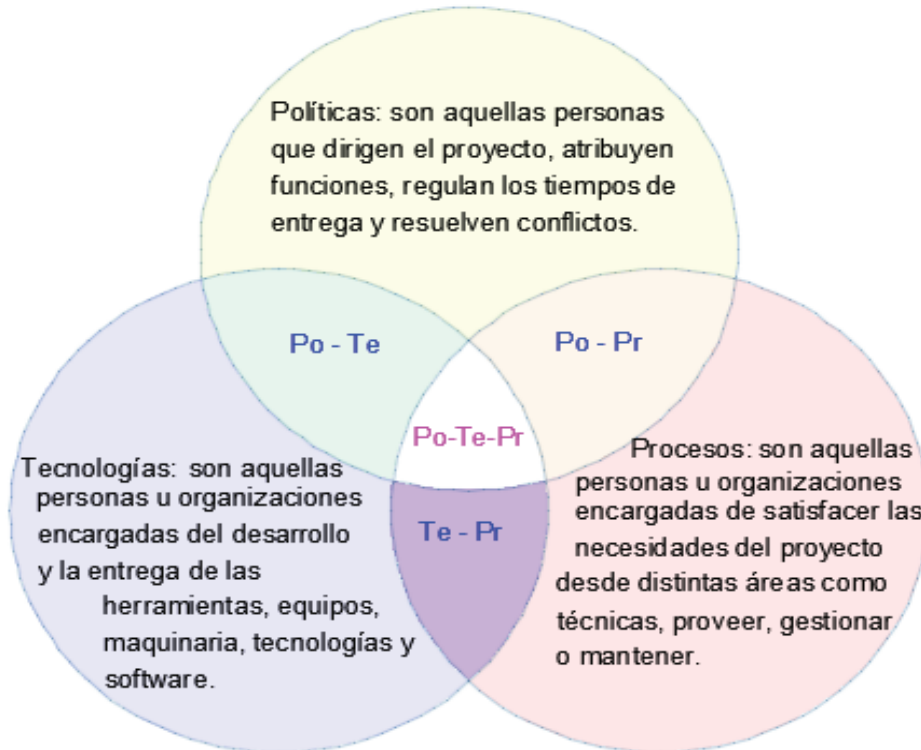
Con el fin de implementar las metodologías y procesos BIM en el área de la construcción es importante considerar los campos que se deben tomar en cuenta:

- Políticas: este campo es el encargado de abarcar a todas las personas responsables de la generación de lineamientos y normas especificadas en un contrato (Succar, 2010). Es necesario contar con personas encargadas del control y de la regulación en las diferentes etapas.

- Tecnología: este campo comprende a las herramientas computacionales utilizadas para desarrollar un modelo (aplicaciones, programas y software), cabe mencionar que no solo se refiere a las herramientas necesarias para la etapa de diseño sino también para las etapas de construcción, operación y mantenimiento en donde se considera a los proveedores de maquinaria, equipo y proveedores de productos y servicios (Succar, 2010).
- Procesos: se encarga de abarcar a los principales actores que se encuentran ligados directamente con el ciclo de vida de un proyecto, que incluye a propietarios, arquitectos, ingenieros, contratistas, etc.

Es importante mencionar que estos tres campos no son independientes entre sí, es decir que los actores de un campo interactúan con los actores de otro, formando así un sistema de comunicación eficiente en dos direcciones (acción y respuesta) dinamizando las áreas y acciones, como se muestra en la figura 2.2.

Figura 2.2. Campos del BIM



Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: (Succar, 2009)

2.1.3. Etapas del BIM

Las etapas del BIM han sido estudiadas por varios autores, en este apartado se analizarán las propuestas de Succar (2009) y de la guía Strategy Paper for the Government Construction Client Group From the BIM Industry Working Group del Reino Unido (2011).

Para la implementación del BIM, Succar en el año de 2009 propone las siguientes etapas:

- Pre-BIM: esta es la etapa de implementación de metodologías y procesos BIM, cuándo se debe tomar la decisión sobre la adquisición del equipo y el conocimiento necesario para tener proyectos eficientes.
- Modelado basado en el objeto (Etapa BIM 1): esta etapa se lleva a cabo con el uso de paquetes computacionales que permitan utilizar herramientas 2D y 3D. Se considera primordial el uso de software para el desarrollo de esta etapa debido a que facilita la elaboración del proyecto.

La comunicación no necesariamente se dará al mismo tiempo entre las distintas disciplinas involucradas, por lo que todavía no se considera colaborativa, sino diferida.

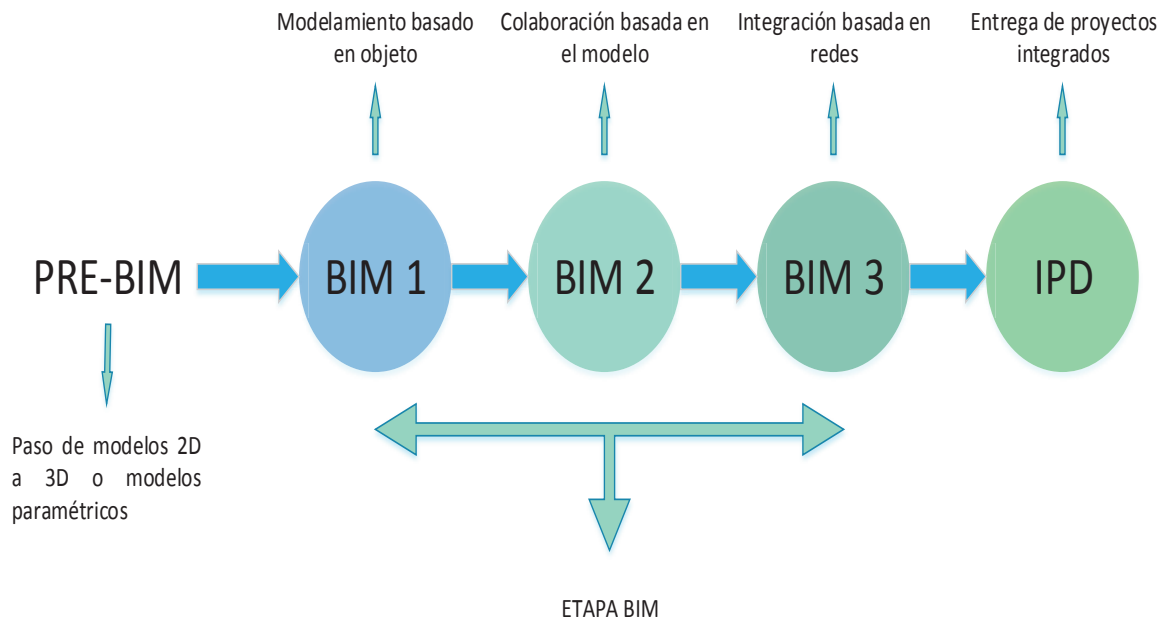
- Colaboración basada en el modelo (Etapa BIM 2): en esta etapa todas las personas u organizaciones involucradas en el proyecto, interactúan entre sí con el fin de establecer criterios de cambios o modificaciones que se debe realizar en el modelo mediante diferentes formatos.

Este tipo de comunicación diferida presenta un desfase en el tiempo, aun así se genera mayor claridad en el modelo, convirtiéndolo en principal.

- Integración basada en redes (Etapa BIM 3): la característica principal de esta etapa es que los modelos son elaborados en plataformas colaborativas entre las distintas disciplinas, lo que permite eliminar actividades repetitivas y tener un análisis detallado en todas las fases de la construcción (Succar, 2009).

A continuación se presenta la figura 2.3, donde se expresa el desarrollo progresivo de las etapas de BIM.

Figura 2.3. Etapas BIM



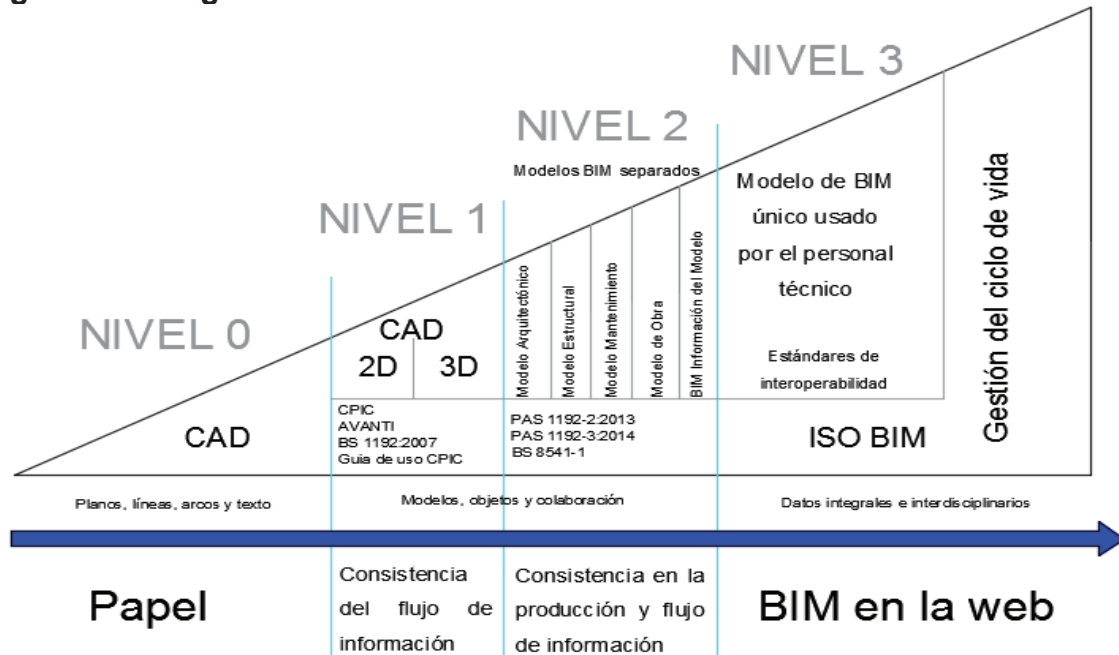
Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: (Succar, 2009)

La guía Strategy Paper for the Government Construction Client Group From the BIM Industry Working Group del Reino Unido, propone distintas etapas para reconocer el nivel de madurez de adopción de BIM. El concepto de niveles de implementación explica los estados que deben desarrollarse en un entorno constructivo, para que sea integral y colaborativo (Government Construction Client Group, 2011).

Es normal que el nivel de madurez de BIM siempre sea gradual, para que el proceso de transición sea ordenado. Esta transformación depende del nivel de comprensión y de adaptación del personal técnico involucrado, al igual que de los interesados. A continuación se presentan dichos niveles de madurez, en la figura 2.4.

Figura 2.4. Diagrama de la madurez del BIM



Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: (Government Construction Client Group, 2011)

- Nivel 0: en esta etapa, el trabajo colaborativo es prácticamente inexistente. Se caracteriza por la generación individual de información de cada disciplina y a la entrega dispersa de documentos. La representación técnica y de detalle es elaborada y representada en dos dimensiones.
- Nivel 1: se considera la adaptación de modelos tridimensionales que representan un proyecto de forma amigable; no obstante, la documentación técnica y los detalles aún se representan por planos en dos dimensiones. El nivel de comunicación y colaboración no se ha desarrollado.
- Nivel 2: los estándares de colaboración ya son altos y se realizan proyectos de forma conjunta; sin embargo, no todos los involucrados participan en el desarrollo del modelo integral. La comunicación continua facilita el intercambio de información, mediante procesos de interoperabilidad que consisten en el traslado de información entre distintos software. El concepto de interoperabilidad se describe de forma más detallada en el apartado 2.4.
- Nivel 3: esta fase se considera el punto óptimo de desarrollo en metodologías y proceso BIM, también conocida como Open BIM. La

colaboración, comunicación e interoperabilidad son los ejes para el desarrollo de un proyecto. Todos los involucrados en el proyecto son considerados en la administración integral a lo largo de su ciclo de vida.

A continuación se muestra una tabla comparativa con las diferentes etapas propuestas por Succar (2009) y de la guía Strategy Paper for the Government Construction Client Group From the BIM Industry Working Group del Reino Unido (2011). Las etapas no necesariamente son correspondientes unas con otras; sin embargo, señalan elementos comunes del nivel de madurez. Además esta comparación puede convertirse en una herramienta útil al momento de tomar la decisión de trasladar un proyecto de metodología tradicional a BIM.

Tabla 2.1. Comparativa con las diferentes etapas propuestas

TABLA COMPARATIVA CON LAS DIFERENTES ETAPAS PROPUESTAS			
SUCCAR (2009)		STRATEGY PAPER FOR THE GOVERNMENT CONSTRUCTION CLIENT GROUP FROM THE BIM INDUSTRY WORKING GROUP (2011)	
ETAPAS	DESCRIPCIÓN	NIVEL	DESCRIPCIÓN
PRE-BIM	Planos y documentos en 2d, esto acarrea una serie de conflictos y problemas.	Nivel 0	Se caracteriza por la generación individual de información de cada disciplina y a la entrega dispersa de documentos, es la forma tradicional de trabajar basada en software CAD.
BIM 1	Utilizar herramientas paramétricas 2D y 3D, la comunicación no necesariamente se dará al mismo tiempo.	Nivel 1	Se considera la adaptación de modelos tridimensionales que pretenden representar un proyecto de forma amigable, la documentación técnica y los detalles continúan siendo representados por planos en dos dimensiones.
BIM 2	Los cambios o modificaciones se realizan en el modelo mediante diferentes formatos, las limitaciones en la comunicación van desapareciendo.		
BIM 3	Los modelos son elaborados en plataformas colaborativas con distintas disciplinas, al ser un modelo colaborativo, el	NIVEL 2	Los estándares de colaboración ya son altos y se realizan proyectos de forma conjunta; sin embargo, la comunicación continua facilita el intercambio de información, mediante procesos de interoperabilidad a partir de archivos con extensión .ifc o .cobie.
		NIVEL 3	

<p>tiempo de análisis de cada disciplina se reduce debido a que se eliminan actividades repetitivas.</p>	<p>También conocido como open BIM. La colaboración, comunicación e interoperabilidad son los ejes primordiales para el desarrollo de un proyecto. En este nivel todos los involucrados en el proyecto son considerados en la administración integral del proyecto.</p>

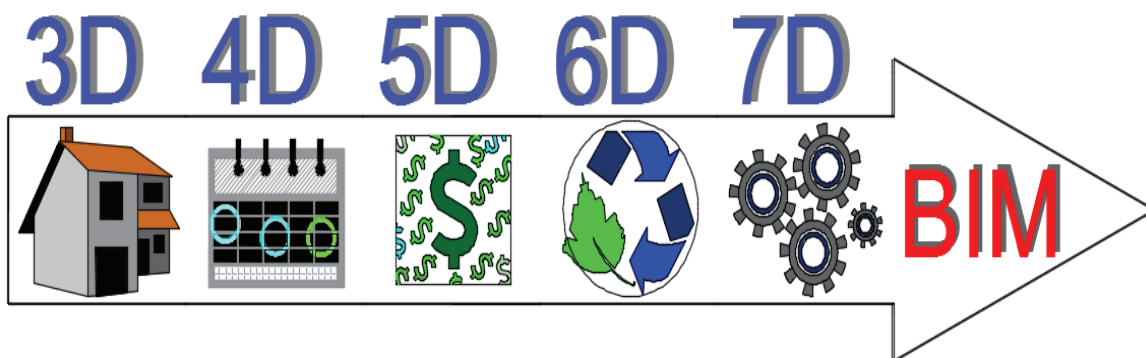
Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: (Government Construction Client Group, 2011; Succar, 2009)

2.2. DIMENSIONES BIM

El propósito de BIM es ordenar al personal técnico, los procesos y las herramientas en un espacio sinérgico y colaborativo. Para comprender la importancia de BIM y su magnitud de impacto en la industria de la construcción, es necesario conocer sus dimensiones, mostradas en la figura 2.5.

Figura 2.5. Dimensiones BIM



Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

2.2.1. BIM 3D Datos paramétricos del proyecto

Esta dimensión se centra en el detalle geométrico de los elementos estructurales como columnas, vigas y muros y no estructurales como armarios, puertas y ventanas; a fin de obtener información detallada del proyecto y de espacios individuales. El modelo es encargado de representar la información del diseño arquitectónico y de cada una de las ingenierías involucradas a fin de obtener un medio de información integrada.

2.2.2. BIM 4D Integración del proyecto en el tiempo

Esta dimensión se encarga del control y duración de las tareas necesarias para la entrega a tiempo de un proyecto, simulando adecuadamente el tiempo requerido en todas las etapas. La versatilidad de esta dimensión permite la planificación cronológica detallada y la visualización del progreso de todas las actividades.

2.2.3. BIM 5D Estimaciones de costo

Esta dimensión se encarga de la optimización de los recursos y la rentabilidad del proyecto. Mediante la cuantificación de los materiales, elementos, herramientas, maquinaria, mano de obra, rendimientos y estimación de los gastos de operación, para simular los costos de todas las etapas.

2.2.4. BIM 6D Comportamiento energético y sustentabilidad

También llamada Green BIM, esta dimensión tiene el objetivo de analizar el consumo energético y la gestión de recursos, entrega información necesaria para la toma de decisiones. “Gracias a esto es posible seleccionar las mejores técnicas, materiales y tipo de consumo para cada proyecto, optimizando el consumo de energía y reduciendo la mayor cantidad posible de daños al medio ambiente” (BIM Forum Chile, Grupo Técnico de Trabajo de Estandarización, & Corporación de Desarrollo, 2017).

2.2.5. BIM 7D Gestión del ciclo de vida

Esta dimensión establece el control logístico y operacional para el uso y mantenimiento del proyecto a lo largo del ciclo de vida. Además, facilita los procesos para la elaboración de cronogramas donde se registran inspecciones, reparaciones y tareas de mantenimiento, también detecta fallas de funcionamiento y áreas a mejorar, logrando así la optimización de procesos en el tiempo.

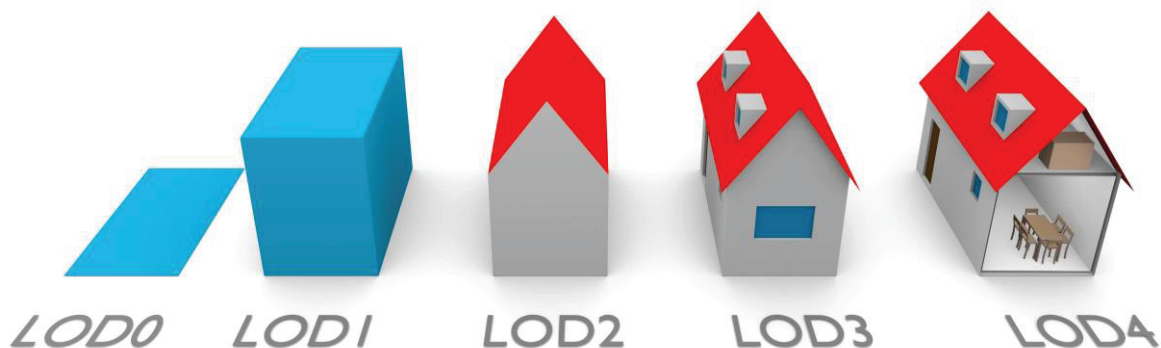
2.3. NIVEL DE DEFINICIÓN Y NIVEL DE DESARROLLO (LOD)

Hay una confusión con las siglas utilizadas para referirse a esta temática, ya que pueden referirse a dos términos diferentes. Level of Definition y Level of Development pueden ser representados por LOD y su traducción Nivel de Definición como al Nivel de Desarrollo correspondientemente, esto depende del estándar al que se haga referencia para su interpretación y a su vez al año de publicación. Sin embargo, es cierto que “ambos términos se encuentran bastante relacionados porque no se puede obtener un cierto nivel de desarrollo si no existe un buen nivel de definición” (BIM Forum Chile, Grupo Técnico de Trabajo de Estandarización, & Corporación de Desarrollo, 2017).

2.3.1. Nivel de definición

Nivel de definición es un término que abarca dos grandes conceptos, el nivel de detalle que se encarga de la descripción grafica de los modelos en cada una de las etapas y el nivel de información que se destaca por la descripción del contenido interno de los elementos del modelo. Sin embargo, estos dos conceptos se desarrollan conforme a sus etapas (BIM Forum Chile, Grupo Técnico de Trabajo de Estandarización, & Corporación de Desarrollo, 2017).

Figura 2.6. Niveles del detalle de un modelo



Fuente: (Biljecki, Ledoux, & Stoter, 2016)

2.3.1.1. Niveles de detalle

- LOD 0: corresponde a la etapa de diseño conceptual. Son elementos con información básica, como orientación y localización.
- LOD 1: corresponde a los elementos estructurales que proporcionan una indicación visual de su ubicación. Esta información es adecuada para la coordinación espacial inicial de los elementos o sistemas del proyecto.
- LOD 2: abarca a los elementos estructurales y no estructurales que proporcionan información visual moderadamente clara, en la etapa de definiciones técnicas, empleada de forma más eficiente en la coordinación espacial completa.
- LOD 3: engloba a los elementos estructurales y no estructurales que proporcionan información consistente para la etapa del diseño, con su coordinación espacial completa.
- LOD 4: incluye a los elementos estructurales y no estructurales que proporcionan la información específica para la construcción y provee una referencia, para su posterior uso y mantenimiento, como se puede ver en la imagen 2.6.

2.3.1.2. Niveles de información

- LOI 2 y 3: a partir de los elementos estructurales y no estructurales se obtendrá información de la descripción inicial.
- LOI 4: con la información de los elementos estructurales y no estructurales se podrá seleccionar el producto. Adicionalmente, esta información puede ser utilizada para reemplazar elementos durante el ciclo de vida del proyecto.
- LOI 5: la descripción de los elementos estructurales y no estructurales es suficiente para la elección del producto, la información del proceso de construcción e instalación, es específica en este nivel.
- LOI 6: este nivel abarca la información acumulada anteriormente y considera los detalles del mantenimiento.

2.3.2. Nivel de desarrollo

“Se define como el nivel de madurez de la información que posee un elemento dentro de un modelo paramétrico” (BIM Forum Chile et al., 2017).

2.3.2.1. LOD 100

En esta condición del desarrollo, la información relacionada con los elementos estructurales y no estructurales del modelado aun no es detallada y no presenta propiedades geométricas, sino que muestra la existencia de un componente, pero no su forma, tamaño o ubicación precisa. Se representa gráficamente con un símbolo. Permite tener una idea general de la comprobación y cumplimiento de la normativa urbanística.

2.3.2.2. LOD 200

En este nivel, los elementos estructurales y no estructurales del modelado se representan gráficamente por un objeto, mismo que presenta propiedades como tamaño, forma, ubicación y orientación aproximados. Las representaciones de los elementos son geométricas.

Permite una rápida visualización del aspecto final del volumen del proyecto y de los materiales, facilita la elaboración de material para marketing, cálculo a nivel de pre dimensionamiento estructural y facilita el conteo de materiales.

2.3.2.3. LOD 300

En esta categoría, los elementos estructurales y no estructurales del modelado se representan gráficamente como un objeto con características propias como tamaño, forma, ubicación, orientación y cantidades, que se acercan cada vez más a la información específica.

Este nivel de desarrollo es útil para estimar los costos sobre los datos paramétricos de los elementos, programación detallada en el tiempo y permite obtener documentación necesaria para la obra en el proyecto.

2.3.2.4. LOD 350

En este subnivel, los elementos del modelo se representan gráficamente como objetos específicos con características propias como dimensiones, forma, posición, orientación, cantidades y se encuentran vinculados a otros elementos del modelo, donde se incluyen partes como soportes o conexiones.

2.3.2.5. LOD 400

En esta posición de desarrollo, los elementos estructurales y no estructurales del modelado se representan gráficamente por un objeto específico y alto nivel de precisión y detalle con características propias como forma, ubicación, cantidades y con información detallada de fabricación, montaje e instalación. La información no gráfica también se encuentra dentro del elemento modelado.

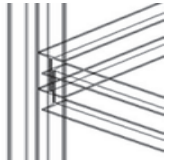
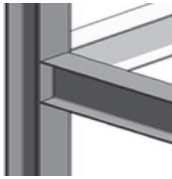
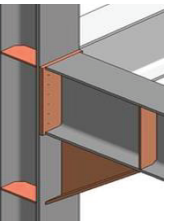
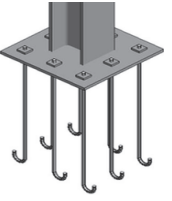
2.3.2.6. LOD 500

En esta situación de desarrollo, los elementos del modelo son representaciones exactas del elemento que se debe construir o colocar en obra. Este elemento debe constar de tamaño, forma, ubicación y orientación real en el proyecto. La información no gráfica está incluida en el objeto, así como su integración con otros componentes. Este nivel de desarrollo “es adecuado para el mantenimiento y el funcionamiento del proyecto” (BIMForum, 2015).

“Existe una relación entre los niveles de desarrollo y la función que el elemento muestra. Es decir, un nivel LOD 100 nos permite estimar en su conjunto como va a ser el elemento; LOD 200 de una manera más específica, LOD 300 ofrece tanto detalle como para poder “comprarlo”, LOD 400 define la instalación o construcción del elemento y LOD 500 su mantenimiento” (BIM Forum Chile et al., 2017).

A continuación se presenta una tabla comparativa, con las principales características que poseen los distintos niveles de desarrollo.

Tabla 2.2. Nivel de desarrollo

LOD	REPRESENTACIÓN GRÁFICA	INFORMACIÓN NO GRÁFICA	OBSERVACIONES	EJEMPLO
100	No	No	Puede ser información no gráfica asociada a otro elemento.	
200	Aproximado	Sí	–	
300	Sí	Sí	–	
350	Sí	Sí	Los ítems necesarios en la coordinación de elementos cercanos o enlazados son modelados. Dichos ítems pueden ser, entre otros, apoyos o uniones.	
400	Sí. Verificada	Sí	Se modela con el detalle necesario para la fabricación del componente que representa.	
500	Sí	Sí	En el documento del BIMForum no se hace referencia a elementos LOD 500 puesto que estos están referidos a la verificación y no son una indicación de la progresión a un nivel superior de la geometría del elemento de modelo o información no gráfica.	

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: Espacio BIM AUTODESK

A medida que aumentan los niveles de desarrollo, detalle y de información, también aumenta el nivel de madurez del elemento. Esta ganancia está influida directamente por la cantidad y calidad de los parámetros que se agregan al modelo siempre y cuando éstos sean modificables.

Cabe destacar que la elección del nivel de desarrollo, detalle y de información, dependerá de cada proyecto y de sus propiedades, características únicas y necesidades en cada etapa.

2.4. INTEROPERABILIDAD BIM

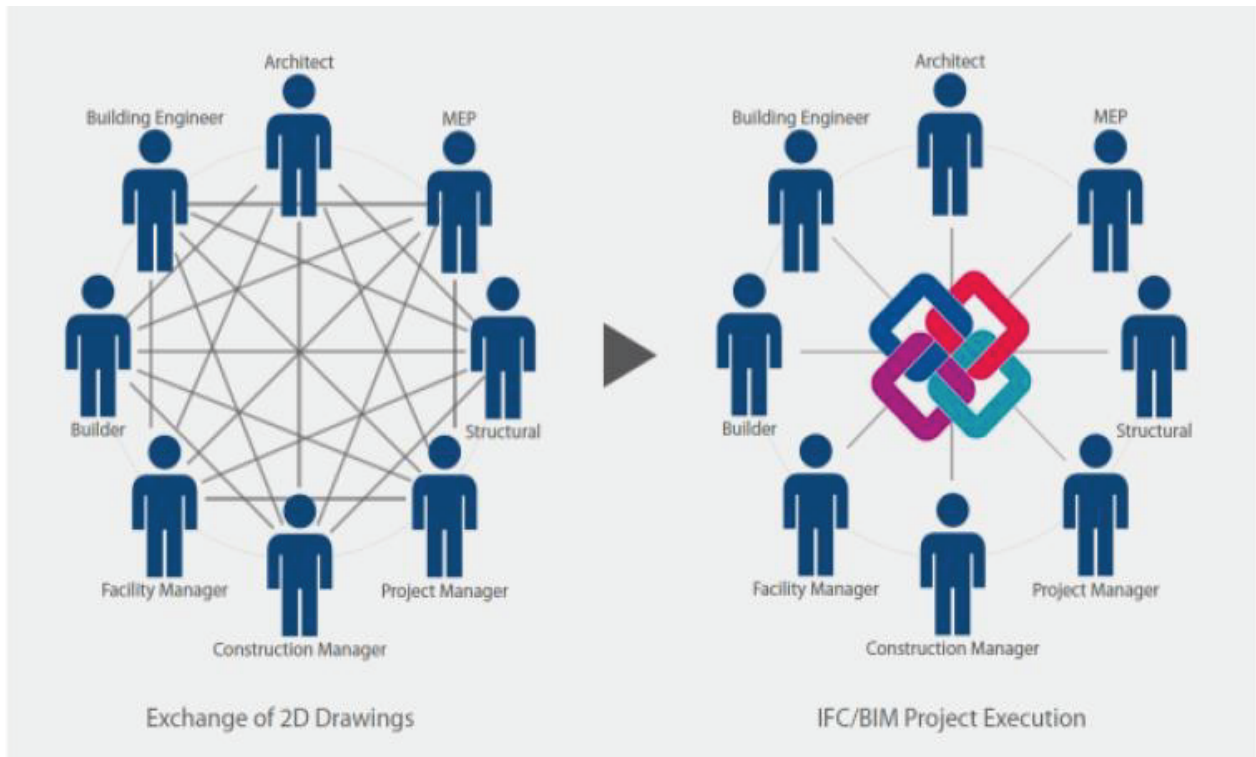
En las distintas etapas de un proyecto participan varios profesionales y actores externos como proveedores o publicidad y propaganda. Es por esto que es de gran importancia que todos los involucrados puedan intercambiar información para el desarrollo integral del proyecto, tratando de minimizar los costos de materiales y de producción. Debido a estas necesidades, la industria se ve en la urgencia de crear un formato base que permita el intercambio de datos de forma segura, evitando errores y pérdida de información. Como resultado, se crean las extensiones como .IFC o .COBie, siendo las extensiones más utilizadas para el traspaso de información de un software a otro.

2.4.1. .IFC

El .IFC significa Industry Foundation Classes. Es el formato que se da a todo tipo de archivos, desde aquellos que contienen cronogramas hasta diseños, permitiendo así el intercambio de un modelado BIM sin pérdida de la información interna y externa de los elementos. La característica de los archivos .IFC es que son de código abierto, es decir que no son regulados por ninguna empresa desarrolladora de software, no obstante, pertenecen a buildingSMART, plataforma digital neutral que no está controlada por un único vendedor, lo que permite la transmisión de datos entre distintos programas con la finalidad de conseguir un trabajo común.

El propósito de la creación de esta extensión de archivos es facilitar la interoperabilidad entre los distintos software que trabajan con una plataforma colaborativa BIM.

Figura 2.7. Relaciones entre agentes según metodología tradicional y BIM



Fuente: (Data Design System, 2017)

2.4.1.1. Cómo funciona

De acuerdo a la publicación de BuildingSMART, .IFC se convirtió en la principal herramienta para llegar a cumplir la visión de Open BIM, “que pretende establecer un método universal para fomentar el trabajo colaborativo en el diseño y construcción de los edificios basados en estándares y flujos de trabajo abiertos” (González, 2017). Los archivos con formato .IFC son los encargados de recoger toda la información correspondiente a los elementos del proyecto, por ejemplo las instalaciones, los espacios, zonas verdes, elementos estructurales y no estructurales, incluyendo las propiedades de cada elemento constructivo. Todos estos datos están generalmente codificados con uno de los tres formatos:

- .IFC esta extensión de archivo es la opción predefinida basada en los estándares ISO.
- .IFCxml esta extensión de archivo se encarga de la codificación basada

sobre lenguaje XML.

- .IFCzip esta extensión de archivo se encarga de la compresión de los formatos, que contienen archivos, documentos, tablas de contenido, PDF e imágenes.

Todos los software certificados por la BuildingSMART son capaces de leer, escribir e intercambiar información mediante el archivo .IFC con cualquier programa que pueda relacionar metodologías y procesos BIM. Según los datos proporcionados por la BuildingSMART, el estándar .IFC es usado por más de 140 software en el mercado.

Es muy importante mencionar que la interoperabilidad completa entre las diversas herramientas computacionales es compleja, debido a que cada programa trabaja con diferentes códigos informáticos, sin embargo, así no se logra una interoperabilidad completa entre herramientas informáticas, aunque sí se ahorra considerablemente el tiempo de trabajo y comunicación

Otro tipo de extensión de archivos de transferencia, que se desarrolló paralela a .IFC es .COBie (Construction Operations Building Information Exchange). El objetivo de la creación de .COBie es facilitar y estandarizar la transferencia de la información en las distintas etapas del ciclo de vida de un proyecto. En la actualidad, esta extensión de archivos de transferencia se encuentra en etapa de desarrollo, no obstante, varios desarrolladores de software de diseño están desarrollando herramientas compatibles con .COBie (Brugarolas, 2016).

2.5. TIPOS DE SUBMODELOS

El BIM puede abarcar distintos tipos de submodelos en las etapas de un proyecto, en función del nivel de madurez y los objetivos que se desea alcanzar. Los distintos submodelos contienen información detallada y paramétrica de todos los elementos. Esto se debe considerar para el desarrollo de un diseño que contenga la mayor cantidad de información, que facilite el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

A continuación, se presenta diferentes tipos de submodelos que son abarcados comúnmente en un proyecto desarrollado con BIM.

2.5.1. Submodelo arquitectónico

Este modelo se caracteriza por facilitar la comprensión general del proyecto al igual que la identificación del sistema estructural preliminar en el proyecto, facilitando la obtención de información planimétrica. Adicionalmente, es empleado con gran frecuencia para la representación gráfica 2D del proyecto o para obtener los permisos municipales. Además, permanece en constante desarrollo a lo largo de la vida del proyecto, retroalimentándose de información y parámetros necesarios de las distintas etapas. Es importante identificar el objetivo de este submodelo previo a iniciar su implementación (BIM Forum Chile et al., 2017).

2.5.2. Submodelo estructural

A partir de la información arquitectónica de un submodelo se facilita el análisis del sistema estructural de un proyecto. Se debe considerar la precisión de las dimensiones de los elementos constructivos para realizar el análisis estático y de comportamiento sísmico de la estructura mediante simulaciones virtuales, o paquetes computacionales con alto nivel de confiabilidad. En este submodelo existe la posibilidad de optimizar la estructura mediante software de cálculo, lo que se verá reflejado directamente en la geometría arquitectónica de los elementos estructurales y a su vez, facilitará el entendimiento de los detalles estructurales, como la disposición del acero de refuerzo o la necesidad de implementar placas corta pandeo en columnas metálicas (BIM Forum Chile et al., 2017).

2.5.3. Submodelo de coordinación (Arquitectónico con Estructural)

Al incorporar los submodelos arquitectónico y estructural, se facilita el análisis volumétrico preliminar, donde se pueden detectar problemas geométricos entre las disciplinas. Este análisis se ve reflejado directamente en el tiempo y el costo de

proyecto, debido a que se conocerán los posibles conflictos antes de la construcción. Se debe comprender que este submodelo no tiene el nivel de detalle necesario para realizar la cubicación.

2.5.4. Submodelo de instalaciones

Las disciplinas que se involucran en un submodelo de instalaciones pueden ser climatización, electricidad, sanitario, entre otras, dependiendo del nivel de complejidad del proyecto. Este submodelo puede ser desarrollado una vez terminada la coordinación entre la arquitectura y la ingeniería estructural. En esta instancia deberán realizarse el trazado y la incorporación de equipos y accesorios de las distintas instalaciones. Los profesionales encargados de las instalaciones tendrán un modelo que les permita identificar la localización de elementos que se interpongan con las instalaciones.

2.5.5. Submodelo de impacto en el sistema de transporte y pavimentos

Actualmente, en el desarrollo de smart cities o ciudades inteligentes, una de las principales consideraciones que se tiene es el diseño de Estudios de Impacto sobre el Sistema de Transporte Urbano (EISTU) y pavimentos. Esta línea de estudios se encarga de la identificación de obras exteriores con mayor concentración de flujo vehicular y de movilidad de peatones. Esta herramienta resulta realmente útil en la generación de información para las obtención de permisos municipales (BIM Forum Chile et al., 2017).

2.5.6. Submodelo de coordinación de especialidades

Una vez terminados los submodelos antes mencionados se incorpora esta información volumétrica a un modelo general, que abarca todas las disciplinas, con el fin de detectar errores u obstrucciones entre los trazados de las especialidades; lo que facilita la coordinación y la comunicación entre las disciplinas, mejorando la etapa de corrección en conjunto con los proyectistas.

2.5.7. Submodelo de construcción preliminar

Este submodelo es útil para planificar los procesos constructivos, lo que posteriormente se verá reflejado en un cronograma de actividades, donde se dé seguimiento del avance de obra en función del tiempo y del costo.

2.5.8. Submodelo de cubicación

Es un modelo de arquitectura e ingenierías con mayor desarrollo de detalle, utilizado como herramienta para cuantificar elementos constructivos de un proyecto. Este modelo puede incluir los diseños de distintas disciplinas vinculadas, como referencia externa. Mediante tablas de resumen, se puede determinar la cantidad exacta de elementos constructivos presentes en la totalidad del modelo, ya sea cuantificándolos, midiendo su volumen, área o longitud total, según el caso.

2.5.9. Submodelo de construcción

Resulta de la integración de los otros submodelos con un alto nivel de detalle geométrico, además contiene información de arquitectura, estructura e instalaciones, información necesaria para los procesos constructivos. Esto agiliza la toma de decisiones, al igual que la solución de problemas constructivos complejos.

2.5.10. Submodelo As Built

Es la actualización continua durante el proceso de construcción e incluye las respectivas modificaciones que se presentan en obra, buscando así una representación digital de alta fidelidad del proyecto ya construido. Por ello, involucra a todos los submodelos BIM dentro del proyecto (BIM Forum Chile et al., 2017).

2.5.11. Submodelo de operación y mantenimiento

Se utiliza a partir del modelo As Built y una vez el proyecto se encuentre en la etapa de puesta en marcha. Es necesario tener las recomendaciones de uso de las

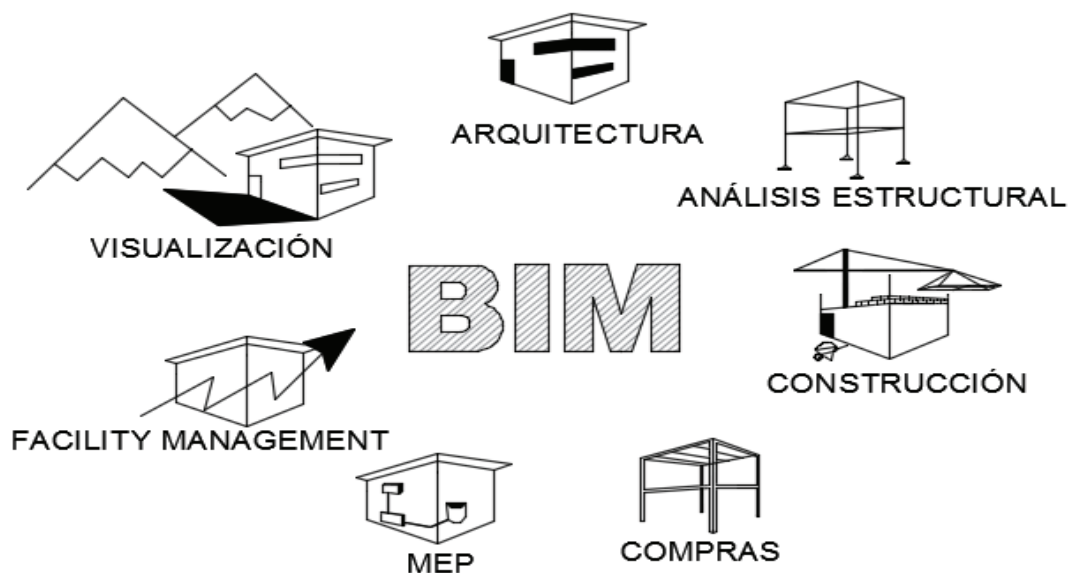
distintas disciplinas, en especial las que comprenden equipos mecánicos, eléctricos y trazados de instalaciones. También permite que la información sea dinámica, adicionalmente permite identificar los requerimientos y especificaciones, de modo que las etapas de mantenimientos se cumplan de acuerdo a la norma, como la prueba del sistema contra incendios, recarga de extintores, mantenimiento de ascensores e instalaciones especiales (BIM Forum Chile et al., 2017).

2.6. TRABAJO COLABORATIVO

El trabajo colaborativo es la fuerza principal de BIM y esto se debe a la integración de los diferentes agentes técnicos. Su herramienta principal son los distintos paquetes computacionales, destinados a facilitar el trabajo; produciendo un modelo digital único y detallado, al mismo tiempo, sin importar su ubicación del personal técnico.

Como se observa en la figura 2.8, donde se representa un esquema de la integración de las diferentes disciplinas en BIM, haciéndolo un modelo completo con información más clara y detallada de las distintas áreas.

Figura 2.8. Trabajo colaborativo BIM



Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Para llegar al trabajo colaborativo es necesario que los profesionales que intervienen en el proyecto estén capacitados en el uso de paquetes computacionales que tengan características de interoperabilidad. Esto no quiere decir que todo dependa del manejo adecuado de un programa o del aprendizaje de uno nuevo, sino que también parte de un cambio de mentalidad y una adecuada adaptación a entornos grupales, donde se destaque el desarrollo de un objetivo general que en este caso será la concepción y desarrollo de un proyecto relacionado con la industria de la construcción.

Este apartado conforma una de las líneas más importantes de la definición de las nuevas metodologías y procesos BIM, puesto que los profesionales involucrados, proveedores, promotores y el usuario final deben trabajar de forma sinérgica, adaptando su procesos y flujos de trabajo.

La metodología tradicional tiene un formato de procedimientos lineales, es decir las actividades deben ser estrictamente sucesivas, con un alto nivel de dependencia y con frecuencia los errores que se pasan por alto en etapas tempranas de un proyecto, salen a la luz en la ejecución afectando el tiempo y el costo de la planificación. La adecuada comunicación facilitaría el proceso de coordinación del proyecto desde las etapas tempranas, esto se verá reflejado en la eficiencia del trabajo y sobre todo en el buen desarrollo de la información que ayuda en la toma de decisiones.

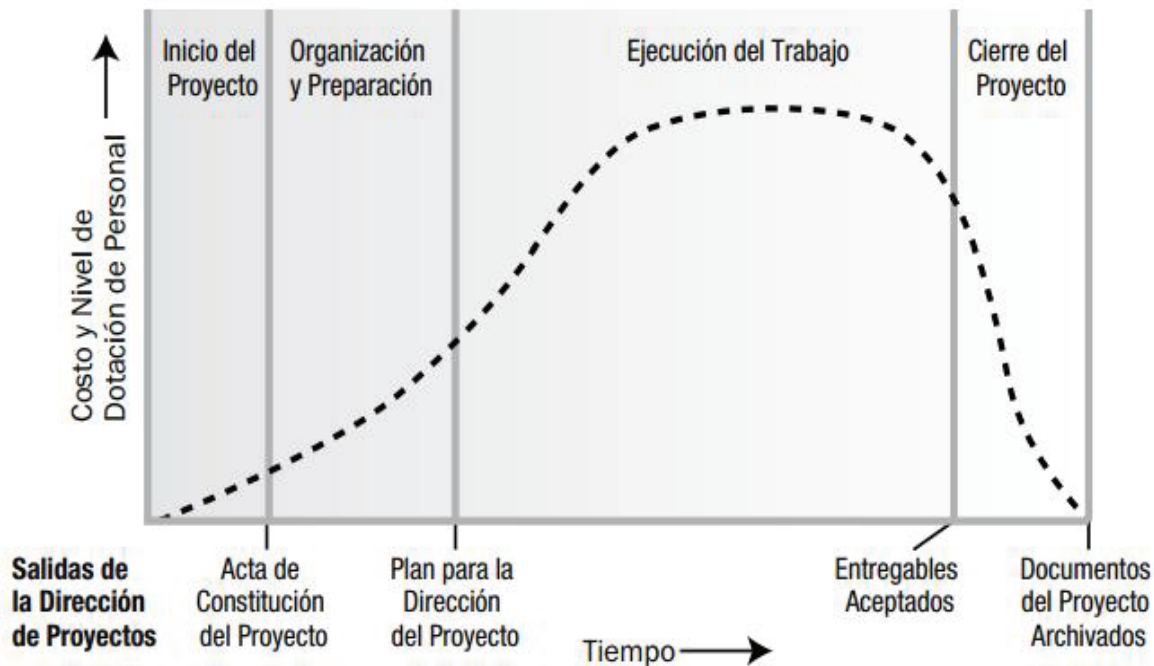
2.7. CICLO DE VIDA

El ciclo de vida es la serie de fases y procesos que debe atravesar un proyecto, desde su concepción, hasta su cierre. Esto permite establecer puntos de control de las fases en el tiempo. El ciclo de vida de un proyecto se debe documentar de acuerdo con la metodología sobre los aspectos únicos de la organización, de la industria o de tecnología.

El ciclo de vida provee los lineamientos y requisitos básicos para dirigir el proyecto,

independientemente de las actividades específicas a realizar por cada disciplina. La gran mayoría de los proyectos pueden alinearse en el siguiente esquema genérico del ciclo de vida, siempre y cuando no se considere su tamaño y complejidad, como se observa en la figura 2.9.

Figura 2.9. Niveles típicos de costo y dotación de personal en una estructura genérica del ciclo de vida del proyecto



Fuente: (Project Management Institute, 2013)

Con frecuencia se suele confundir el alcance del proyecto con el alcance del producto. Por esta razón, es necesario definir los dos conceptos.

“El alcance del producto se refiere a las características y funciones del producto o servicio” (Project Management Institute, 2013). Por ejemplo, queremos producir 50 casas de interés social de 45 m², dos dormitorios, una sala y un área para la cocina – comedor.

“Por otra parte, el alcance del proyecto consiste en definir todos los procesos y el trabajo necesario para que el producto sea provisto con todas las características y funciones requeridas. (..) El alcance del proyecto es más amplio que el alcance del

producto” (Project Management Institute, 2013), en la figura 2.10, se presenta gráficamente la relación entre el alcance del proyecto y del producto.

Figura 2.10. Alcance del proyecto y del producto



Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: (Project Management Institute, 2013)

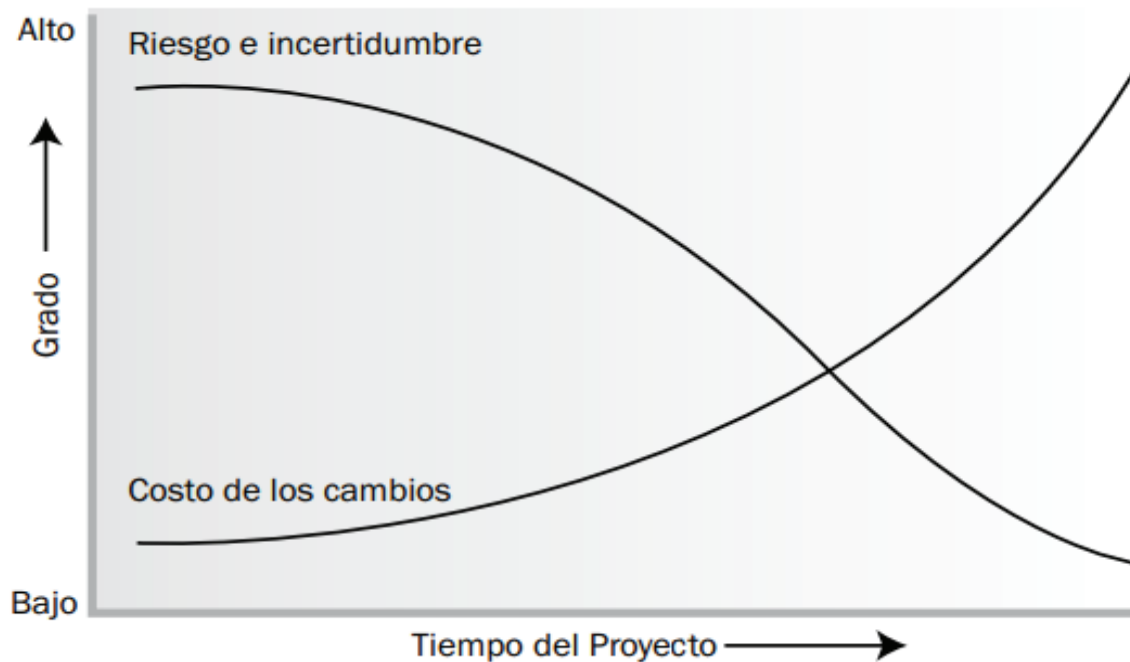
“El ciclo de vida del proyecto es independiente del ciclo de vida del producto generado. No obstante, el proyecto debe tener en cuenta la fase actual del ciclo de vida del producto. Esta perspectiva general puede proporcionar un marco de referencia común para comparar proyectos, incluso si son de naturaleza diferente” (Project Management Institute, 2013).

Por lo general esta estructura presenta las siguientes características:

- Como se puede observar en la figura 2.9, los costos por recursos y personal son bajos en las etapas de inicio y de organización, sin embargo, alcanzan su punto máximo según avanza el proyecto y con mayor notoriedad en la etapa de ejecución, para posteriormente decaer de forma considerable en la etapa de cierre.
- Esta curva no es aplicable a todos los proyectos ya que algunos requieren sustanciales recursos al inicio de su ciclo de vida, como las consultorías en proyectos hidroeléctricos.

- Según la figura 2.11, la curva que representa el riesgo e incertidumbre es mayor en las etapas iniciales del proyecto. Pero notablemente esta curva decrece durante el avance del proyecto, a medida que se toman decisiones y se presentan entregables.
- El análisis económico y de costos es una de las necesidades básicas en cualquier proyecto. En la figura 2.11, se comprende que la posibilidad de modificar las características finales, sin afectar considerablemente los costos, se presenta al inicio del proyecto y disminuye en función del avanza del proyecto.

Figura 2.11. Impacto de las Variables en Función del Tiempo del Proyecto



Fuente: (Project Management Institute, 2013)

Los ciclos de vida adaptativos fueron propuestos con la intención de implementar cambios constantemente, a lo largo de las etapas del proyecto, con un costo de los cambios más bajo que en los ciclos de vida predictivos. Es por esta razón que, “las características permanecen presentes en casi todos los ciclos de vida de los proyectos, no siempre están presentes en el mismo grado” (Project Management Institute, 2013).

2.7.1. Ciclos de vida predictivos

Este tipo de ciclos de vida se encuentran totalmente orientados al plan, es decir que son aquellos donde el tiempo y costo del alcance se determinan lo antes posible.

“Generalmente se opta por ciclos de vida predictivos cuando el producto a entregar se comprende bien, existe una base práctica significativa en la industria, o cuando un producto debe ser entregado en su totalidad para que tenga valor para los grupos de interesados” (Project Management Institute, 2013).

2.7.2. Ciclos de vida incrementales

Son aquellos donde se repiten una o varias actividades del proyecto de forma premeditada, a medida que aumenta la comprensión. El seguimiento detallado de las actividades va agregando funcionalidad al producto. En la mayoría de casos, es común que se desarrolle una visión de gran impacto para el emprendimiento general del proyecto, sin embargo, se debe elaborar un alcance individual y detallado para cada iteración.

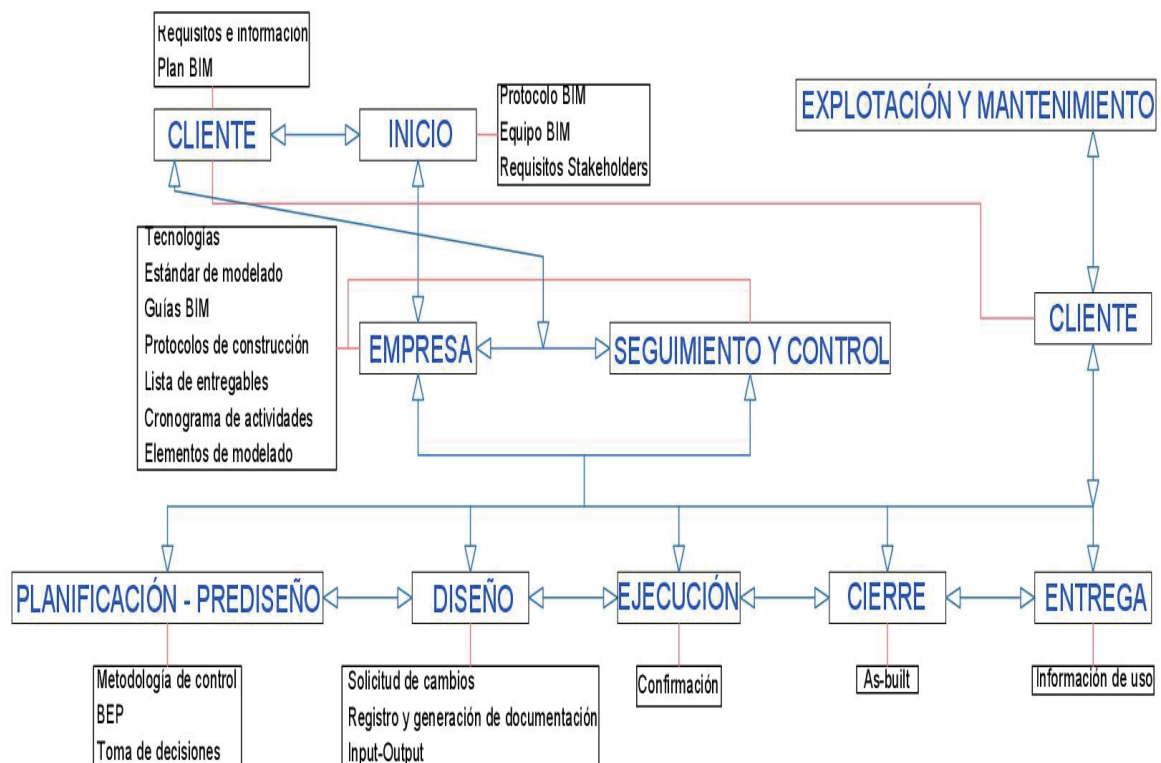
En este trabajo de investigación se consideró importante realizar el análisis de la definición del ciclo de vida de un proyecto, al igual que el estudio de sus variantes, debido a que esta es una de las principales cualidades que distinguen a las metodologías y procesos BIM de la metodología tradicional de superposición. De acuerdo a la explicación anterior, se puede determinar que BIM integra el ciclo de vida incremental como principio fundamental para la comprensión global de un proyecto; que puede ser nutrido y retroalimentado conforme al desarrollo de los alcances y las necesidades del mismo. La reducción de la complejidad de un proyecto, sin importar su naturaleza, se ve reflejada en el decrecimiento significativo del riesgo en etapas de ejecución.

2.8. FLUJO DE TRABAJO CON BIM

Los proyectos que se han desarrollado con la metodología tradicional presentan conflictos con la actualización de sus archivos y formatos, lo que provoca una deficiencia en el proceso continuo del trabajo, afectando directamente en la sincronización de los cambios. Como contra posición, BIM presenta un flujo de trabajo dinámico que permite la modificación inmediata de la información global del proyecto, facilitando la comprensión y la adaptación a los cambios.

En un proyecto que se desarrolle con un flujo de trabajo BIM, se van a identificar a simple vista ciertos aspectos, los más importantes de ellos son, el trabajo y la comunicación son en dos direcciones, existe un control continuo por los responsables técnicos y clientes sobre el producto final, el trabajo es colaborativo, no es un proceso lineal la concepción del proyecto y la información / documentación es modificada continuamente con mejoras. A continuación, se presenta el esquema del flujo de trabajo con BIM, en la figura 2.12, donde se destacan las fases, proceso y finalmente los entregables que se deben obtener.

Figura 2.12. Flujo de trabajo con BIM



Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

La empresa y el seguimiento de trabajo estarán sobre las etapas del proyecto, garantizando el fiel cumplimiento de los objetivos marcados por los clientes; para garantizar el cumplimiento es importante que la comunicación de los profesionales sea en dos direcciones, por esta razón en el esquema se colocó flechas en doble sentido de color azul -que represente la retro alimentación de la información del proyecto-. El texto colocado en color negro representa la información necesaria o actividades que se generan en las distintas etapas, por ejemplo en el inicio es importante tener claro: Las necesidades de los stakeholders, el protocolo BIM a emplear, BEP y para cumplir con esto el personal técnico.

En el caso del diseño, se considera como la etapa previa a la entrega definitiva - con alto nivel de precisión y detalle-, por esta razón, es necesario el ingreso de documentación, información y modelos que permitan realizar modificaciones precisas para generar un producto completo y que además, permita la salida de entregables precisos.

La ventaja es que toda la información paramétrica del modelo BIM va evolucionando durante las distintas fases del proyecto, lo que representa una facilidad para la obtención de la documentación (Cárdenas, 2016).

2.9. PROTOCOLO BIM

En concordancia con las normativas internacionales y las guías de implementación BIM -usadas como referencia bibliográfica para este trabajo de investigación-, se considera que un aspecto a tomar en cuenta en el flujo de trabajo es el protocolo BIM.

El protocolo BIM es un acuerdo legal complementario que regula las obligaciones y derechos del contratante y del contratista. El fin del protocolo es asegurar que todos los profesionales involucrados en el proyecto sean nombrados sobre un rango común; ya que trabajan de forma coordinada en un proyecto que abarca todas las disciplinas, de forma integral, para entregar un único producto. El

protocolo BIM debe incluir referencias a todos los modelos BIM que son requeridos por el cliente o, a su vez, el promotor en cada etapa del proyecto. Adicionalmente, se debe presentar todos los requisitos de información donde se detallan las normas de gestión de la información que se adoptarán en un proyecto (University of Cambridge, 2013).

Los principios fundamentales de la aplicación del Protocolo BIM son:

- Los encargados responsables de la producción de modelos BIM deben tener el protocolo incorporado en su contrato.
- Se debe detallar todos los modelos BIM que van a ser producidos por las partes contratadas.
- Los apéndices tienen que completarse con información específica del proyecto. Estos deberían estar disponibles a partir de la documentación previa a los requisitos de información del empleador.
- Los cambios en el protocolo y sus apéndices deben ser tratados como variaciones en el Contrato (Cárdenas, 2016).

2.10. PLAN DE EJECUCIÓN BIM (BEP)

Las siglas BEP se definen como BIM Execution Plan y su traducción al español es Plan de Ejecución BIM. El primer BEP apareció como resultado de una tesis doctoral, en la Universidad Estatal de Pennsylvania, en Estados Unidos, en el año 2009, elaborada por Chitwan Saluja. El propósito del BEP es definir el conjunto de entregables BIM, para guiar de forma secuencial y programada la coordinación del personal técnico y recursos involucrados en el proyecto. El entregable final del proyecto dependerá, en su gran mayoría, del correcto seguimiento y avance detallado de cada actividad. Cada proyecto tendrá de forma individual un BEP característico, ya que este debe ser ajustado a las necesidades específicas de cada trabajo. Su premisa es que cada proyecto es un producto individual, cuyas características son irrepetibles y únicas. Por lo que podemos decir que el BEP tampoco se repetirá.

El BEP es un “documento que define de forma global los detalles de implementación de la metodología BIM a través de todo el proyecto, definiendo el alcance de la implementación, los procesos y tareas BIM, intercambios de información, infraestructura necesaria, roles y responsabilidades” (Choclán & AEDIP, 2017)

A grandes rasgos, todas las guías de BEP tienen en común lo siguiente:

- Identificación del Proyecto (datos generales, coordenadas, niveles y zonas, tipo y localización).
- Identificación de personal técnico y grado de responsabilidad en cada tarea.
- Objetivos del proyecto, usos del BIM y su alcance.
- Las tareas necesarias.
- Formas de colaboración e intercambio de datos.

Con un adecuado desarrollo del BEP, los responsables técnicos, al igual que los proveedores y participantes, pueden obtener grandes ventajas de este documento como una mayor claridad de las metas, reducción de incógnitas y las estrategias para la implementación de BIM, lo que permite que todos los involucrados tengan roles y responsabilidades definidas, para facilitar el proceso de diseño y una ejecución adecuada.

2.11. ROLES Y COMPROMISOS

El éxito de un proyecto va a depender del personal técnico involucrado o también llamado capital humano. El personal técnico debe ser capaz de desenvolverse con gran facilidad en entornos complejos y dinámicos. Adicionalmente, es importante comprender que la implementación de una nueva metodología va acompañada con la integración de nuevos roles. Por estas razones, para comprender de manera adecuada el mapa y flujos de trabajo BIM, es necesario identificar a los actores principales que se integran en la metodología BIM.

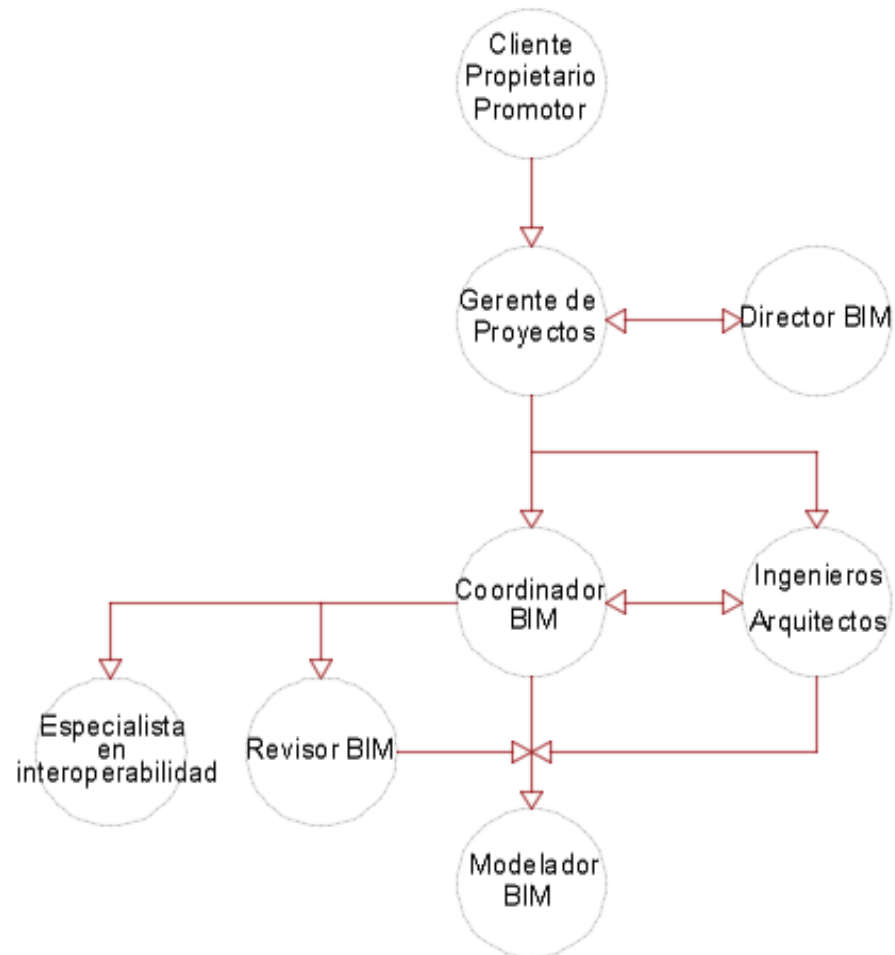
A continuación se definen los principales roles y compromisos que se incluyen en la metodología BIM, no obstante, es necesario mencionar que los roles técnicos presentados a continuación van a depender de la complejidad y del tamaño del proyecto.

- Gerente de Proyectos BIM: entre sus funciones abarca la administración e implementación de las herramientas BIM, facilita la información inicial como plantillas, objetos BIM, espacios de trabajo y criterios para el modelado. Todas sus actividades deben lograr que el proyecto sea coordinado utilizando herramientas BIM y articular las distintas especialidades.
- Coordinador BIM: es encargado de integrar los submodelos de distintas especialidades, detectar interferencias, proponer posibles soluciones y manejar flujos de información sin descuidar la coordinación.
- Modelador BIM: es el encargado de plasmar la información de las distintas especialidades en un modelo tridimensional, con software BIM. Se caracteriza por poseer gran capacidad de interpretación de planos de arquitectura, estructura y especialidades, así como conocimientos de construcción.
- Director BIM: se encarga de liderar el proceso de implementación BIM en la organización. Controla aspectos de facilidad, recursos económicos, recursos tecnológicos y la supervisión del personal técnico relacionado a BIM.
- Revisor BIM: sus funciones abarcan la revisión y control de los resultados, de acuerdo a las bases técnicas, normativas y plan de ejecución BIM de proyectos (BIM Forum Chile et al., 2017).
- Especialista en interoperabilidad: especialista en el formato de extensión de los archivos, identificar el contenido de los modelos, elaborar formatos de presentación y así como en asegurar la calidad de los entregables (Gómez, 2015).

La gran mayoría de los roles mencionados anteriormente guardan gran similitud con muchos de los agentes que interviene en el proyecto gestionado de la forma tradicional, sin embargo, el incremento de conocimiento y de actividades le dan

valor agregado a su cargo. Todos estos actores son parte de la metodología BIM y cada uno hace posible que el funcionamiento de la metodología se produzca. A continuación en la figura 2.13, se presenta un organigrama de los roles y su jerarquía

Figura 2.13. Flujo de trabajo con BIM



Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

CAPÍTULO 3

CONTEXTO MUNDIAL Y NACIONAL DE LA APLICACIÓN DE BIM

3.1. ANTECEDENTE TÉCNICO

3.1.1. Utilización de BIM en el Canal de Panamá

El Canal de Panamá es considerado una de las siete maravillas del mundo moderno, según la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles (ASCE), debido a que es una propuesta de infraestructura a gran escala y la principal vía de navegación entre el mar Caribe y el Océano Pacífico. Cuenta con esclusas en cada extremo para elevar los barcos sobre el nivel del mar, para después descenderlos hasta el nivel del Pacífico o el Atlántico. Para el tercer juego de esclusas, las Autoridades del Canal de Panamá otorgaron un contrato por 5,25 mil millones de dólares americanos al Grupo Unidos por el Canal (GUPC). El equipo de diseño llamado CICP, Consultores Internacionales, liderado por MWH Global y conformado además por TetraTech y Iv-Infra, tomaron en cuenta estándares de diseño muy rigurosos en cuanto a la capacidad de la estructura para soportar sismos de gran magnitud. El proyecto, consiste en configuraciones de pared de bloque que cumplen los criterios sísmicos más estrictos a un menor costo, también se implementó herramientas para el modelado de elementos finitos avanzados.

Este es un megaproyecto con un alto nivel de complejidad. Se estima que para la construcción de esta obra se ocuparon recursos de todo el planeta y en varias ocasiones se llegaron a agotar las reservas de material y la mano de obra de la región centroamericana. Se utilizó el equivalente de veintiséis veces el acero de la Torre Eiffel, ciento noventa mil toneladas de hormigón y ciento cincuenta millones de metros cúbicos de tierra y roca que fueron excavados y transportados. Para realizar esos movimientos, fue necesaria la contratación de empresas de distintos lugares del mundo, incluso muchas de ellas cambiaron su lugar de residencia

trasladando su maquinaria y oficinas a Panamá, debido a la gran demanda que presentaba este proyecto. Es importante mencionar que el consumo de agua de las esclusas consiste en un sistema de reutilización de agua, que se caracterizó por un consumo mínimo; dentro de las especificaciones ya establecidas por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) (Burleigh, 2012).

A continuación se presenta la figura 3.1, que representa uno de los primeros renders de la expansión del tercer juego de esclusas del Canal de Panamá.

Figura 3.1. Vista del modelo del tercer juego de esclusas



Fuente: MWH Global

Desde su inauguración, se logró acortar el tiempo y la distancia de comunicación marítima entre los océanos Pacífico y el Atlántico, llegando a ser una gran influencia en los patrones de comercio mundial. Se estima que se recaudan aproximadamente 1.800 millones de dólares americanos en peaje por año, convirtiéndose en una de las obras con más réditos a nivel mundial. En la figura 3.2, se presenta una fotografía aérea de la Boca del Canal de Panamá.

Figura 3.2. Boca del Canal de Panamá



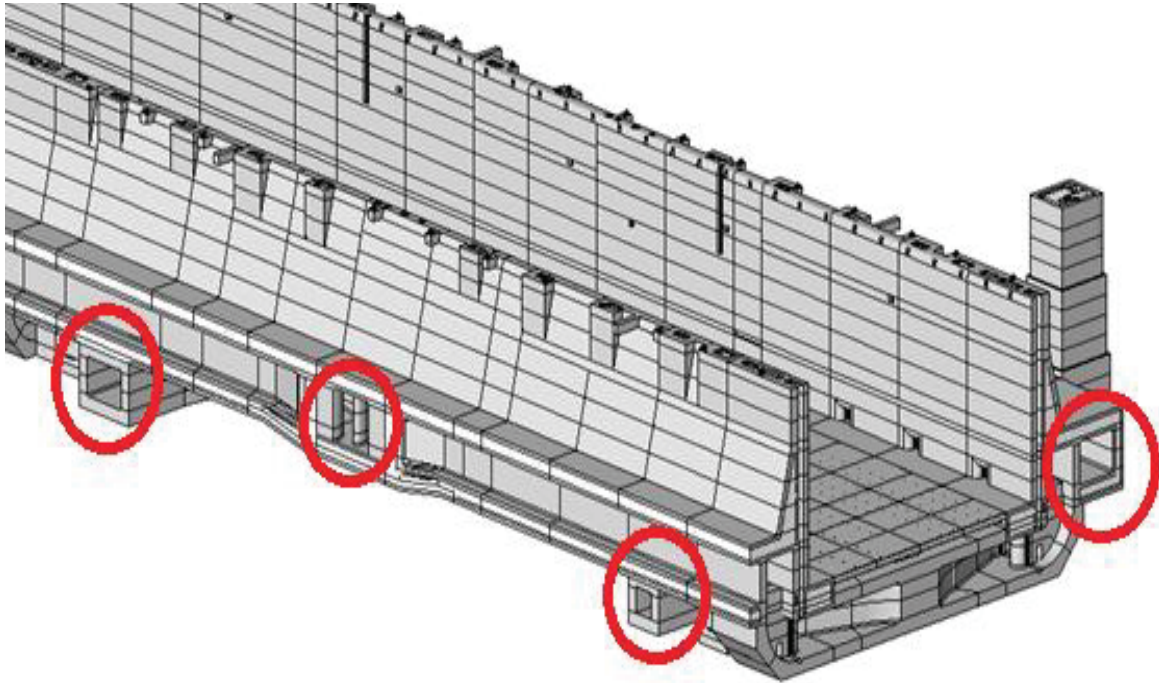
Fuente: Canal de Panamá

Las Autoridades del Canal de Panamá solicitaron el uso de BIM como eje primordial en este proyecto. Para lo que se requirió la colaboración de Autodesk Consulting, corporación que prestó servicios de asistencia permanente, brindando soporte técnico y capacitación continua del producto al personal técnico vinculado con el diseño de este proyecto.

“El trabajo ejemplar de MWH Global en el Canal de Panamá demuestra la manera como todo el portafolio BIM de Autodesk para soluciones de infraestructura, ayuda a los ingenieros civiles y a los diseñadores a aprovechar toda la información en modelos avanzados con el fin de mejorar la manera como planean, diseñan, construyen y gestionan proyectos” afirma Jay Bhatt, Vicepresidente de Soluciones de Arquitectura, Ingeniería y Construcción de Autodesk. Además indica que les “enorgullece ver que los paquetes computacionales juega un papel esencial en el éxito de tan importante proyecto de infraestructura”.

A continuación se presenta la figura 3.3, donde se observa el modelo en tres dimensiones de una de las cámaras, que consta de muros y ductos para las instalaciones.

Figura 3.3. Modelo 3D de una sección del Canal de Panamá



Fuente: (Duque, 2014)

En la publicación “BIM y el siglo 21. Canal de Panamá” elaborada en el 2012 por Steve Burleigh se menciona que BIM significó un gran avance en la industria de la construcción y particularmente en este proyecto.

En este proyecto se utilizó la suite completa de diseño para obras civiles de Autodesk para las distintas etapas. De acuerdo con MWH Global las herramientas utilizadas para el diseño del tercer juego de esclusas en el Canal de Panamá fueron:

- Revit con todos sus menús para el diseño de estructuras de las esclusas, edificios e infraestructuras secundarias como torres de control y zona administrativa (Revit Architecture, Revit Structure y Revit MEP).
- Civil 3D para el desarrollo de la topografía y el análisis de excavación y

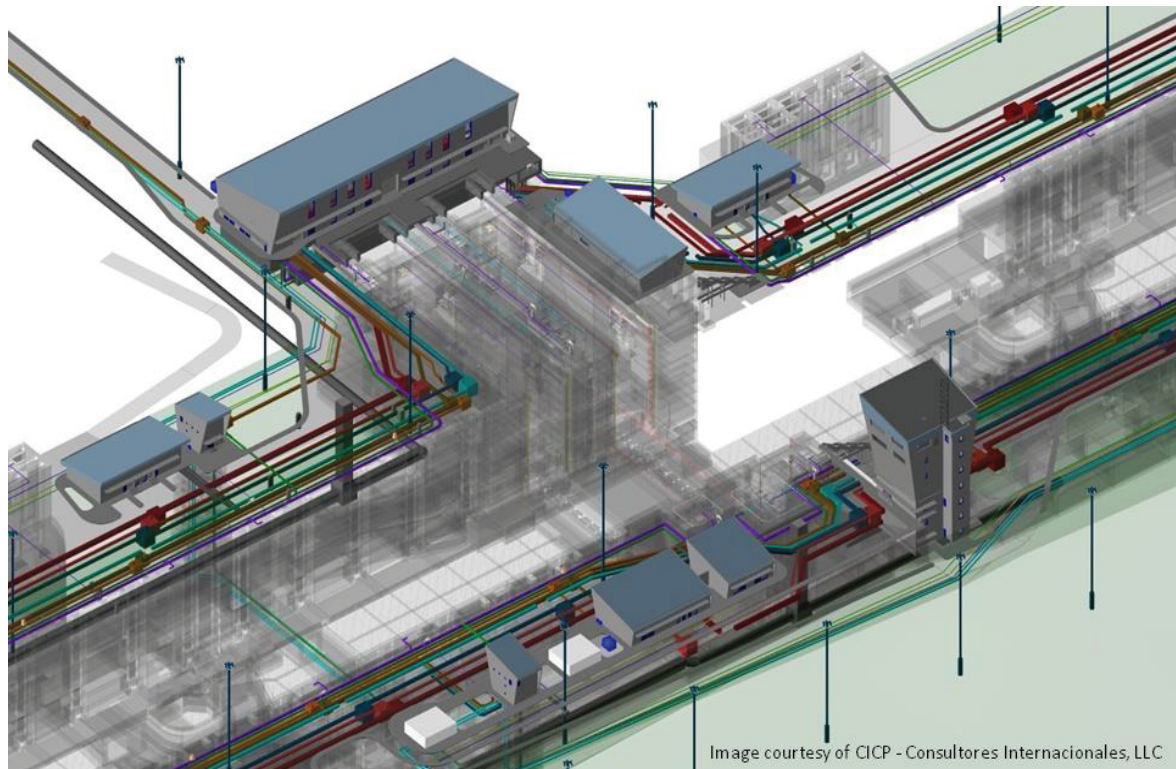
movimiento de tierras.

- AutoCAD Electrical para los diseños electromecánicos y de plantas.
- Navisworks para comunicación y visualización en el proceso constructivo. Involucra a los equipos ejecutores de las diversas disciplinas, ayuda a identificar colisiones del diseño antes de la etapa de construcción, aumenta la calidad del proyecto y colabora en la prevención de cambios en el costo y el tiempo.
- 3D Studio Max fue utilizado para el diseño conceptual y detallado de sus visualizaciones, para comprender las distintas opciones y para generar los renders publicitarios y de presentación.

Se debe considerar que existen una serie de paquetes computacionales adicionales a los antes mencionados, porque en cada especialidad existirán herramientas computacionales con alto nivel de confiabilidad para diseño y simulación de las obras. No obstante, los resultados de cada disciplina se integraron utilizando la suite BIM de Autodesk; así se pudo comprobar que estas herramientas utilizadas con buenas bases de conocimiento técnico, metodologías y procesos pueden ir muy lejos en proyectos constructivos.

A continuación se presenta la figura 3.4, donde se observa la integración de las distintas especialidades como mecánica, eléctrica, electrónica y de construcción, donde cada una de ellas se encuentra representada gráficamente por un color.

Figura 3.4. Integración de especialidades



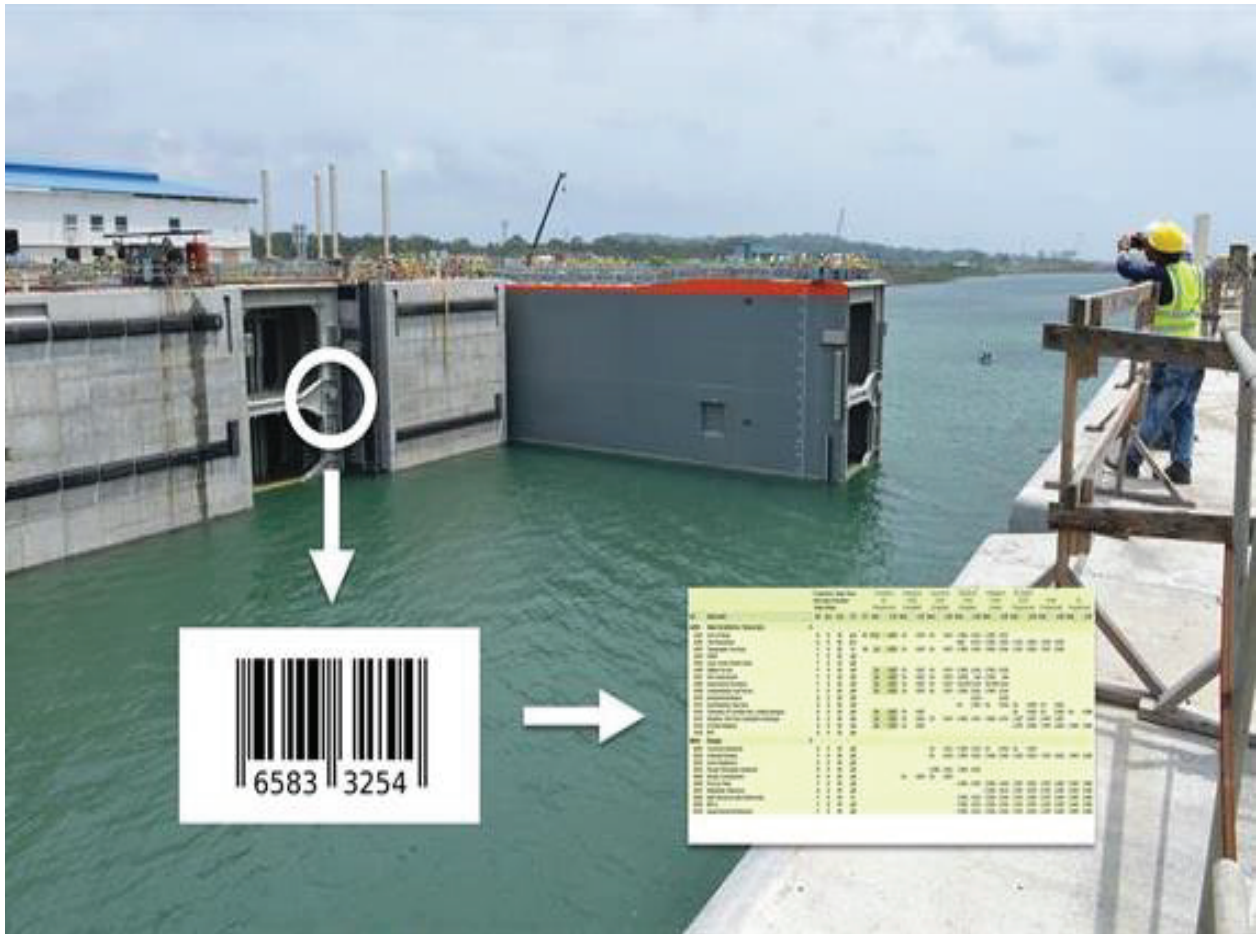
Fuente: (Duque, 2014)

MWH Global afirma que dieron pasos significativos en su proceso de diseño mediante la adopción de BIM en el Canal de Panamá, lo que les motivó a aplicar todo el conocimiento adquirido en otras grandes obras de infraestructura. De hecho, tanto el tiempo y la escala de ampliación del Canal de Panamá han colocado a la vanguardia de los casos de estudio para BIM en infraestructura.

Una vez concluida la obra, las autoridades del Canal de Panamá decidieron utilizar flujos de trabajo que involucren BIM para administrar la información de los activos, elementos y equipos físicos mediante el etiquetado de identificación, para un manual de mantenimiento y operación que abarque todo el entorno del proyecto.

El proceso de etiquetado consiste en la asignación de códigos de barras, que permiten a los usuarios escanear todos los elementos que forman parte de la obra para obtener la representación de los datos digitales que se relaciona con ellos, como se muestra en la Figura 3.5.

Figura 3.5. Etiquetas de identificación



Fuente: Canal de Panamá

Coordinar todo eso y planificar la forma en que se van a suplir todos los requerimientos, es una tarea monumental. La tecnología BIM en el Canal de Panamá fue una parte esencial de todo el proceso constructivo, y como veremos, lo seguirá siendo aún durante la operación.

Autodesk Inc., anunció que la organización MWH Global fue seleccionada para recibir el Premio Autodesk BIM Experience. Este consorcio fue reconocido por utilizar adecuadamente metodologías y procesos del Modelado de Información para Construcción, a través de herramientas computacionales BIM de Autodesk, para ayudar a diseñar el proyecto del tercer juego de esclusas para el Canal de Panamá. El premio consiste en:

- Mejorar la calidad del diseño para el proyecto del tercer complejo de esclusas del Canal de Panamá.
- Aumentar la productividad y rentabilidad, al gestionar eficazmente los cambios del diseño.
- Facilitar la comunicación con clientes y constructores a través de las visualizaciones.

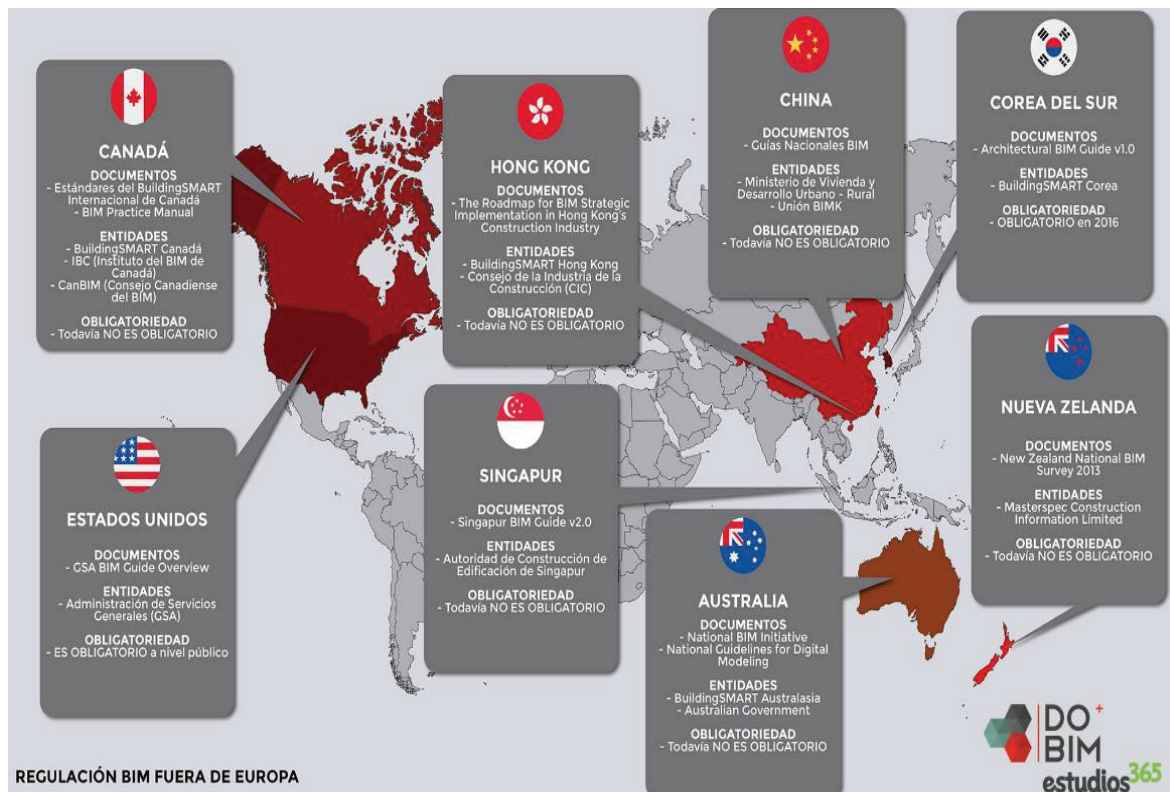
3.2. BIM EN EL MUNDO

Debido a las cualidades de la metodología BIM y versatilidad en distintos tipos de proyectos, ha ganado gran espacio en diferentes países, logrando niveles representativos de desarrollo. Las normativas y estándares varían de acuerdo a cada país en función de sus necesidades y el nivel de desarrollo de la industria de la construcción local, donde las organizaciones gubernamentales se encargan de la regularización, escritura y actualización de éstas (Falcão, Salvado, Couto, & Vale e Azevedo, 2016).

Los países que se han visto en la necesidad de emplear BIM son aquellos que buscan desarrollar la industria de la construcción y los campos económicos que se relacionan con ella, mediante la implementación de nuevas metodologías y las mejoras en paquetes computacionales.

A continuación se presenta la figura 3.6, que contiene una representación gráfica de los países que se encuentran más avanzados a nivel mundial en el proceso de adopción de metodologías BIM.

Figura 3.6. Documentos, entidades y obligaciones de BIM en distintos países



Fuente: (DoBIM, 2017)

3.2.1. Europa

Algunos países en el continente europeo ya han realizado los trazados principales de una hoja de ruta gubernamental para la implementación progresiva del uso de BIM. En los países en los que la adopción de BIM tiene un mayor recorrido, también se ha iniciado, de forma extendida, el uso de procesos BIM en proyectos inmobiliarios públicos con el fin de conseguir su optimización.

Entre algunos ejemplos de implementación de políticas públicas, educación e investigación podemos mencionar los siguientes casos.

- En Finlandia, desde el año 2007 el uso de BIM es un requerimiento; en las entidades públicas se exige archivos .IFC para la entrega de proyectos.
- En Noruega y Suecia la implementación de BIM ha ido más allá, la preparación universitaria de los futuros ingenieros tiene relación con nuevas

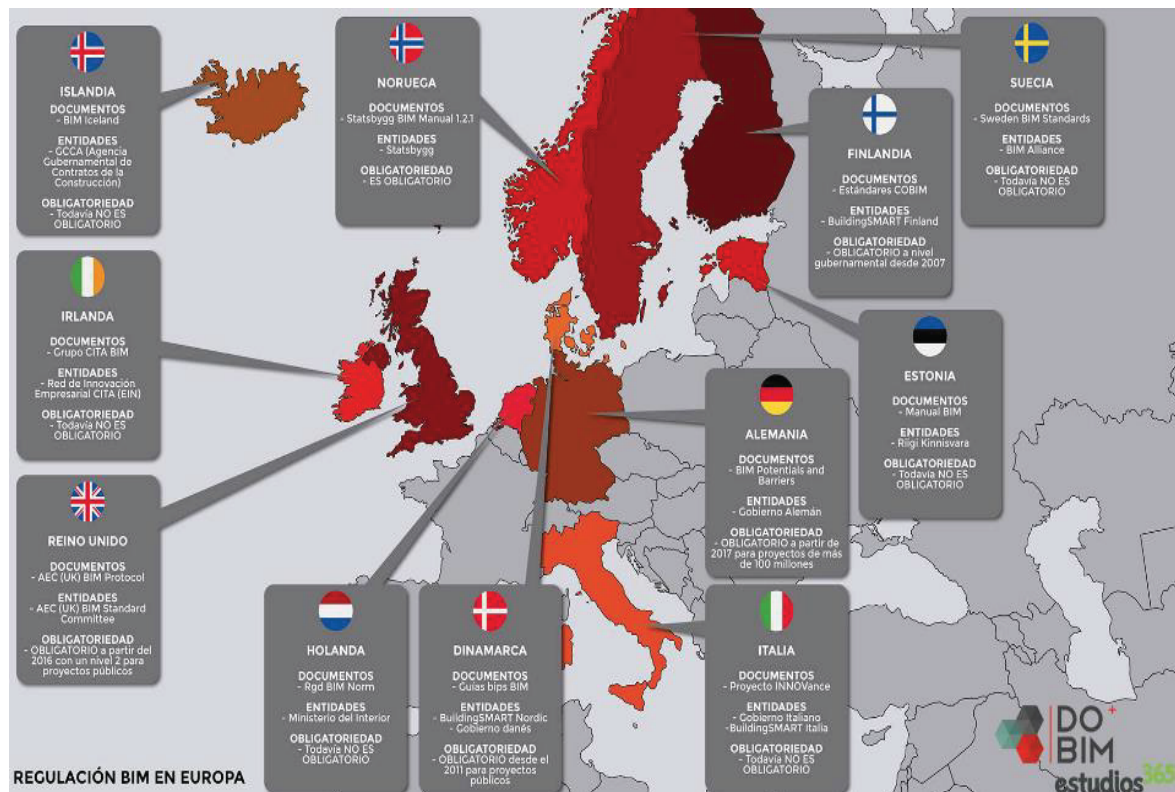
metodologías.

- En Noruega los departamentos gubernamentales encargados de las obras públicas exigen el uso de metodologías BIM en todos los proyectos y en sus edificios.
- London South Bank University, cuenta con la carrera de pregrado de Tecnología BIM en la arquitectura, que abarca el diseño global en 3D con herramientas computacionales.
- BIMhud. A learning hub for international problem based learning es una propuesta de investigación por parte de Loughborough University, en esta línea de investigación se integran docentes y estudiantes.
- Northumbria University, es la universidad con nivel más alto de madurez en cuanto a la enseñanza BIM, es sus ofertas académicas especifica que BIM es obligatorio en las asignaturas de modelado.
- Adicionalmente, Northumbria University ofrece maestrías como Máster en BIM, BIM Design Management
- La Universidad de Wolverhampton contempla un posgrado para la certificación en BIM.
- La universidad irlandesa, Dublin Institute of Technology, informa que BIM se encuentra integrado en sus grados, adicionalmente ofrece máster en BIM, y los diplomas y certificados de los cursos de posgrado en BIM.
- Galway Mayo Institute of Technology, ofrecen un diplomado en BIM al culminar la carrera de ingeniería civil (Oliver, 2015).

Se conoce que Europa contiene un nivel de madurez alto con respecto a BIM, que se pueden demostrar fácilmente a través de la revisión de estudios publicados y al nivel de importancia que presentan frente a la investigación de nuevas metodologías y su consecuente implantación (Di Giuda & Villa, 2015).

En la figura 3.7, se observa una breve descripción de los países europeos, con un mayor nivel de adopción de BIM.

Figura 3.7. Regulación BIM en Europa



Fuente: (DoBIM, 2017)

3.2.2. Asia

3.2.2.1. China

De manera resumida se presenta los principales lineamientos que se están considerando en China para la implementación de BIM:

- En el año 2013, se crea la China BIM Union, como parte de la China Industry Technology Innovation Strategic Alliance del Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- En el año 2016, comienza el proceso de desarrollo de estándares BIM, por parte de Chinese National Standard (Eskerrick Asko, 2016).

3.2.2.2. Corea del Sur

Según el informe desarrollado por McGrawHill en el año 2014, Corea del Sur es

uno de los países con un menor índice de vinculación y desarrollo BIM de su región. Sin embargo se puede mencionar que se han considerado los siguientes aspectos en su línea de implementación:

- En el año 2009, se considera por primera vez un plan de Implantación que pretende incorporar BIM en las empresas públicas en un periodo de 10 años.
- Para el año 2010, se publica la primera guía pública de BIM que contiene criterios generales al igual que aspectos a considerar para la implementación.
- En el año 2015, se presenta la propuesta de la incorporación de una plataforma digital, que permita presentar información detallada de proyectos dirigidos con BIM.
- En el año 2016, el usos de BIM en proyectos públicos que superen el equivalente a 50 mil dólares americanos, se convierte en obligatorio (Eskerrik Asko, 2016).

3.2.2.3. Singapur

Se considera que Singapur es uno de los países referentes en los aspectos relacionados a la implementación de BIM, al igual que el desarrollo de normativas y guías en el continente Asiático. Ya que es de los primeros países en analizar la necesidad de establecer programas para la transformación de la industria de la construcción mediante tecnologías de la información

A continuación se presenta las principales acciones relacionadas con la implementación de BIM en este país.

- En el año 2010, se presenta la hoja de ruta para implementación BIM para 2015, desarrollada por BCA, Singapore's Building and Construction Authority.
- Consideran aspectos BIM como elementos puntuable en proyectos públicos de edificación, desde el año 2012.
- A partir del año 2015, es obligatorio la utilización de metodologías y proceso

BIM en todos los proyectos públicos. Adicionalmente adoptan la extensión .IFC como estándar para la interoperabilidad nacional de BIM (Eskerrik Asko, 2016).

3.2.2.4. Japón

Según el informe realizado por McGraw Hill Construction, en 2014, más del noventa por ciento de los promotores reconocen beneficios directos derivados del uso BIM en Japón.

- En el año 2010, El Ministerio de infraestructuras plantea la propuesta de incorporación de un plan piloto sobre BIM en edificaciones.
- Para el año 2012, se publican guías BIM de conceptos e implementación por la Asociación de Arquitectos (Eskerrik Asko, 2016).

3.2.3. Norte América

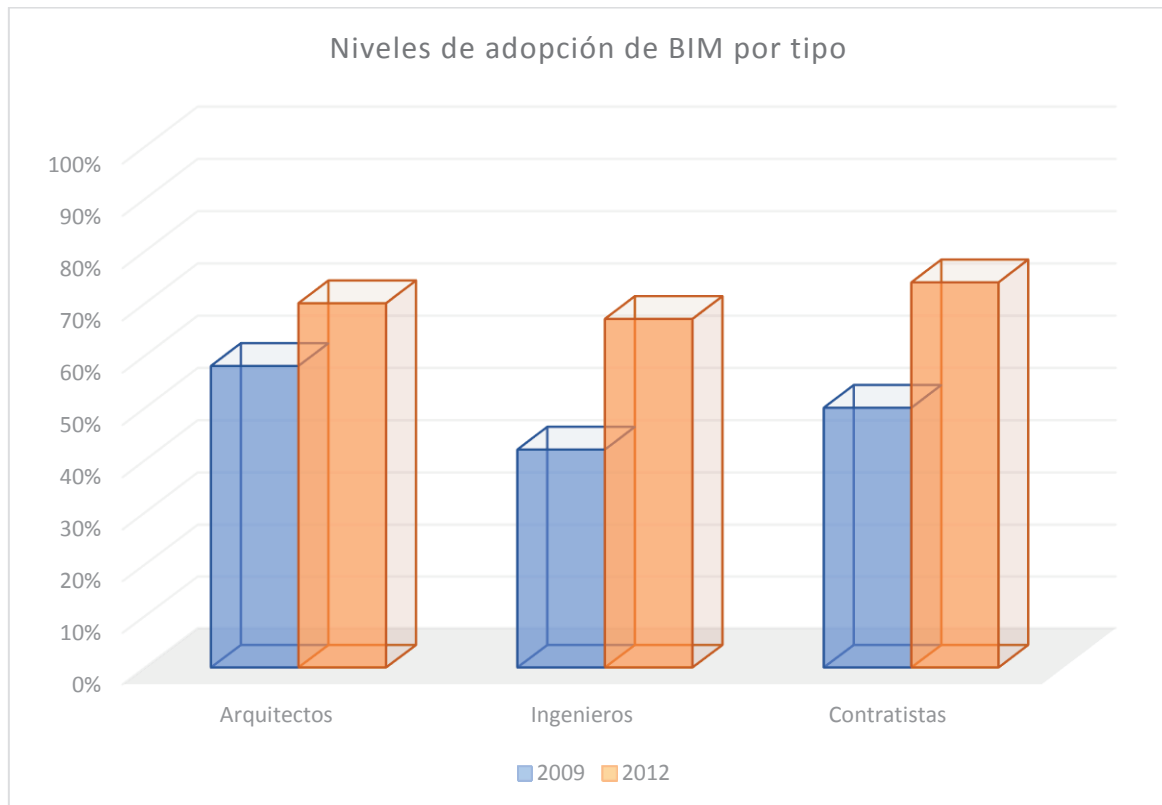
3.2.3.1. Estados Unidos

El National Institute of Standards and Technology (NIST) publicó en el año 2004 un documento que presenta la pobre interoperabilidad y el manejo deficiente de la información en proyectos de construcción y como resultado determinó que las pérdidas son de aproximadamente 15,8 billones de dólares americanos al año. Como propuesta para resolver estos problemas, en el año 2007, se anunció el National BIM Standard (NBIMS) para resolver todas las necesidades de los proyectos utilizando como eje motor la metodología BIM. Se consideró la capacidad que tiene para una mejora de la planificación, el diseño, el proceso de construcción, operación y mantenimiento con documentación precisa y de fácil comprensión (National Institute of Building Sciences., 2007). Como resultado de la investigación y la redacción de normativas se obtuvo, en el año 2008, la propuesta para la implementación de BIM, que busca estándares para el uso de BIM.

De acuerdo a la investigación realizada por la empresa McGrawHill Construction se

obtuvo como resultado que las empresas ligadas con la industria de la construcción adoptaron la metodología BIM de forma considerable. En el año 2007, solo el 28% empleaba BIM; para el 2009, aproximadamente el 49% adoptó BIM y en el año 2012, alrededor del 71% dieron el salto hacia BIM (McGraw Hill Construction, 2014). Como se representa en las figuras 3.8 y 3.9.

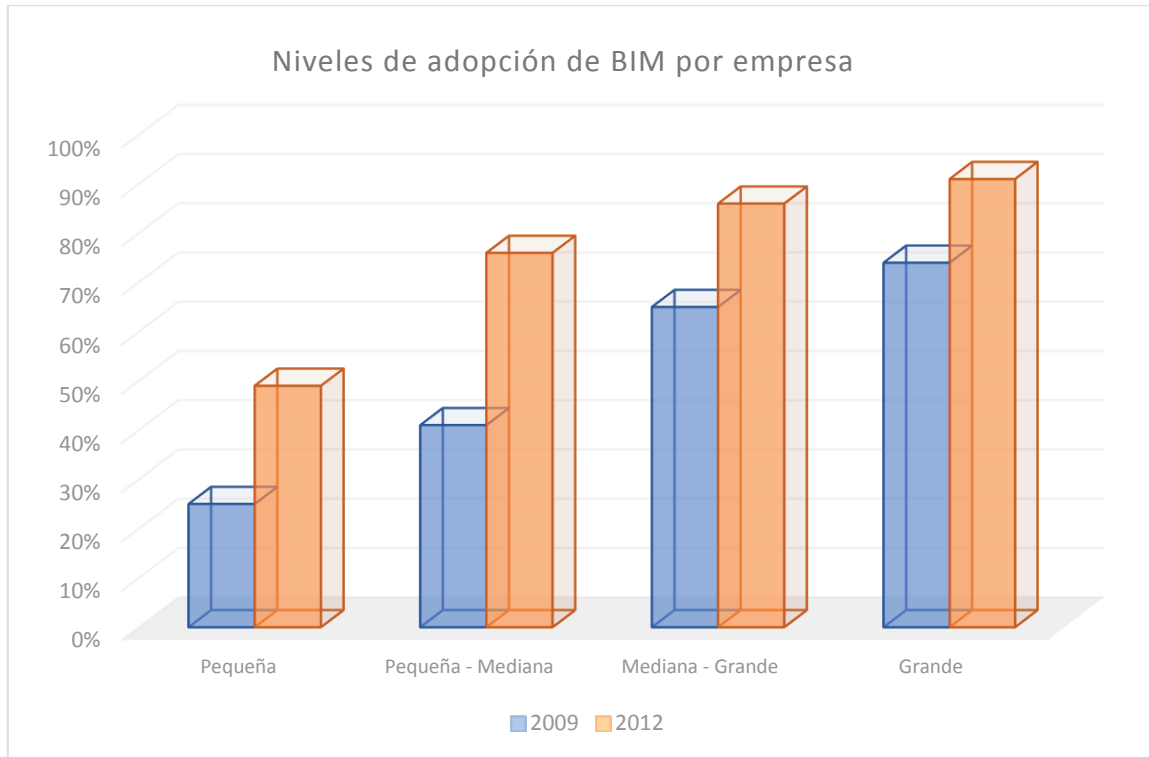
Figura 3.8. Niveles de Adopción de BIM en Estados Unidos por tipo de firma



Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: (Salinas & Ulloa Román, 2013)

Figura 3.9. Niveles de Adopción de BIM en Estados Unidos por tamaño de firma



Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: (Salinas & Ulloa Román, 2013)

Entre la principal documentación relacionada con las políticas públicas en Estados Unidos se destaca:

- NBIMS-US Project Committee Rules of Governance. National BIM Standard-United States.
- BIM Guidelines and Standards. NY SCA.
- GT BIM Requirements for Arch. Eng. & Contr. Georgia Tech.
- BIM Guidelines and Standards. Wisconsin DOA.
- DB BIM Standards. LA Community College.
- IU BIM Guidelines and Standards. Indiana University.

BIM en Estados Unidos, ha sido sin duda alguna de las mayores referencias a nivel internacional, no solo en la parte de creación de normativas sino también en la

formación académica. Los trabajos que se exponen cada año en el International Conference on Computing in Civil and Building Engineering que organiza la American Society of Civil Engineers (ASCE) referentes a BIM son numerosos con variado contenido y de alto impacto para el desarrollo y mejoramiento de la metodología BIM

Para obtener más información relacionada con el ámbito de la educación universitaria y BIM se investigó publicaciones del ASCE, donde se destaca BIM Teaching Strategies; an Overview of the Current Approaches, realizado por Barison y Santos en el año 2010. A continuación se presenta un breve resumen de universidades en Estados Unidos que imparten clases sobre BIM o que participan en la investigación.

- El Madison Area Technical College ha enseñado el software BIM en curso como "Introducción a aplicaciones arquitectónicas de terceros" desde el año 2003.
- La Universidad de Nevada comenzó a introducir BIM en 2005.
- La Universidad Estatal de Penn, desarrollo un estudio de diseño integrado con BIM en 2006 por primera vez.
- En el año 2007, la Universidad de Auburn se adaptaron a la enseñanza del BIM. En la actualidad los estudiantes deben desarrollar un proyecto colaborativo y un modelo BIM en el proyecto de tesis de pregrado y maestría.
- A partir del 2007, la Universidad Tecnológica de Texas, comenzó a ofrecer un curso que unen la tecnología de construcción, la representación y medios de comunicación.
- La Universidad de Oklahoma fue galardonada por impartir clases interdisciplinarias que enseña proceso y software al mismo tiempo.
- La Universidad Estatal Politécnica de California comenzó a enseñar metodologías BIM en el 2007, donde los cursos incluyen a los estudiantes de arquitectura, ingeniería y gestión de la construcción.
- Desde 2008 algunas escuelas también han comenzado a experimentar la colaboración interdisciplinaria local y la educación a distancia.

- Penn State recibió en el año 2008, de Autodesk Inc. y el Colegio Americano de Arquitectura (ACSA), una subvención para la experiencia y el desarrollo BIM.

Hoy en día, las escuelas como Penn State, Georgia Tech, Universidad del Sur de California, Estado de Montana Universidad y la Universidad de Wyoming se identifican como líderes en la educación BIM. Al igual que la Universidad del Sur de California, ya que tiene una marcada tradición de ofrecer cursos centrados en el diseño sostenible (Barison & Santos, 2010).

3.2.3.2. Canadá

En el año 2008, se fundó Canada BIM Council, con el propósito de apoyar e incentivar la implementación de modelos estandarizados de arquitectura, ingeniería y construcción. Promueve la adecuada gestión de proyectos y la aplicación de buenas prácticas y estándares. Es importante destacar que en los proyectos de construcción pública se requieren el uso de BIM.

3.2.4. América del sur

3.2.4.1. Chile

La Corporación de Desarrollo Tecnológico de la Cámara Chilena de la Construcción realizó un estudio en el año 2010 que trata sobre la situación actual de la coordinación de proyectos y utilización BIM en este país. Los resultados reflejaron las siguientes cifras “el 58% del sector chileno conoce lo que es BIM; y tan sólo el 10% del sector ha trabajado con BIM” (Salinas & Ulloa Román, 2013).

Para motivar y desarrollar el crecimiento de la industria de la construcción en Chile se crea BIM Forum Chile, “BIM Forum Chile es una instancia técnica y permanente, que convoca a los principales profesionales e instituciones relacionadas a Building Information Modeling en nuestro país. Entre otros actores relevantes invitados a participar de BIM Forum Chile” (BIM Forum Chile et al., 2017). Entre los objetivos

de esta entidad se encuentra la generación de estándares para el correcto uso de BIM en todas las etapas de un proyecto, promover la investigación y el desarrollo e incentivar la difusión del conocimiento y las tecnologías. Para garantizar el fiel cumplimiento de estos objetivos BIM Forum Chile lleva a cabo las siguientes actividades:

- Crea documentos técnicos: manuales de estándares y recomendaciones para trabajar con el modelo, a través de grupos de trabajo especializado, publicarlos y difundirlos para que queden a disposición de la comunidad.
- Realiza capacitaciones: ofrece cursos de manera continua para pulir las habilidades y conocimiento de los profesionales mediante eventos o cursos.
- Desarrolla investigaciones: publica documentación de carácter científico relacionada a los progresos en el modelo BIM.
- Promueve las relaciones con la academia: promueve la promoción y desarrollo de estudios sobre BIM en centros de investigación e instituciones académicas.
- Presenta proyectos: apoya los proyectos relacionados a BIM para conseguir financiamiento público.

3.2.4.2. Perú

En Perú no se tiene un diagnóstico global de la situación actual acerca del uso de BIM. Sin embargo, en el año 2012 la Cámara Peruana de la Construcción hizo la presentación del Comité BIM del Instituto de la Construcción y Desarrollo. Los objetivos fundamentales de este comité son impulsar las buenas prácticas en el modelado de proyectos BIM, “transformar la manera de gestionar proyectos mejorando la colaboración multidisciplinaria en la gestión de proyectos de construcción, mediante la correcta aplicación de la metodología BIM” (CAPECO & Comité BIM Perú, 2014), difundir los avances en el uso de herramientas, experiencias y resultados de la aplicación de BIM; promover las capacitaciones en herramientas BIM en los distintos especialistas y participar en la generación de un mercado con mayor nivel técnico. Para llevar a cabo el fiel cumplimiento de los

objetivos de este comité se realizan las siguientes prácticas:

- Implementar metodologías que permitan el uso de BIM en todas las etapas del proyecto.
- Desarrollar estándares BIM que se adecúen a las necesidades de las empresas del medio en el ámbito nacional.
- Evaluar la calidad a través del análisis el cumplimiento de los estándares BIM en los proyectos de construcción, para proponer mejoras que aceleren el proceso de integración del uso del BIM en el Perú.
- Promover en las instituciones educativas de nivel técnico y universitario la inclusión de cursos BIM en las mallas curriculares de las carreras vinculadas al sector de la construcción.
- Promover un contenido de capacitación básico para todos los involucrados en los proyectos de construcción, certificando las instituciones que utilicen el contenido sugerido.

3.2.4.3. Brasil

En Brasil algunas acciones son desarrolladas de forma conjunta en la estructuración legal y normativa, adicional a esto las propuestas por parte de las empresas privadas, públicas y los sectores universitarios están impulsando el desarrollo de BIM de acuerdo al Diálogos Sectoriales para Building Information Modeling en Brasil y en la Unión Europea, propuesto en el año 2015.

Entre las principales normas planteadas se pueden presentar las siguientes:

- Guía ASBEA de buenas prácticas en BIM.
- La Cámara Brasileña de la Industria de la Construcción elaboró una colección de Implementación del BIM para Constructoras.

A partir de la presentación de normativas públicas, se crea la articulación de las universidades a través de la red de BIM Brasil, entre las principales universidades

Brasileñas preocupadas por la investigación acerca del desarrollo de BIM, se puede mencionar:

- Universidad Federal de Paraná.
- Universidad de São Paulo.
- Universidad Federal de Bahía.
- Universidad Estadual de Campinas (CELEPAR, s. f.).

3.3. BIM EN ECUADOR

En Ecuador, la coordinación de los proyectos se realiza de manera tradicional, es decir que se basa siempre en el control de forma global del estado del proyecto cuando los distintos involucrados han culminado con su etapa de diseño, mediante el análisis por superposición de la documentación entregada. Como consecuencia de esta deficiencia al momento de coordinar la información se plantean sugerencias anticipadas a los problemas que se pueden encontrar en la etapa de construcción.

Es frecuente que exista falta de coordinación ya que se considera a un proyecto como algo lineal, que depende del aporte de las distintas disciplinas de forma individual. Adicionalmente la falta de tiempo no siempre permite realizar el análisis exhaustivo del nivel de detalle, que podría servir para detectar interferencias entre el proyecto arquitectónico, estructural e instalaciones. Es evidente que la principal razón es la deficiencia de comunicación entre los responsables técnicos involucrados.

Como ejemplo se puede mencionar que es habitual en la construcción que la documentación y los planos de instalaciones sanitarias, agua potable, mecánica y fontanería no sean congruentes con las versiones actualizadas de la información arquitectónica.

3.3.1. Datos estadísticos

En marzo del 2016, el ingeniero Marco Tapia realizó una presentación, con el auspicio de la compañía Zigurat Global Institute of Technology, sobre el Contexto de BIM en el Ecuador, donde presentó información relevante sobre el estado actual del conocimiento y la implementación de BIM en la industria de la construcción.

Las encuestas para el procesamiento estadístico fueron realizadas en las principales provincias del país, entre ellas Pichincha, Guayas, Manabí y Azuay, ya que en estos lugares existe una mayor concentración de profesionales.

Como resultados se obtuvo la información mostrada a continuación:

- 1 ¿Conoce o ha escuchado de los procesos BIM usados en la industria de la construcción?

La encuesta refleja que el cincuenta y ocho por ciento de los entrevistados conocen acerca de las metodologías y procesos BIM. Sin embargo, esto no implica que las pongan en práctica en su totalidad.

- 2 ¿Cuáles de estas herramientas / software destinados a la industria de la construcción conoce?

En Ecuador, existe una gran difusión de herramientas computacionales como AutoCad, Microstation, Sap2000, Etabs, Revit, ArchiCad, Allplan, Tekla structure, Cype Cad. Las mismas herramientas que hoy en día tienen una gran relación con los procesos BIM. Lamentablemente, la falta de capacitación continua y desconocimiento provocan que no se obtenga el máximo provecho de estas herramientas, lo que implica que las distintas disciplinas relacionadas con el área de la construcción ocupen las herramientas de forma parcial, resolviendo las necesidades específicas de cada rama.

- 3 ¿Qué tipo de software de diseño utiliza en sus proyectos?

Aproximadamente el setenta y siete por ciento de los encuestados utilizan herramientas computacionales que permiten una representación de sus proyectos en dos y tres dimensiones.

4 ¿Están utilizando en su organización procesos BIM?

Solo el diecinueve por ciento de las personas entrevistadas, implementan procesos BIM en su organización. Como contraposición el setenta y siete por ciento de los entrevistados no implementan estas nuevas metodologías y procesos en su organización y el porcentaje restante no conoce si lo implemente o no.

5 Según su experiencia, marque las principales causas de los problemas en un proyecto en la etapa de construcción

Según la experiencia de varios profesionales en el área de la construcción, las principales causas son las principales en orden de recurrencia falta de planificación, proyectos no definidos completamente en la etapa de diseño, falta de procesos, poca colaboración entre profesionales involucrados, escaso uso de herramientas tecnológicas y bajo nivel de constructibilidad.

Afortunadamente, estos problemas pueden ser solucionados si se implementan metodologías y procesos BIM, debido a que se puede visualizar el proyecto de forma global, integrando las distintas disciplinas involucradas, facilitando la definición y delimitación de todos los detalles antes de la etapa de construcción (Zigurat Global Institute of Technology, 2016).

Para tener una idea más clara sobre los inconvenientes que se encuentran en proyectos de construcción, se realizó entrevistas a varios profesionales de la ciudad de Quito, entre ellos se encuentran docentes universitarios, contratistas, diseñadores, directores departamentales en entidades públicas. En el apartado 4.3, se encuentra delimitado con claridad las etapas y los conflictos encontrados por los profesionales.

CAPÍTULO 4

PRÁCTICAS HABITUALES EN LA INDUSTRIA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN

De acuerdo con las cifras del Banco Central del Ecuador (presentadas más adelante) una de las consecuencias de la caída del precio del barril de petróleo es la crisis actual en la industria de la construcción. Esto se debe a que una buena parte de la inversión realizada en construcción provenía de fondos públicos, sin embargo, es necesario analizar otras características propias del campo de la construcción que pueden haber influido en su desfinanciamiento, como la creación de la Ley de Plusvalía. Es bien sabido que, todas las crisis traen oportunidades para mejorar, en ese sentido, a pesar de las dificultades que presenta la industria, se debe tomar este momento como una oportunidad para transformar ciertas prácticas habituales que restan eficiencia en el desarrollo de proyectos.

4.1. ANÁLISIS DIAGNOSTICO

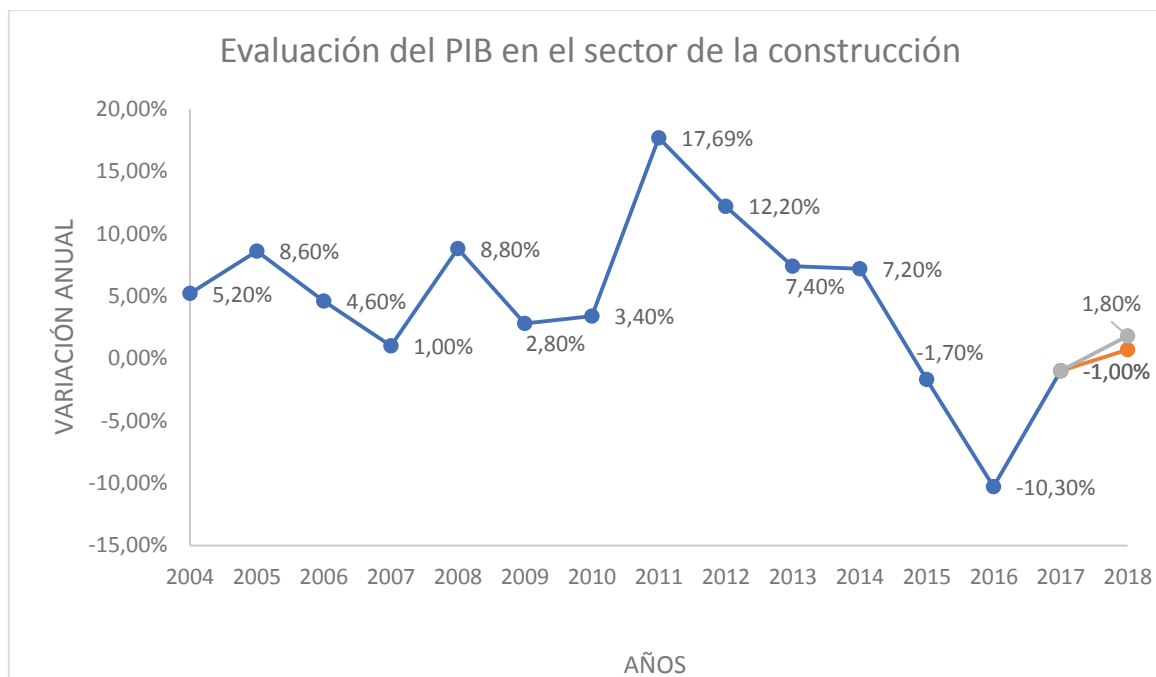
4.1.1. Incertidumbre en la industria de la construcción

A diferencia de España, Ecuador no sintió la presencia de una burbuja inmobiliaria que originó la crisis, sino que, debido a la disminución del costo del barril de petróleo, nuestro país se vio afectado económicamente, siendo una de sus caras más visibles el sector de la construcción.

Es evidente que este sector se encuentra en una etapa de recesión, correspondiente al ciclo de la economía, como se puede observar en la figura 4.1. De acuerdo a la información publicada por el Banco Central de Ecuador, el sector de la construcción presenta un decrecimiento del -10,30% del producto interno bruto (PIB) para el año 2016; un decrecimiento del -1,0% del PIB en el año 2017. De acuerdo a las proyecciones realizadas para el 2018 en función del ajuste fiscal, es decir de la reasignación de presupuesto en el sector de la construcción, se puede

observar que para el 2018 se espera un crecimiento de tan solo el 0,70%, si se toma medidas moderadas en el ajuste fiscal; con un ajuste fuerte se observaría un crecimiento del 1,80% (Ekos, 2018). Dicho de otra forma, las cifras correspondientes al ajuste fiscal son inversamente proporcionales al crecimiento o decrecimiento de la industria de la construcción; por ello, mientras más fuerte sea el ajuste fiscal más difícil será la reactivación del sector de la construcción. En este análisis se concluye que “la recuperación del sector en términos de crecimiento se observará a partir del 2018, junto al mejoramiento del resto de la economía” (Ekos, 2018).

Figura 4.1. Evaluación del PIB en el sector de la construcción y estimación de acuerdo al ajuste fiscal



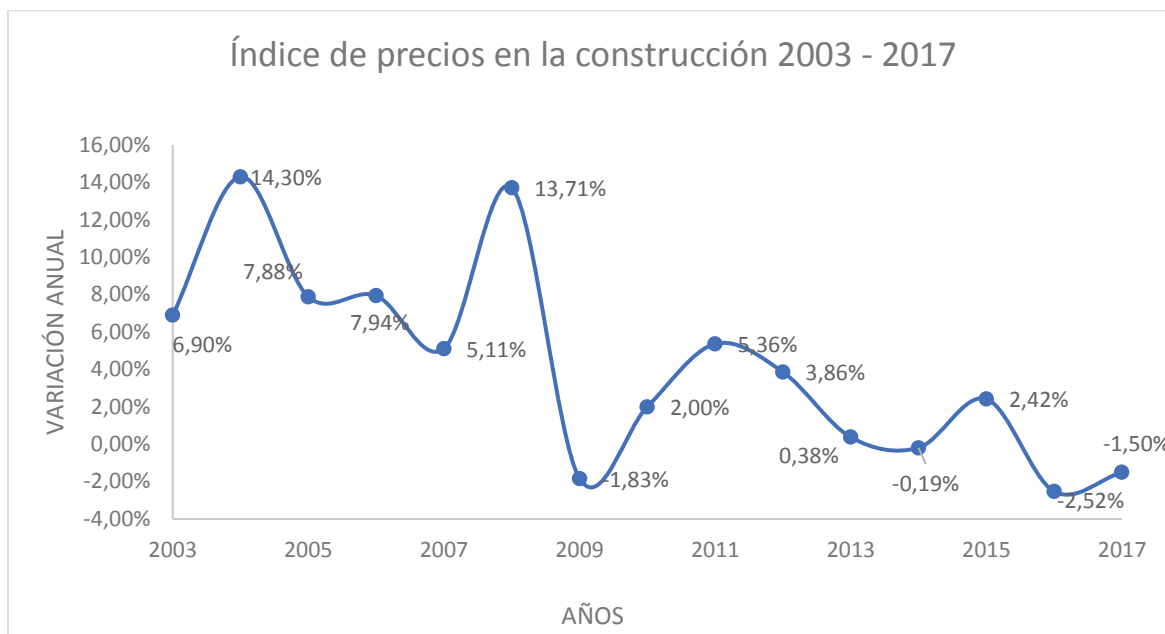
Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: (Ekos, 2018)

El ritmo al que la construcción estaba acostumbrada se vio afectado, ya que tuvo una relación directa con la inversión pública y privada, que decreció; influida por los bajos ingresos del Estado. Entre 2015 y 2017, el número de promesas de compraventa en nuevos proyectos decayó un 60%, según la Asociación de Promotores Inmobiliarios de Viviendas del Ecuador (Agencia AFP, 2017).

“En el Ecuador entre el 25% y 40% de los inmuebles que se adquieren en un proyecto urbanístico se destinan como inversión, es decir el que adquiere la vivienda no lo hace para vivir sino para arrendarla o revenderla” (Ortiz, 2017). Desde la publicación el 30 de diciembre de 2016 de la “Ley Orgánica Para Evitar la Especulación Sobre el Valor de la Tierra y Fijación de Tributos” más conocida como Ley de Plusvalía, las personas que invertían su dinero en la compra de bienes como departamentos, casas, oficinas, locales y terrenos; lo están dejando de hacer, debido a que con esta nueva ley la primera venta debe pagar por concepto de impuesto el 10% de plusvalía y la segunda venta estará gravada con el 75%. Por consiguiente debido al exceso en el incremento, los posibles compradores ya no están dispuestos a entregarle el 75% de la supuesta ganancia extraordinaria al Estado (Ortiz, 2017).

En el año pasado, se ha notado los estragos de la recesión económica en el sector de la construcción. Por otra parte, se presenta “precios bajos en cuanto a materiales, equipo y maquinaria debido a una menor actividad económica. Durante el 2016, el índice presentó una tasa del -2,52% y en el 2017 disminuya hasta el -1.5% (INEC, 2017), es decir, una contracción en el nivel de precios similar a la del 2009, periodo en el que hubo una contracción fuerte por la crisis internacional” (Ekos, 2017). En la figura 4.2, se puede observar la gráfica los índices de precios en la construcción para distintos años.

Figura 4.2. Índice de precios en la construcción

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: Instituto nacional de estadísticas y censo INEC (Ekos, 2017)

Las consecuencias sociales de esta recesión económica que atraviesa el Ecuador incluyen el incremento de la cifra de empleos inadecuados, a 48,357 personas (Ekos, 2017). Desafortunadamente la construcción contribuye a este dato de manera significativa. Esta tendencia podría continuar en caso de que la economía se mantenga en bajos niveles de crecimiento. Especialistas en economía aconsejan que el ajuste fiscal no sacrifique la inversión pública, clave para impulsar el desarrollo de este sector y de la economía.

Tradicionalmente el sector de la construcción ha sido uno de los ejes fundamentales en el desarrollo de la economía ecuatoriana, por este motivo es esencial dinamizar este sector y promover mayor actividad en mejores condiciones.

Debido a la circunstancia que atraviesa nuestro país, los profesionales en el sector de la construcción deben pensar en un camino para mejorar los procesos en la gestión de proyectos, mediante la implementación de nuevas tecnologías y la adopción de procesos ya utilizados a nivel internacional, con grandes resultados.

Así también, se debe contar con metodologías y planificaciones que se ajusten a los requerimientos actuales.

Por ello, es imprescindible que las aplicaciones tengan un uso amigable y que las universidades formen profesionales de alto nivel, no sólo en los aspectos de cálculo y dimensionamiento estructural, sino también en la innovación metodológica hacia una ingeniería más eficiente y una mejor gestión de proyectos.

4.2. ESTUDIO DE LA LEY ORGÁNICA DEL SISTEMA NACIONAL DE CONTRATACIÓN PÚBLICA

El objetivo de este apartado es analizar la situación de la normativa que regula las obras civiles, se abarcará los aspectos de desarrollo de metodologías específicas y documentación requerida en la contratación pública.

El análisis de la LOSNCP se debe a que muchos de sus apartados guardan estrecha relación con las premisas básicas de BIM, donde, de forma general, se abarcan aspectos como la mejora del conocimiento tecnológico, mejora del grado de organización y eficiencia de los proyectos y la motivación del personal a asumir mayores responsabilidades y retos técnicos. Estos aspectos se encuentran relacionados directamente con la optimización de los recursos y mejor gestión de los proyectos, incentivando su desarrollo en innovación tecnológica. Estas ventajas aportarán un valor agregado y mejoramiento de la productividad, resultando en proyectos bien detallados con aspectos técnicos definidos en su totalidad garantizando el gasto público.

4.2.1. Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública (LOSNCP)

La Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública presenta los principios y lineamientos que regulan los procedimientos de contratación para la adquisición o arrendamiento de bienes, construcción de obras civiles, consultorías y prestación de servicios. Adicionalmente, la LOSNCP se entiende como el conjunto de procedimientos, mecanismos y relaciones organizadas orientadas al

planeamiento, programación, presupuestos, control, administración y ejecución de las contrataciones realizadas por el Estado (Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, 2017).

4.2.1.1. Los objetivos de la LOSNCP

Los objetivos de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública que se consideran más importantes para este trabajo de investigación son:

- “Garantizar la calidad del gasto público y su ejecución en concordancia con el Plan Nacional de Desarrollo.
- Garantizar la transparencia y evitar la discrecionalidad en la contratación pública.
- Convertir la contratación pública en un elemento dinamizador de la producción nacional.
- Agilizar, simplificar y adecuar los procesos de adquisición a las distintas necesidades de las políticas públicas y a su ejecución oportuna.
- Modernizar los procesos de contratación pública para que sean una herramienta de eficiencia en la gestión económica de los recursos del Estado” (Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, 2017).

4.2.2. Reglamento

La base fundamental de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública se nutre de las especificaciones técnicas, que se refieren a las características necesarias de los bienes o rubros, en las condiciones específicas que requieren los servicios, como el análisis, diseño, diagnóstico o estudio.

Los requisitos necesarios para la presentación de documentación y elaboración de un proyecto, son detalles que se encuentran regulados por los artículos de la LOSNSP, al igual que de la resolución INCOP No. 054-2011, como se presentan a continuación.

Art. 28.- Modelos y formatos obligatorios.- Los modelos y formatos obligatorios, serán expedidos por el Director Ejecutivo del SERCOP mediante resolución (...). Cada entidad contratante deberá completar los modelos obligatorios. La entidad contratante bajo su responsabilidad, podrá modificar y ajustarlos a las necesidades particulares de cada proceso de contratación, siempre que se cumpla con la Ley y el presente Reglamento General.

Al aplicar este artículo las instituciones han propuesto los pliegos como formato para la entrega de información. Los mismos establecen las condiciones para obtener la información específica y necesaria del servicio por contratar y todos sus costos asociados, presentes y futuros.

La entidad contratante deberá elaborar un juego de pliegos individual por cada contrato, usando las directrices de los formatos ya establecidos por el Servicio Nacional de Contratación Pública (SERCOP), tomando en cuenta su aplicabilidad para cada caso. Una vez concluidos los pliegos, éstos deberán ser analizados y aprobados por la máxima autoridad de la entidad contratante o su delegado, de acuerdo al inciso 8 Artículo 6 del Reglamento General de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública (RGLOSNC) (Reglamento General de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, 2011).

Para la aprobación de los pliegos, éstos deberán ser redactados con un lenguaje preciso que no se preste para interpretaciones personales. Adicionalmente, la entidad deberá propender a la eficacia, eficiencia y calidad de la obra. Entre la documentación mínima en los pliegos podemos encontrar lo siguiente:

- “Los requisitos y condiciones que deben cumplir los oferentes para que sus ofertas sean aceptadas.
- Las especificaciones de las obras, bienes o servicios que se requieren contratar, las cuales deberán ser genéricas.
- Las etapas y términos del proceso de licitación.
- Las condiciones o límites de la subcontratación.

- Plazo del contrato.
- Garantías exigidas de acuerdo con la ley.
- Los parámetros de calificación y la metodología de evaluación de las ofertas” (Pleno de la Asamblea Constituyente, 2008; Servicio Nacional de Contratación Pública, 2011).

Como resultado, se observa que es necesaria la especificación técnica y el detalle de los términos de actividades, materiales y procesos que se deben seguir en la contratación. Por eso existe la necesidad de analizar los artículos relacionados con los términos de referencia, a fin de obtener información para determinar los requerimientos de la documentación que se debe presentar.

Sobre los estudios, el RGLOSNCNP señala: De acuerdo con los Artículos 69 y 112, para que un proyecto se encuentre en una etapa de licitación, es necesario que la institución cuente con toda la información técnica que engloba el proyecto. Sin embargo, en estos artículos no se hace referencia a la extensión de los archivos o a la manera en la que se debe trabajar para obtener el máximo provecho de la información, dejando un nivel de incertidumbre en cuanto al detalle y características específicas que debe constar en un estudio técnico. El reglamento no contempla en ninguno de sus artículos los requerimientos que se deben considerar en los estudios previos para plantear un proyecto; los campos que no se mencionan y quedan a criterio de los profesionales y las instituciones contratantes son análisis y gestión de riesgos, estudios integrales de la zona en aspectos socio ambientales, estudios hidrológicos de detalle y la proyección a futuro (Correa Delgado, 2009).

4.2.2.1. Especificaciones técnicas y términos de referencia

Para tener un mejor entendimiento del Artículo 1 del RGLOSNCNP, es necesario entender la definición de especificaciones técnicas y términos de referencia. Las especificaciones técnicas, se entienden como las características básicas que deben cumplir los bienes o rubros requeridos, mientras que, los términos de referencia se entienden como las condiciones específicas bajo las cuales se

desarrollará la prestación de servicios. A fin de aclarar la definición de estos dos términos, a continuación se presentarán los artículos de la ley que especifican con mayor detalle las particularidades de cada uno (Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, 2017). El Artículo 4, hace claramente referencia a las necesidades que se debe considerar para plantear las especificaciones técnicas, dependiendo de la naturaleza de la contratación. Sin embargo, en ningún momento hace referencia al avance tecnológico o a la implementación de nuevas metodologías que faciliten el análisis del cumplimiento de las especificaciones y de los requerimientos de los elementos que se emplearán. Lo que sí permite el reglamento, es la apertura a la utilización de normativa internacional que regule los posibles vacíos técnicos y legales del reglamento (Reglamento General de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, 2011).

En la elaboración de los términos de referencia se deben considerar todos los aspectos necesarios para el cumplimiento global de un proyecto, como el alcance, objetivos y la metodología. Por esta razón los términos de referencia se deben elaborar en función de las necesidades específicas a ser solventadas.

Este artículo deja abierta la posibilidad de emplear nuevas metodologías que faciliten el proceso para el cumplimiento de los objetivos y condiciones de prestación o desarrollo, requeridos mediante la utilización de tecnología, como la implementación de BIM para el desarrollo integral de un proyecto. Sin embargo, al dejar esta opción a decisión de la organización contratante, es necesario que la ley regule los requisitos y las características que deben cumplir, de forma general se puede decir que se debe incluir con suficiente detalle la metodología y los procedimientos a seguirse para los diferentes trabajos de ejecución de las obras.

4.3. PROBLEMAS DETECTADOS EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Con el fin de basar este trabajo en experiencias técnicas reales, se ha realizado entrevistas a profesionales ecuatorianos dedicados a los distintos campos de la

construcción. Su práctica ha brindado la oportunidad de clasificar los problemas de la construcción en función de sus etapas; por esta razón, se organizará este apartado según las etapas de un proyecto y sus problemas específicos.

4.3.1. Pre diseño

En esta etapa, se debe analizar la información técnica obtenida para delimitar de forma general el proyecto, adicionalmente se plantean distintas alternativas para cumplir su alcance. Es recomendable que se presenten varios escenarios a partir de diseños conceptuales.

Entre las actividades que se destacan en esta etapa se pueden mencionar las siguientes: definición del alcance de proyecto, determinación del lugar de la obra, diseño conceptual, simulación de procesos, estudio de viabilidad, evaluación técnica y autorizaciones gubernamentales.

Se realizó una entrevista al ingeniero Raúl Castro que se desempeña como especialista sanitario en Ecuador Estratégico Empresa Pública (EEEP) y cuenta con más de 20 años de experiencia. Sobre el proyecto de instalación de tuberías de alcantarillado sanitario en la ciudad de Nobol en la provincia del Guayas, donde se desempeñó como superintendente de obra, el ingeniero mencionó que tuvieron dificultades en cuanto al tiempo, debido a la inexistencia de tuberías por parte de la fábrica proveedora. A partir de esto se puede determinar qué es necesario considerar factores externos en un proyecto, como proveedores o servicios básicos, tomando en cuenta la sinergia global de un proyecto (Castro, 2017).

4.3.2. Diseño

Una vez seleccionada la alternativa que cumpla con los alcances del proyecto, se pasa de los diseños conceptuales a un diseño definitivo, que comprende el estudio detallado de las ingenierías y de los elementos del proyecto. Cumpliendo así con la correcta aplicación de normativas técnicas.

Entre las actividades que se destacan en esta etapa se pueden mencionar las siguientes: análisis técnico de las distintas ingenierías, elaboración del presupuesto, planificación y programación de obra, integración de ingenierías y elaboración del plan de seguridad

La ingeniera Silvia Guerra, jefa del área de licitaciones de la empresa SEMAICA, considera que una de las obras más emblemáticas en las que ha trabajado es el Centro de Rehabilitación de Guayas con aproximadamente 30 mil metros cuadrados de construcción. La ingeniera estuvo vinculada a este proyecto desde su etapa inicial, como analista de administración de contrato, es decir la preparación y coordinación en campo de superintendentes, residentes, fiscalizadores entre otros. La profesional afirmó que el proyecto consistía en una adaptación de un diseño desarrollado en Estados Unidos. En consecuencia, los inconvenientes que se encontraron en la obra se relacionaron con: el cumplimiento de especificaciones técnicas en cuanto a los materiales y a la elaboración de elementos en obra.

Los elementos de la ingeniería electrónica no cumplían con los requerimientos debido a la inexistencia de estos equipos en el país. Además, la consideración del suministro de energía eléctrica era insuficiente para solventar los requerimientos del centro de rehabilitación. Los problemas de la falta de definición inicial en el diseño, se vieron reflejados en la etapa de ejecución. Como consecuencia del acarreo de estos conflictos, los cronogramas se incumplían, adicionalmente el costo programado para el proyecto incrementó de forma considerable (Guerra, 2017).

A partir de este caso, se puede señalar que no necesariamente una adaptación de un proyecto diseñado en otro contexto acarreará problemas, sin embargo, su adaptación debe ser minuciosa respecto a las condiciones específicas de desarrollo del mismo. Por ello es indispensable que las instituciones relacionadas con la industria mantengan criterios específicos y detallados de los requerimientos para la etapa de diseño. En este aspecto la información que las instituciones producen es fundamental para los contratistas. Cuando esta información no existe o es reservada pueden generarse más problemas.

El ingeniero Oswaldo Proaño, docente de la Escuela Politécnica Nacional y consultor en la compañía ICA, coincide con este análisis. En la entrevista que se le realizó, se trató sobre su trabajo en el diseño regional de agua potable para Coca, Loreto y Sacha. Los inconvenientes que resaltó el ingeniero son la obtención de la información de topografía confiable para un diseño definitivo y la complicación para obtener información de los gobiernos locales. Muchas veces esta escasez de información tenía, desde su punto de vista, origen en dos conflictos. Por un lado las instituciones no consideraban necesario levantar información sobre ciertos aspectos y por otro lado, la información existente la tenían bajo reserva haciendo que su acceso sea restringido para el público e incluso para los contratistas (Proaño, 2017).

4.3.3. Construcción

Esta etapa es la más visible de un proyecto de ingeniería, ya que todo el proceso de planificación y de diseño finalmente se ve plasmado en una construcción real. Para el correcto cumplimiento de esta etapa, es necesaria la intervención de la adecuada gestión, debido a que en este periodo se vincula el cronograma de ejecución, con los diseños técnicos y el presupuesto de la obra.

Entre las actividades que se destacan en esta etapa se pueden mencionar las siguientes: selección de personal, adquisición de equipos y herramientas, recepción de material, gestión de la construcción, control de los trabajos, control de calidad.

En la entrevista realizada al Ingeniero Gustavo Crespo; que actualmente se desempeña como técnico del área de licitaciones de la empresa SEMAICA, manifestó que la falta de información y el bajo nivel de detalle de los planos constructivos representaron un retraso en el tiempo, debido a que la información técnica que se encuentra en los planos de detalle era insuficiente. En el proyecto de fiscalización de la Torre Dos de Eco Park, las cadenas de amarre se encontraban dispuestas en una sola dirección, como consecuencia de este inconveniente se

necesitó la presencia del ingeniero estructural encargado del diseño para solventar este conflicto. Adicionalmente, manifestó que se encontraron con inconvenientes, relacionados con los procesos constructivos; en la etapa de hormigonado, se hizo evidente el desconocimiento de la cuadrilla encargada de la colocación del encofrado, como consecuencia, el desperdicio del material se vio reflejado en el costo (Crespo, 2017).

En esta etapa es indispensable que las herramientas computacionales permitan extraer información de cubicación de materiales para los elementos modelados. Aunque las herramientas computacionales utilizadas en las metodologías BIM pueden abarcar el seguimiento y control de la programación de obra, no son conocidas en su totalidad por los profesionales de este campo. En general, no existe capacitación permanente en tecnologías aplicadas a la construcción.

En la entrevista, el Ingeniero Patricio Villacís, encargado del departamento de construcciones en la empresa SEMAICA; comentó que en el proyecto Ciudad Victoria, donde se desempeñó como superintendente de obra en el año de 2012, las especificaciones y la información eran limitadas ya que para la época no se habían considerado proyectos de interés social a gran escala. Como consecuencia, el avance de los servicios básicos y la urbanización se ejecutó paralelamente. Lo que representó un problema muy grande de logística entre las distintas disciplinas. Finalmente, este conflicto se vio reflejado en el incremento del costo y tiempo programado del proyecto. De acuerdo con el ingeniero Villacís la utilización de BIM sería positiva debido a que “Toda herramienta para optimizar la ejecución de proyectos es válida y más si permite anticipar e identificar problemas para proponer soluciones antes de iniciar la obra” (Villacís, 2017).

El ingeniero Mauricio Padilla, tiene una experiencia similar. Actualmente se desempeña como coordinador de proyectos de la Secretaría del Agua (SENAGUA). En su caso, desde la fiscalización del proyecto de construcción de varios puentes sobre el río Esmeraldas, se encontró con problemas técnicos en cuanto a la coordinación de tiempos en la construcción; como consecuencia, se tuvieron que

ampliar 2 metros en dirección vertical a las pilas de la superestructura, ya que fueron construidas en época de invierno. De acuerdo con su criterio, la organización de imprevistos, previo al proceso de construcción, mediante paquetes computacionales, es una de las mejores herramientas que garantizan la calidad de la obra (Padilla, 2017).

El ingeniero Pablo Pinto, docente de la Escuela Politécnica Nacional, consultor y constructor, fue superintendente en el proyecto de construcción Ninallacta. El proceso del proyecto fue desarrollado por etapas, es decir que se avanzaba por bloques en función del flujo de capital. Entre los principales problemas que se pudieron detectar destacan: el diseño estructural, que era muy deficiente y con bajo nivel de información; la documentación era desordenada, dispersa y existía poca coordinación interdisciplinaria. Por ello, el profesional indica que “No podemos quedarnos en Autocad y en paquetes básicos para diseño, tarde o temprano debe ocurrir el salto para adaptarnos a nuevos conceptos como BIM. En la enseñanza superior se deben instaurar conceptos BIM claros, manejo de software y hacer convenios con empresas proveedoras para que los profesionales que salgan sean reproductores de estas metodologías en la industria” (Pinto, 2017).

4.3.4. Puesta en marcha

En esta etapa, el objetivo principal es comprobar que los trabajos realizados hayan sido ejecutados adecuadamente, cumpliendo los requerimientos de diseño y normativas.

Entre las actividades que se destacan en esta etapa se pueden mencionar las siguientes: control de ingenierías, control de equipamiento y sistemas y validación.

Para analizar esta etapa no se cuenta con entrevista a un profesional que haya evaluado el funcionamiento de una obra ya construida, sin embargo se puede analizar -a breves rasgos- la condición de dos obras que han presentado problemas incluso después de haber sido inauguradas: la Plataforma Gubernamental

Financiera, entregada en mayo del 2017 y el Malecón San Juan de los Dos Ríos de Tena, entregado en agosto del 2017. En los dos casos han existido problemas de inundaciones serias, a pocas semanas de su inauguración. Esto demuestra que los estudios previos relacionados con el impacto de obras en los sistemas de los servicios públicos, hidrología, análisis de riesgos, así como la puesta en marcha se realizaron de manera superficial o incluso se prescindió de estos dos análisis.

De acuerdo con la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, esta etapa va desde la entrega provisional hasta la entrega definitiva, este período es cuando se evalúa la calidad del proyecto. Por lo general se realizan pruebas de funcionamiento de las instalaciones, pero solamente en obra. Se ignoran, por ejemplo simulaciones de eventos externos al proyecto como desastres naturales, falla en el suministro de servicios básicos, explosiones, incendios y demás siniestros. Es evidente que no se puede corroborar la resistencia de una obra a estos fenómenos de forma material. Por ello, para solventar estas necesidades existe software y profesionales especializados en la simulación técnica, que debería ser una exigencia para las obras de importancia (aeropuertos, escuelas, hospitales).

4.3.5. Operación y mantenimiento

Es importante considerar, que los proyectos de construcción no terminan con la puesta en marcha y entrega definitiva, sino que, muchas veces, es preciso continuar prestando servicios de operación y mantenimiento de las instalaciones. Esta etapa comienza cuando el proyecto es utilizado para prestar los servicios para los que fue construido, es decir cuando empieza el consumo de los recursos que contiene el proyecto para su correcto funcionamiento. Adicionalmente se debe considerar las modificaciones y las readecuaciones que se pueda dar a la infraestructura.

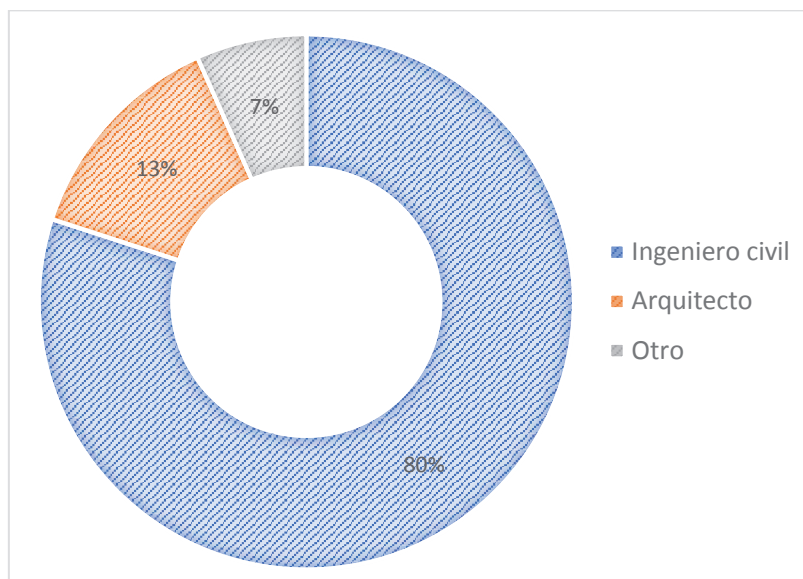
Entre las actividades que se destacan en esta etapa se pueden mencionar las siguientes: crear un plan de mejora del rendimiento, gestión de instalaciones,

mantenimiento y operaciones en planta.

La falta de planificación integral del proyecto de rehabilitación y ampliación de la vía Pifo Papallacta se vio reflejada en el encarecimiento del proyecto en un 60% aproximadamente. Según el ingeniero Fernando Salgado, director de construcciones a nivel nacional del Ministerio de Obras Públicas y Transporte, los problemas se dieron debido a que no se tomó en cuenta aspectos de drenaje de la vía y a la deficiencia en la cubicación de los materiales de corte y relleno. En la actualidad se presenta inconvenientes con la estabilización de taludes en esta vía, que desafortunadamente no se contemplaron en la etapa de diseño, por ello “un estudio técnico debe obedecer a las necesidades y características del alcance de un proyecto. Y el costo debe obedecer al estudio del mismo”. Lo que quiere decir que, las obras y los estudios deben ser integrales y tender a cubrir las necesidades de una población, cumpliendo con las normas de calidad y seguridad; una vez solventadas estas necesidades se deberá analizar el aspecto económico -pero no por abaratar la obra se disminuirá la calidad y la seguridad- (Salgado, 2017).

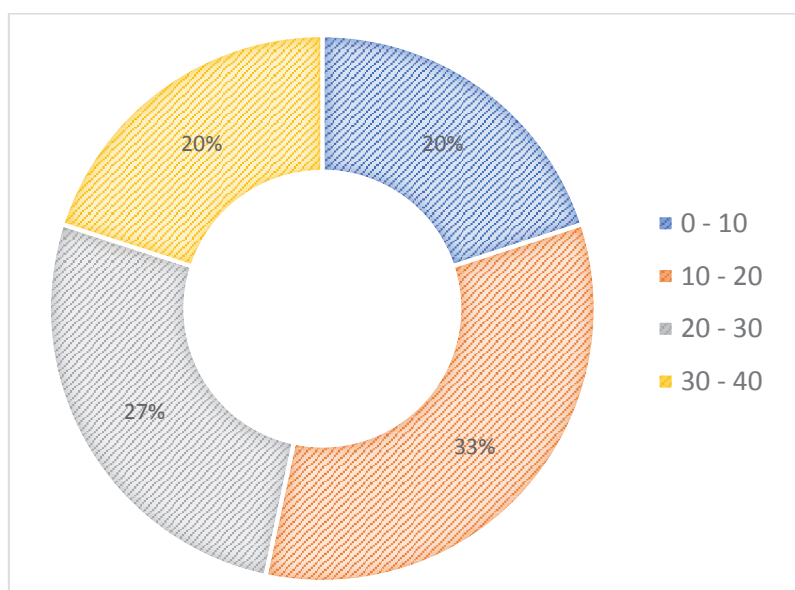
4.4. RESULTADO DE LAS ENTREVISTAS

De las entrevistas realizadas a los profesionales, se puede cuantificar criterios como el conocimiento acerca de las metodologías y procesos BIM, al igual que el nivel de aceptación y los rangos de años de experiencia de los entrevistados. Entre los entrevistados se encuentran profesionales del sector de la construcción como: ingenieros civiles, arquitectos, eléctricos y mecánicos con su correspondiente porcentaje de participación, como se muestra en la figura 4.3.

Figura 4.3. Porcentaje de profesionales participantes en la encuesta

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

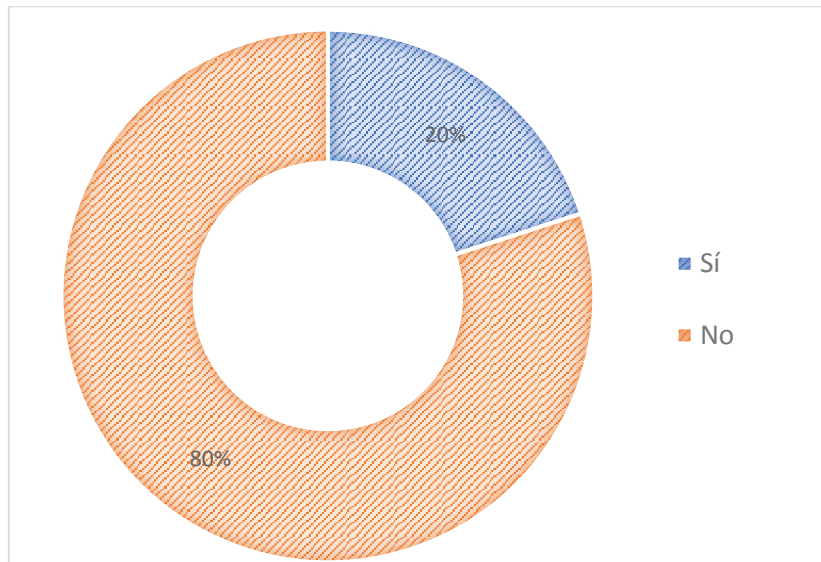
Es importante mencionar el rango de años de experiencia de los profesionales entrevistados, para poder identificar si las nuevas metodologías se encuentran más cercanas a los profesionales jóvenes. En la figura 4.4, se presenta el rango de los años de experiencia de los entrevistados.

Figura 4.4. Rango de años de experiencia de los profesionales entrevistados

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

A partir de las entrevistas se pudo inferir que el conocimiento acerca de BIM, se da con mayor frecuencia en los profesionales más jóvenes, como resultado se presenta la figura 4.5, que muestra el porcentaje de entrevistados que conocen acerca de las metodologías y procesos BIM.

Figura 4.5. Conocimiento acerca de las metodologías y procesos BIM



Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

4.5. PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE BIM

4.5.1. Requerimientos para implementar BIM

Para llevar a cabo la implementación de las metodologías y procesos BIM se establecieron pasos en función de los campos BIM (políticas, tecnología y procesos):

Una de las principales características de estos campos es que su evaluación nos permite regular e identificar la etapa de madurez de la implementación de BIM. Esto supone conocer de manera específica las actividades ya realizadas, así como los pasos faltantes y las áreas que necesitan una mayor dedicación para la implementación (Succar, 2009).

4.5.2. Propuesta para la implementación de BIM

En este trabajo de investigación se plantean las principales necesidades para la implementación de políticas, con respecto a la incorporación de metodologías y procesos BIM en la industria de la construcción.



En este punto se vuelve evidente la necesidad de ordenar la compleja estructura del sector de la construcción. Brindando importancia a la creación de estándares integrados a nivel general, tanto a nivel público como a nivel privado.




4.5.2.1. Criterios de tecnología

A continuación se describe los requerimientos mínimos para la implementación BIM, en cuanto a paquetes computacionales y equipos de cómputo.

Software: todo proyecto deberá usar cualquier software BIM, dependiendo de los objetivos que desee alcanzar, sin embargo, estos programas deben tener certificación mínima de interoperabilidad, debido a que los modelos analíticos, como cálculo de estructuras e instalaciones, son más sensibles a los cambios de versiones. Generalmente los paquetes computacionales que se utilizan en la gestión de la construcción con BIM son los que se muestran a continuación en la tabla 4.1, que contiene una breve descripción y sus usos más frecuentes.

Tabla 4.1. Software BIM

NOMBRE Y DESCRIPCIÓN DE SOFTWARE	LOGO
REVIT (Autodesk): proporciona herramientas que facilitan el diseño arquitectónico, MEP, la ingeniería estructural y la construcción. Revit se ha desarrollado para diseñar, construir y mantener construcciones de mayor calidad y mayor eficiencia energética.	
ArchiCAD (Graphisoft): trabaja con un archivo único y una base de librerías que puede ser referidos de forma interna o externa. Colocaron a disposición de los usuarios una web que funciona como almacén online de objetos.	
Tekla: es otra importante empresa en el mundo BIM. Es uno de los paquetes más especializados en el cálculo y diseño de estructuras de acero y hormigón armado. Los modelos Tekla contienen información detallada, confiable y precisa del diseño estructural, mediciones,	

dimensiones, renders y programación de obra.	
CYPECAD/MEP (CYPE S.A.): es un programa de cálculo de estructuras, que contempla normas internacionales (Europa – America) que se aplican para realizar el cálculo, dimensionamiento y comprobación de estructuras de hormigón, acero, mixtas, aluminio y madera, sometidas a acciones gravitatorias, viento, sismo y nieve. El programa es capaz de proponer una tabla de armado, así como de exportar a planos los resultados.	
Navisworks (Autodesk): es un software de revisión del proyecto, que permite a los profesionales de arquitectura, ingeniería y construcción integral revisar los modelos integrados y los datos con los interesados para mejorar los resultados del control del proyecto. Permiten la simulación de la construcción, y el análisis de todo el proyecto para su revisión integral.	
Vico (Trimble): satisfacer las necesidades de diseño como una plataforma BIM. Para maximizar la eficiencia y atender a las distintas fases del proceso de construcción. Está estructurado de forma modular, es decir que agiliza la sincronización del trabajo entre actores de un mismo proyecto, contribuyendo a mejorar la predictibilidad del proceso, reducir riesgos, gestionar costes, optimizar la programación de proyectos y, en definitiva, coordinar trabajos.	

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: (BIM Community, s. f.)

Hardware: los equipos computacionales deben permitir al operador trabajar con fluidez. Adicionalmente las máquinas deberán ser compatibles con las versiones de software empleados. Se recomienda que: el procesador sea superior a 5Ghz con varios núcleos, la memoria RAM sea superior a 8GB y con tarjeta gráfica sea dedicada, es decir, tenga su propia memoria reservada, con un chip grafico de alta velocidad.

Intercambio y Visualización: deben ser herramientas especializadas, para visualizar y revisar el modelo BIM, en computadores o en plataformas móviles, que presenten opciones de modificación. En la actualidad en países desarrollados en la implementación de BIM se utilizan soportes tecnológicos de visualización que permiten la interacción y la obtención de información a un elevado nivel de detalle.

Por ejemplo la representación de una columna en un plano frontal en dos dimensiones, no es suficiente para determinar el tipo de columna (circular,

rectangular o prismática), adicional a esto, la representación gráfica de los estribos tiene una limitación, ya que no nos permite conocer la forma y la disposición exacta de los mismos (Bridgit, 2015). A continuación se presenta la figura 4.6, donde se utiliza la utilización de herramientas de visualización inteligente dando soporte a un modelo desarrollado con BIM.

Figura 4.6. Herramientas de visualización



Fuente: (Bridgit, 2015)

4.5.2.2. Criterios de procesos

Liderazgo BIM: el liderazgo es importante para que la visión sobre el modelo BIM se plasme en metodologías de trabajo, para producir los resultados esperados.

La gestión de cambios, es el conjunto de estrategias que faciliten la adaptación duradera y sostenible de los cambios. A continuación se presentan técnicas de gestión de cambio que ayudan en la implementación de BIM.

- Realizar evaluaciones: las actividades internas de las acciones de los equipos deben ser controladas mediante evaluaciones y validaciones de adaptación al cambio, se recomienda que el equipo de liderazgo BIM elabore

parámetros o indicadores para medir el nivel de adopción de BIM en la organización. De esta forma, es más sencillo representar resultados estadísticos que demuestren el compromiso de la organización con la implementación de BIM, permitiendo establecer espacios de transición de la parte teórica a la práctica, inyectando energía a la transformación.

- Inversión en capacitación: la adopción de BIM en cualquier organización siempre se va a ver ligada con la utilización de paquetes computacionales de nueva generación, haciendo necesaria la inversión en capacitación continua del personal técnico.
- Aspectos legales y contratos: conforma la nueva adopción de denominación y cargos en una organización, se convierte en una de las necesidades base, la correcta delimitación de las responsabilidades de los contratantes y de los contratados.
- Revisiones de proyecto: este proceso de revisión permite que el equipo de liderazgo BIM, analice la efectividad de la tecnología, los estándares y los procesos de BIM en el proyecto.

4.5.2.3. Criterios de políticas

La creación de normas y leyes aptas para la regulación continua de la implementación de BIM en organizaciones del Estado, incentivaría la adopción de nuevas metodologías que aporten al proceso de la construcción, en las empresas privadas. Sin embargo, la normativa no es la única condición necesaria para que la industria de la construcción ecuatoriana adopte nuevas metodologías de construcción. Es indispensable que la industria a través de sus cámaras, la academia e industrias conexas propongan la necesidad de volver más eficiente su ejercicio profesional. En este sentido, una alianza estratégica entre varios actores de la construcción es la principal vía para la implementación de las metodologías BIM en el país.

La creciente competitividad a nivel nacional, regional y mundial exige que los estudiantes se capaciten en los nuevos avances tecnológicos, académicos y de

gestión. Por ello, el ambiente educativo necesita mantener concordancia con las prácticas reales del sector de la construcción, proponiendo un plan de estudios basado en las necesidades de la industria. En este sentido, este proyecto de investigación busca introducir una reflexión y propiciar un debate sobre la necesidad de actualizar los contenidos de estudio en carreras técnicas relacionadas con la ingeniería y la construcción, con el desarrollo de nuevas tecnologías y procesos adaptados a la construcción y a la demanda de formación en los profesionales.

En la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional, existen materias que se encuentran relacionadas con la metodología BIM, estas materias son descritas a continuación en orden de presentación en la malla curricular:

- Construcciones Civiles
- Planificación y Control de Obras
- Formulación y Evaluación de Proyectos
- Gerencia y Administración de la Construcción
- Aplicaciones Computacionales
- Fiscalización en la Construcción
- Costos en la Construcción

Los tópicos que se estudian en estas asignaturas tienen relación con la metodología tradicional y las metodologías BIM, ya que estos aspectos fundamentales que se deben aprender para el proceso de generación integral de un proyecto. Sin embargo, estas asignaturas se encuentran dispersas en la malla y no contemplan un desarrollo cronológico adecuado. En el apartado 6.2, se plantea recomendaciones para implementar BIM en la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional.

4.5.2.4. Requerimientos organizacionales generales

Estructura interna: es indispensable la presencia de un coordinador general con

experiencia en trabajos con herramientas, procesos y metodologías BIM a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Calificación técnica: es indispensable que el personal tenga capacitación estándar en procesos BIM y donde cada uno maneje de manera eficiente las herramientas y conceptos que corresponden a su rol.

4.5.2.5. Requerimientos técnicos generales

Estándares de modelado: es necesario una estructura organizada y estandarizada para la modelación, que defina principalmente:

- Nivel de desarrollo del modelo
- El proceso de modelado
- Flujo de trabajo
- Detalle de la información del proyecto en una plataforma común
- Detalle de software a utilizar
- Detalle de los modelos por especialidades
- Definición de las herramientas de visualización
- Codificación y nomenclatura estándar de elementos de acuerdo a las especialidades del proyecto

Precisión del modelo: todos los modelos de las distintas disciplinas, al igual que el definitivo, deben ser elaborados con niveles altos de precisión. La precisión de las dimensiones en los elementos estructurales y no estructurales debe estar relacionadas con el uso que se dará al proyecto.

Criterios de modelado: los elementos estructurales al igual que los no estructurales deben ser modelados con las herramientas apropiadas. En caso de no existir la herramienta se debe modelar con alternativas coherentes, adicionalmente, las novedades deben ser representadas en la documentación (BIM Forum Chile et al., 2017).

Niveles y divisiones: el método de modelado recomendado es donde se divide por niveles o plantas, donde se incluyan todos los elementos comprendidos en este espacio. En el modelo estructural, cada planta contiene los elementos estructurales horizontales, como vigas, losas y los verticales como las columnas y muros que la soportan. Se recomienda que se trabaje de forma independiente la cimentación al igual que los niveles de cubierta. Se debe incluir los elementos ligados a la estructura y que son imprescindibles para la capacidad de carga (BIM Forum Chile et al., 2017).

Especificación BIM: todas las disciplinas deben elaborar un documento con las descripciones del modelo y, adicionalmente, que se agrupen con la documentación general. Este documento debe contener la descripción del software de modelado, las distintas versiones a partir del modelo original, los requisitos, la madurez del contenido y cualquier restricción de uso.

Documentación mínima y formato: para tener concordancia con todo el proceso del desarrollo de un modelo basado en BIM, es importante que la documentación tenga alto nivel de información que permita identificar las propiedades de cada elemento que compone el modelo. Debido a la versatilidad del modelo, es posible la utilización de pantallas inteligentes para la representación de la documentación técnica en obra. Los modelos individuales al igual que el final deberán tener un formato de extensión que permita la interoperabilidad.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE VIABILIDAD – “TORRE DE TUMBACO 1”

Para analizar la viabilidad de la implementación de las metodologías y procesos BIM, como primera instancia, se planteó escoger un proyecto realizado en el Ecuador, sin embargo, el celo profesional impidió que se obtenga la información necesaria.

Para suplir esta necesidad, se planteó un proyecto, como un caso hipotético, útil para identificar las ventajas de crear un modelo paramétrico que integre distintas disciplinas. La propuesta consisten en un edificio habitacional de cinco plantas, su ubicación tentativa es en el valle de Tumbaco y se propuso un sistema mixto aporticado de hormigón armado y de mampostería reforzada. Se debe destacar que el alcance del proyecto llega hasta la etapa de anteproyecto. En la figura 5.1, se presenta una visualización de la edificación.

Figura 5.1. Vista del proyecto



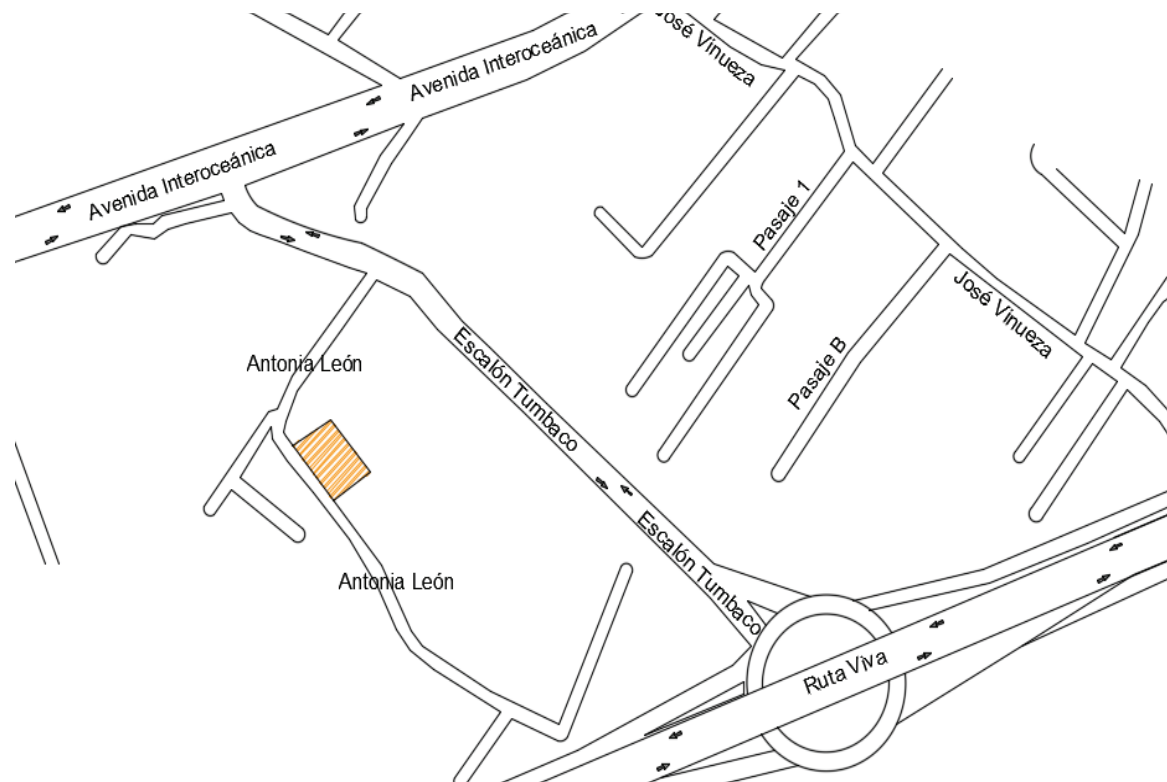
Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Descripción del proyecto: este proyecto cuenta de cinco plantas, diez departamentos es decir dos departamentos por planta, cuenta con dieciséis estacionamientos, de acuerdo a la zona y los alcances del proyecto se pretende que se una edificación categoría “D” de primera de acuerdo a la ordenanza N° 0196 (Municipio de Quito, 2018).

Ubicación: tentativamente el proyecto se encuentra en la calle Escalón Tumbaco y Antonia León, entre la Ruta Viva y la Avenida Interoceánica. En la figura 5.2, se muestra el croquis de la ubicación del proyecto Torre de Tumbaco 1.

Figura 5.2. Ubicación del proyecto



Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

Área del terreno: el área total del terreno es 2.377,23 m², de acuerdo a una estimación utilizando el programa Civil 3D, con licencia estudiantil.

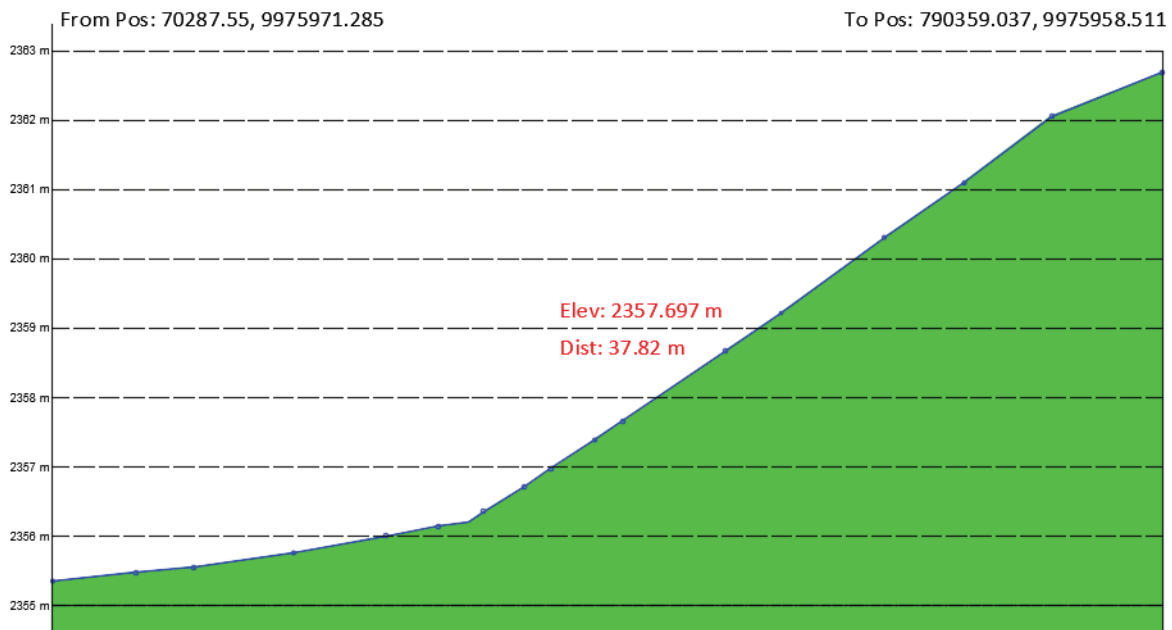
Perímetro del terreno: de igual forma para el cálculo del perímetro se utilizará la herramienta empleada en el cálculo del área y se obtuvo como resultado 19.938,16 m.

Forma del terreno: El terreno presenta una forma trapezoidal. Como se observa en la figura 5.2.

Pendiente del terreno: utilizando la herramienta computacional Civil 3D, es sencillo obtener el valor de la pendiente máxima del terreno como resultado en este caso de estudio se obtuvo una pendiente máxima de 8,30%, es decir en 100,00 m existirá una variación de 8,30 m en la elevación.

En la figura 5.4, se muestra un perfil transversal del terreno donde se construirá el proyecto Torre de Tumbaco 1.

Figura 5.3. Perfil transversal del terreno

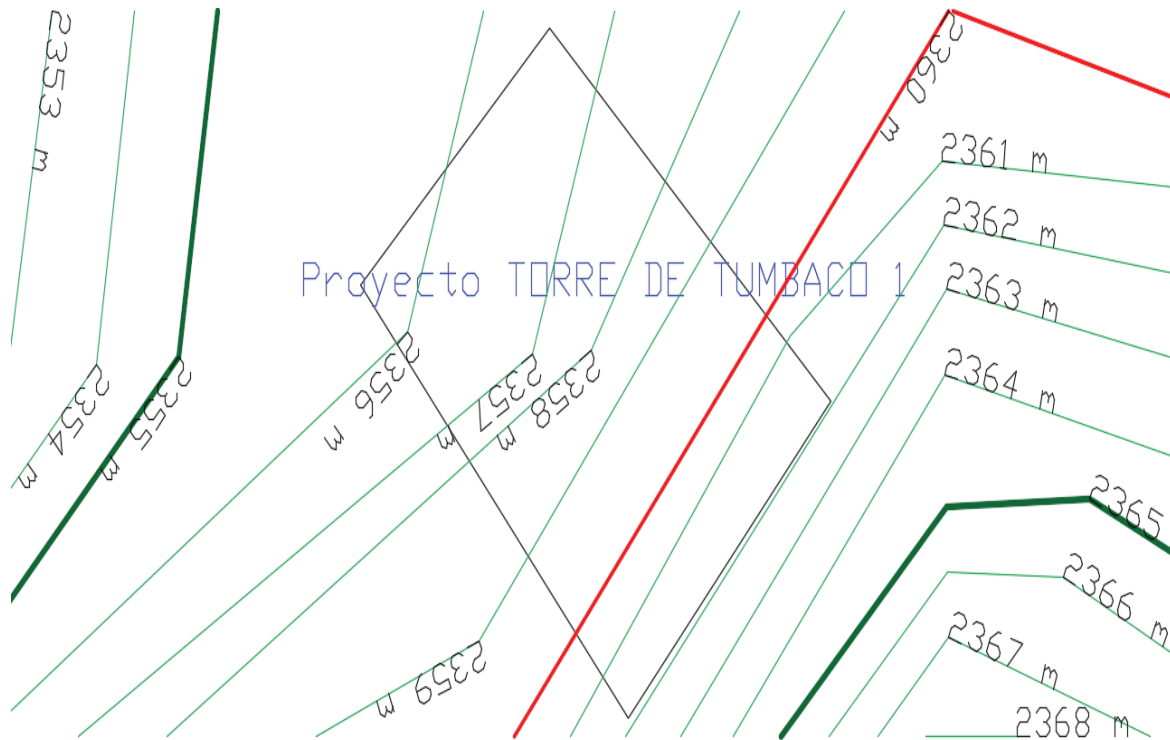


Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

Topografía del terreno: ya que este proyecto es desarrollado hasta la etapa de anteproyecto, no se considera necesario un levantamiento topográfico a detalle, es

por eso que se usaron herramientas computacionales con licencias estudiantiles o de prueba para obtener una topografía estimada, como la utilización de Google Earth y Global Mapper para obtención de los datos del terreno y Civil 3D para la generación de las curvas de nivel. En la figura 5.4, se observa las curvas de nivel integradas a Google Earth usando Global Mapper y la topografía del terreno en Civil 3D.

Figura 5.4. Topografía del terreno



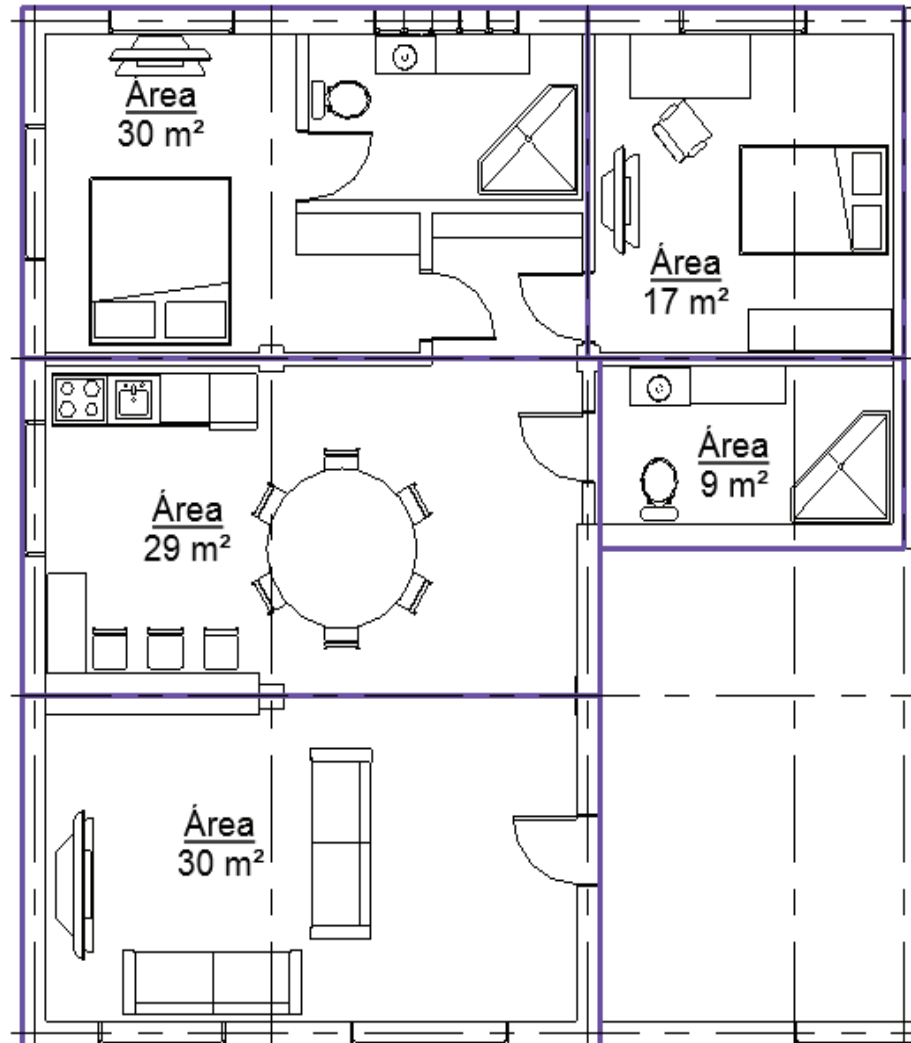
Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

Área de departamento: al igual que el cálculo de las áreas en paquetes computacionales de dos dimensiones como AutoCad, el cálculo de las áreas es muy sencillo debido a que estos programas presentan una ventaja sobre los otros: la rápida modificación de los elementos con parámetros definidos, es decir que al alterar la posición o dimensiones de un elemento, el programa inmediatamente cambiará las propiedades físicas de los elementos.

En este caso el área bruta de cada departamento es de 115,00 m², distribuidos de

la siguiente forma: cuarto master -incluye baño completo y vestidor- de 30,00 m², cuarto secundario 17,00 m², cocina comedor 29,00 m², baño completo 9,00 m² y sala de estar 30,00 m². En la figura 5.4, se observa la distribución de espacios en el departamento tipo del proyecto Torre de Tumbaco 1.

Figura 5.5. Distribución de áreas en departamento tipo



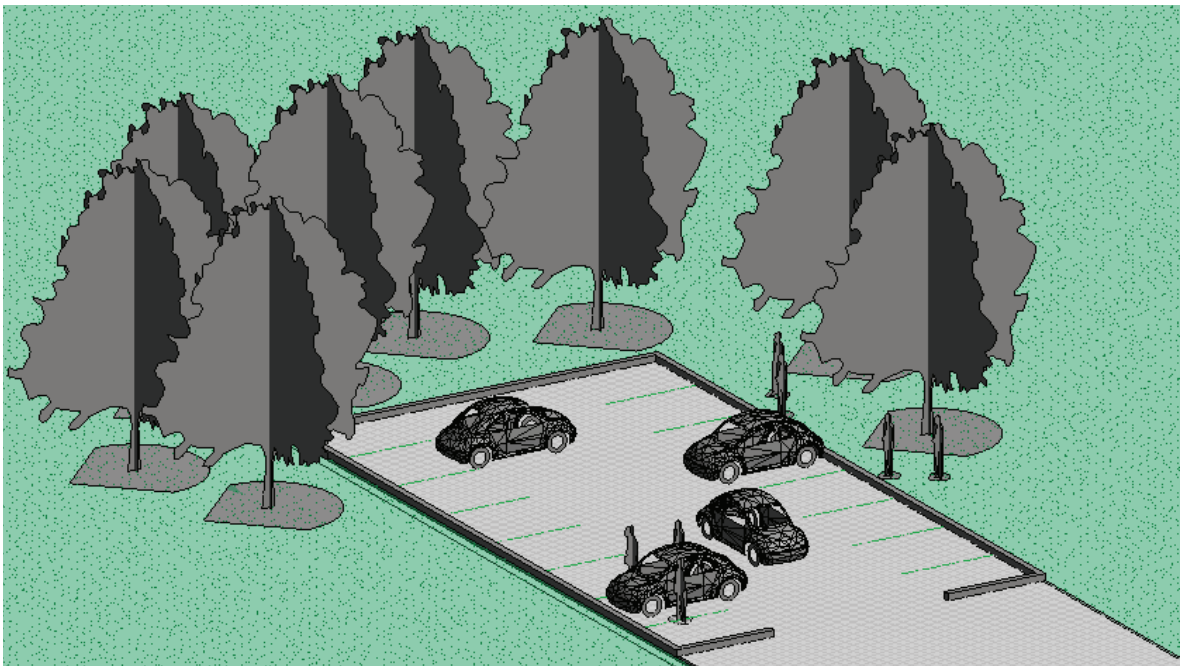
Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

Área de parqueaderos: debido a que existe diez departamentos en el proyecto Torre de Tumbaco 1, se planteó la propuesta de dieciséis parqueaderos, donde diez serán destinados para los propietarios y los restantes para visitas y personas con capacidades especiales. Cada estacionamiento tiene un área útil de 11,25 m²,

por consiguiente el área útil total de parqueaderos equivale a 180,00 m² y un área de maniobra de 50,00 m², por consiguiente el área total de estacionamientos es de 230,00m². Adicionalmente, los parqueaderos se encuentran el área exterior y no son cubiertos, su base es de adoquín gris.

En la figura 5.6, se presenta un esquema de colores coherentes y sombreado de los estacionamientos del proyecto Torre de Tumbaco 1.

Figura 5.6. Esquema de los parqueaderos



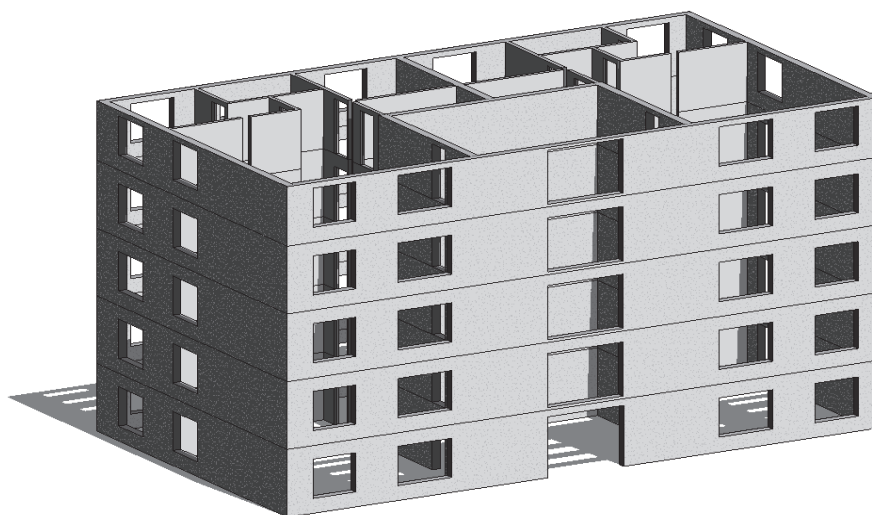
Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

Área de construcción: cada planta cuenta con un área de 272,00 m², es decir, que el total del área de la construcción de la edificación corresponde a 1.360,00 m², si a este valor se le adiciona el área de los parqueaderos se obtiene un área total de construcción de 1.590,00 m².

Área verde: para este proyecto se planteó que el resultado de la diferencia del área del terreno, área de parqueaderos y planta de la edificación, corresponda al área verde del proyecto; aproximadamente de 1.785,00 m². Se propone que el área verde este cubierta de césped y que cuente con árboles frutales.

Sistema estructural: para este proyecto se planteó un sistema mixto, incluye un sistema aporticado con columnas y vigas de hormigón armado y estructura de mampostería reforzada. Ya que el alcance de esta propuesta llega al anteproyecto, se ha realizado el predimensionamiento de las secciones de los elementos estructurales. En la figura 5.7, se presenta un esquema del sistema estructural de mampostería reforzada.

Figura 5.7. Esquema de los parqueaderos



Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

Presupuesto tentativo: de acuerdo a la Ordenanza N° 0196 del Distrito Metropolitano de Quito –válida para 2018-2019–, se estima que el costo por metro cuadrado en función de la tipología estructural, acabados, condiciones de la propiedad y el número de pisos, esta edificación se consideró como una estructura de categoría “D” (Municipio de Quito, 2018). Para este proyecto tiene un valor aproximado de 630,00 USD/m² de edificación y un aproximado de 226,00 USD/m² para parqueaderos. Por consiguiente el costo total de la construcción será aproximadamente 910.000,00 dólares americanos, Sin considerar el valor del terreno, sin embargo, se calcula los siguientes valores de la Ordenanza N° 0196: valor del terreno por metro cuadrado 205 \$/m², factor de corrección del valor del suelo 1,05 y por consiguiente el valor del terreno es igual a 511.698,76 dólares americanos (Municipio de Quito, 2018).

Consideraciones: La planificación y la formulación de este proyecto están consideradas dentro de la etapa inicial, denominada anteproyecto. Esta fase del trabajo se encarga de la delimitación de los aspectos generales al igual que los fundamentales del proyecto y a su vez dan la primera imagen de la misma, facilitando una estimación de presupuesto.

5.2. VIABILIDAD TÉCNICA

5.2.1. Disciplinas e integración

Las propuestas arquitectónicas y sanitarias se desarrollaron en el programa Revit de Autodesk con una licencia educativa, que permite utilizar las funciones completas establecidas en la licencia estándar por un tiempo de tres años. Para el cálculo y prediseño estructural se utilizaron paquetes computacionales como Cype y Etabs. Sin embargo, para la integración de la información se utilizó Revit. En la figura 5.8, se presenta un esquema de la integración de las disciplinas.

Figura 5.8. Disciplinas e integración



Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

Para este proyecto en el área de la ingeniería civil se plantearon aspectos como el

relevamiento planimetría y altimetría de sitio de implantación, es decir la topografía. Análisis y prediseño de cimentaciones, elementos estructurales de mampostería reforzada y de hormigón armado del sistema estructural. Adicionalmente se plantea la estimación de las secciones de las tuberías del sistema de agua potable y alcantarillado.

Para el desarrollo se utilizaron paquetes computacionales comerciales, que cumplan con la filosofía de BIM. En el área de la ingeniería civil de topografía se ocupó paquetes como Civil 3D y Revit, en la elaboración de la ingeniería se utilizó Revit, Cype y Etabs.

Se considera que en las siguientes etapas de la formulación de este proyecto, se dará la integración de especialistas. Entre ellos, el encargado de la delimitación integral de los aspectos arquitectónicos al nivel de un diseño definitivo, al igual que especialistas sanitarios que confirmen y certifiquen el modelo planteado en el caso de alcantarillado y agua potable. En el área de la ingeniería civil estructural, se deberá realizar un análisis lineal y no lineal detallado del sistema estructural global.

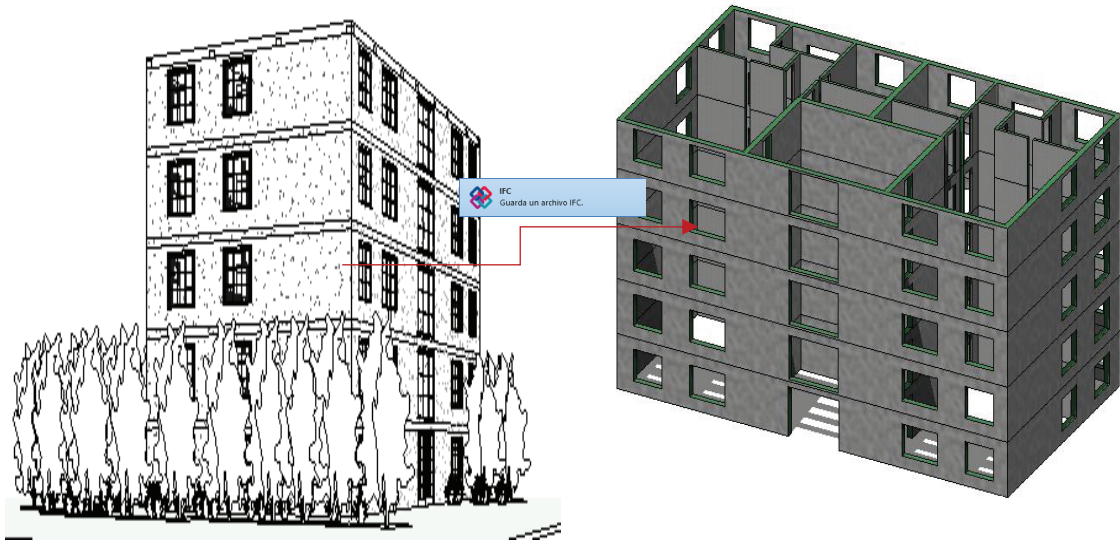
Adicionalmente, en las diferentes etapas se deberán realizar análisis continuos de la integración de las propuestas, para la detección de colisiones utilizando paquetes computacionales encargados de la gestión y de la simulación de integración como Naviswoc.

5.2.2. Comunicación, Colaboración e Interoperabilidad

Afortunadamente, al trabajar con paquetes computacionales que incorporan la filosofía del Open BIM, existió intercambio de información para procesar y complementar el proyecto con el análisis específico de las disciplinas.

Los programas mencionados anteriormente cuentan con la posibilidad de intercambiar información mediante la exportación en formato .IFC. En la figura 5.9, se presenta la posibilidad de exportar la información de un modelo en formato .IFC.

Figura 5.9. Comunicación, Colaboración e Interoperabilidad



Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

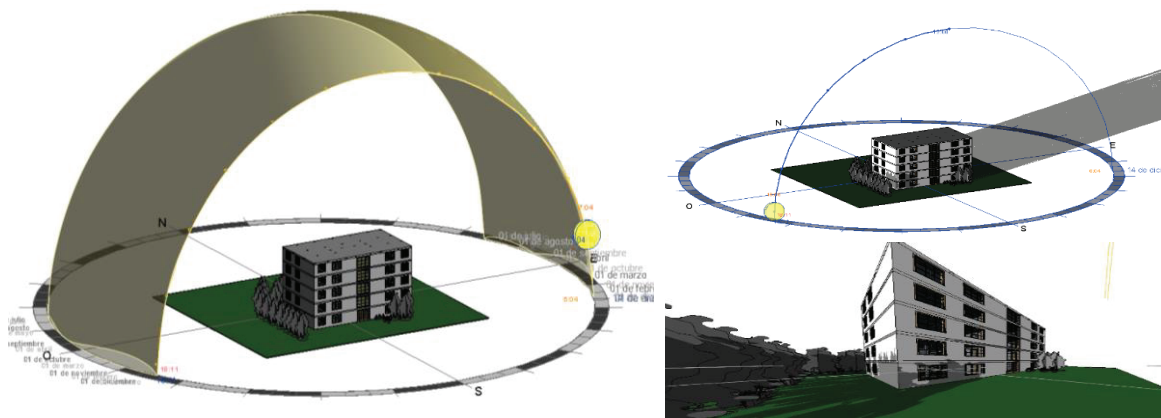
La etapa del proyecto que se presenta es anterior a una fase de comunicación y colaboración puesto que se expone la concepción inicial del proyecto. Esto quiere decir que en el diseño sí se incluyen otros profesionales de acuerdo con la filosofía BIM, pero en etapas futuras. Por fines pedagógicos, este proyecto se presenta en una etapa de prediseño, correspondiente a la etapa de modelado basado en el objeto (Etapa BIM 1), es decir que se ha incluido en el trabajo el uso de programas de modelado en dos y tres dimensiones; además, se ha considerado la integración de distintas disciplinas en las siguientes fases, aunque en este momento no se integren en el prediseño.

Como ya se mencionó en el apartado anterior 5.2.1, en las siguientes etapas se espera la integración de distintos especialistas técnicos. Por este motivo, es necesario que se integre un especialista capacitado en la coordinación de modelos BIM al igual que un especialista en la gestión del talento, es decir un BIM Manager. En ese sentido y con estas consideraciones la utilización de un paquete computacional, que facilite la recopilación de información, submodelos, documentación técnica, planos y modelos definitivos será esencial, por lo que se recomienda el uso de BIM 360 de la casa de Autodesk.

representan información específica real. Es el caso de la información de los mobiliarios, presentan información paramétrica de sus aspectos físicos como dimensiones, volumen y peso. Sin embargo, la información de compra y venta no está disponible en este modelo ya que es un elemento genérico que se escogió.

En cuanto al comportamiento energético y de sustentabilidad, se destaca, la versatilidad que presentan los programas utilizados ya que permiten realizar un análisis en función de la exposición a la luz solar, reduciendo considerablemente la utilización de luz artificial. En la figura 5.11, se observa la disposición a la luz solar del modelo.

Figura 5.11. Disposición solar del proyecto



Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

En las siguientes etapas se espera que el análisis energético de este proyecto se alinee a los aspectos de eficiencia, es decir que no solo se analicen aspectos de disposición solar, sino que también, se controlen parámetros como el consumo de energía eléctrica, consumo de agua, volumen de descarga de aguas negras y grises. Todos estos aspectos necesariamente deberán ser analizados por un especialista que plantee distintas alternativas, que deberán ser estudiadas para ser añadidas en el modelo paramétrico, con su información detallada y documentos de operación y mantenimiento que serán aspectos necesarios que integren la séptima dimensión del modelo BIM.

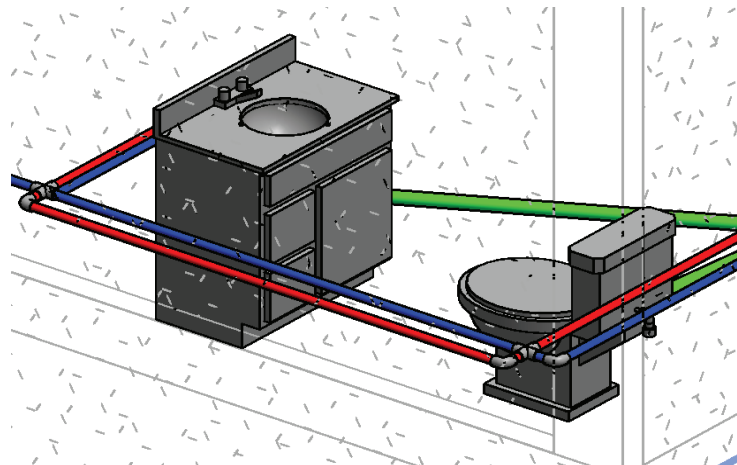
5.2.4. Visualización

La visualización anticipada del proyecto da la capacidad de analizar los detalles particulares de cada área y las características colectivas del modelo y así perfeccionar el proyecto, eliminando el mayor número de errores o indefiniciones.

En el proceso de modelado se pudo apreciar el detalle de los elementos constructivos, como es el caso de la disposición del acero de refuerzo en columnas, vigas, losas y zapatas. Además, la visualización anticipada del modelo permite la toma de decisiones en etapas tempranas, de acuerdo con los requerimientos y gustos del cliente. Finalmente, en etapas posteriores la visualización enriquecerá el trabajo del área de arquitectura.

En el caso del sistema de agua potable y sanitaria, es una gran ventaja contar con modelo común que integre la información, ya que permite identificar posibles colisiones u obstrucciones. Adicionalmente, el nivel de detalle y la precisión de contar con un modelo que permita identificar los elementos que componen las redes sanitarias facilita la cuantificación de elementos y la identificación de sus necesidades. Para así optimizar los recursos creando un modelo eficiente. En la figura 5.12, se visualiza el ejemplo del sistema de agua potable y sanitario en el proyecto.

Figura 5.12. Sistema de agua potable y sanitario para un baño tipo



Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

En la etapa de construcción, la importancia de crear un modelo paramétrico será de gran ayuda, ya que la información del modelo puede alcanzar niveles altos de información que serán útiles para elaborar elementos prefabricados que representen ahorro en el costo y tiempo de construcción, sin tener el grado de incertidumbre de la ubicación y conflictos que puede tener un elemento en el proyecto ya ejecutado.

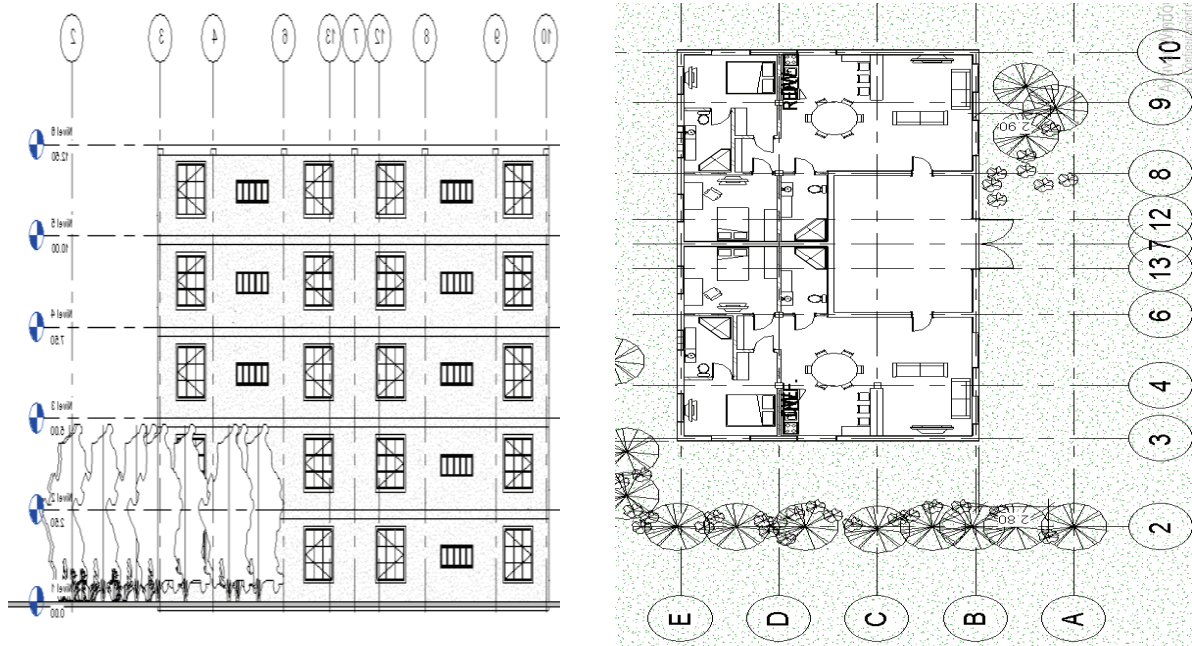
5.2.5. Presentación de la documentación

La versatilidad que presentan estas herramientas computacionales, para pasar de una visualización 3D hacia planos de detalle, integradas a la metodología BIM permite que la documentación técnica de las ingenierías se presente de forma clara y precisa, evitando conflictos por superposición y distorsión de los planos por modificaciones independientes.

Adicional a esto, existirá una facilidad para que la ubicación de los elementos permita la obtención de información con mayor precisión y clasificación rápida para la elaboración de presupuestos. No obstante, en esta propuesta no se incluye el detalle específico de la cuantificación de los elementos, debido a que no corresponde a esta etapa.

Estas ventajas se ven reflejadas en el tiempo de desarrollo de la documentación. En el caso de la metodología tradicional, al usar herramientas computacionales en dos dimensiones; si existe la necesidad de modificar algún elemento, la corrección de la documentación deberá ser modificada elemento por elemento, al igual que la elaboración de un nuevo cálculo de volumetrías ya que la variación se verá reflejada no solo en los planos sino también en la cuantía de materiales. A diferencia, del uso de herramientas computacionales en dos dimensiones, los paquetes como Revit permiten modificar elementos de un modelo de forma rápida, ya que al cambiar algo en el modelo, inmediatamente esto se verá reflejado en los planos de detalle y en la ubicación de los materiales y elementos. En la figura 5.13, se observa un plano de planta y elevación del modelo.

Figura 5.13. Planos de planta y elevación del modelo



Fuente: Luis Fernando Maya Santacruz

5.3. VIABILIDAD ECONÓMICA

En la adopción de BIM es necesario analizar los factores a favor y los que están en contra, para realizar un balance; que facilite la toma de decisiones. En este caso, los factores que se consideran son los costos, representados por la inversión en la adquisición de licencias y capacitación de los usuarios.

5.3.1. Costo de hardware

Los equipos que se pueden encontrar en el mercado, que cumplan con las características mencionadas en el apartado de criterios de tecnología, fluctúan entre 1.299,00 y 3.300,00 dólares americanos. Los equipos tienen las mismas características, sin embargo, la variación de precios corresponde a la marca.

En la tabla 5.1, se presentan algunos ejemplos de computadores portátiles con las características para soportar paquetes computacionales que permiten trabajar en un entorno BIM, adicional se incluyen un costo referencial.

Tabla 5.1. Marcas y costos de hardware

TIPO	MARCA	COSTO (\$)
Laptop	Asus Rog Strix G1753ve	1.629,00
Laptop	Asus M580vd-ed76	1.439,00
Laptop	Asus Rog dh78	1.799,99
Laptop	Asus Rog strix G1702vs	2.499,00
Laptop	Asus Rog G750JZ	2.999,00
Laptop	HP Omen	3.300,00
Laptop	HP Professional 17-AB091	1.299,00
Laptop	Lenovo Y520	1.349,00
Laptop	Dell Gaming Pro	1.299,00
Laptop	Dell Alienware	2.599,99
Laptop	Acer Predator Helio Gaming	1.850,00

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: («buy-online», 2017)

5.3.2. Costo de software

Dependiendo de las características de la empresa y su finalidad, la inversión en el uso de paquetes computacionales será distinta, ya que, las herramientas corresponden al entorno y finalidad de trabajo que brinde una empresa, como: modelado, validación, documentación y de comunicación e integración.

Los costos de los paquetes computacionales con licencia de un año y monousuario, se encuentran entre 864,00 y 5.140,00 dólares americanos, dependiendo de las características de las herramientas y funcionalidades, como se presenta en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Marcas y costos de software

PROGRAMA	TIPO DE LICENCIA	COSTO (\$)
REVIT LT Suite	Por un año	864,00
REVIT	Por un año	3.447,00
BIM 360 TEAM	Por un año	151,00
AutoCAD Civil 3D	Por un año	3.296,00

AutoCAD ELECTRICAL	Por un año	1.567,00
ARCHITECTURE, ENGENIERING – CONSTRUCTION COLLECTION AUTODESK	Por un año	4.217,00
AutoCAD ARCHITECTUR	Por un año	2.217,00
INVENTOR	Por un año	2.965,00
CYPECAD SUITE	Por un año	5.140,00
TEKLA STRUCTURES	Por cinco años	23.783,00

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: («buy-online», 2017)

5.3.3. Costo de formación

Actualmente, existen varias universidades a nivel internacional que forman a los profesionales del área de la ingeniería y la construcción, con maestrías relacionadas a la filosofía BIM. Los costos de formación varían ente 5.210,00 y 9.198,00 dólares americanos, dependiendo de la universidad y su reconocimiento internacional.

En la tabla 5.3, se resume algunas maestrías se imparten a nivel internacional, relacionados con la metodología y procesos BIM.

Tabla 5.3. Formación académica y costo

MAESTRÍA	UNIVERSIDAD	FECHA DE CONSULTA	COSTO (\$)
Maestría en BIM Management (Sistemas Revit, Allplan, AECOsim y Archicad)	Universidad Rey Juan Carlos	Diciembre 2017	5.210,00
Maestría BIM Management en Infraestructura e ingeniería civil	Universidad Rey Juan Carlos	Diciembre 2017	5.210,00
BIM Manager	ZIGURAT Global Institute of Technology	Enero 2018	8.459,00
Máster BIM y Diseño Integrado	Universidad de Barcelona	Enero 2018	6.565,00

Máster BIM Oficial de Autodesk. MBA	Autodesk	Enero 2018	6.130,00
BIM management - gestión multiplataforma de building information modeling	Universitat Politècnica de Catalunya	Enero 2018	6.130,00
Máster en gestión de información de la construcción BIM	Universitat Politècnica de València	Enero 2018	8.092,00
Gestión de proyectos, BIM manager	Universidad Europea Valencia	Enero 2018	9.198,00

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

5.3.4. Capacitación continua

Actualmente a nivel nacional, existe una constante propaganda y difusión de cursos de capacitación en la utilización de diversos paquetes computacionales que se encuentran ligados con la filosofía BIM. Los costos de los cursos de formación varían ente 130,00 y 1.670,00 dólares americanos, en función de la complejidad y el nivel de uso.

Cabe aclarar que la capacitación consiste en el manejo de los paquetes computacionales, mas no en el concepto de la integración dentro de un entorno BIM. En la tabla 5.4, se resume algunos cursos que se imparten a nivel nacional del manejo de paquetes computacionales relacionados con la metodología y procesos BIM.

Tabla 5.4. Cursos de capacitación y costo

PROGRAMA	CONTENIDO	EMPRESA	FECHA DE CONSULTA	COSTO (\$)
Tekla Structures	Diseño estructural BIM	EQUINOCCIO	Octubre 2017	356,00
Revit	Arquitectura nivel 1	SKTALLERES	Noviembre 2017	264,00

Revit	Básico	CAE – Quito	Noviembre 2017	130,00
Tekla Structures	Detalle y despiece BIM	EQUINOCCIO	Septiembre 2017	150,00
Revit	Básico	BIMcity	Noviembre 2017	665,00
Revit	Arquitectura	BIMcity	Noviembre 2017	1.210,00
Revit	MEP Básico	BIMcity	Noviembre 2017	695,00
Revit	MEP Medio	BIMcity	Noviembre 2017	870,00
Revit	MEP Avanzado	BIMcity	Noviembre 2017	1.670,00

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

5.4. VIABILIDAD FINANCIERA

Calcular el retorno de la inversión, en cualquier tipo de negocio, es uno de los cálculos más importantes que se debe realizar. El objetivo de esta operación es que los representantes de una organización, puedan determinar la ganancia que van a tener al invertir una cierta cantidad de dinero o recursos. En definitiva este análisis permite comprender si una inversión está siendo rentable o no (Valdés Indo, 2014).

Para tener una aproximación de los costos de implementación y el retorno de la inversión de adopción de BIM en una empresa; se solicitó información a la ingeniera Silvia Guerra que se desempeña como jefa del área de licitaciones de la empresa SEMAICA. Esta información corresponde al número de personas que intervienen en el departamento de diseño, la función que cumplen, los proyectos que se desarrollan en el año, proyectos que se ejecutan en el año y las utilidades promedio de la empresa al mes. Esta información se resume en la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Información inicial

PREGUNTA	RESPUESTA	OBSERVACIÓN
¿Cuál es el número de personas que intervienen en los departamentos de diseño y construcción?	9	sin contar con personal de campo
De este grupo de personas	3 dibujantes	

¿Cuántos se desempeñan como dibujantes, diseñadores, responsables técnicos, administrativos y responsables de departamento?	1 diseñador 2 responsable técnico 3 responsables de departamento	
¿Cuántos proyectos se desarrollan al año y de qué tipo?	10	Son naves industriales, edificios, túneles, puentes o proyectos hidroeléctricos
¿Cuántos proyectos se ejecutan o construyen al año y de qué tipo?	3	Son naves industriales, edificios, túneles, puentes o proyectos
¿Tiene una idea aproximada de las ganancias mensuales que tiene la empresa?	500.000,00	
¿Su empresa ya implementó los procesos y metodologías BIM?	02-01-2018	

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: («Tesis - BIM - EPN», 2018)

Para el análisis financiero se consideran los siguientes aspectos:

- Todo el personal del área será formado, es beneficioso para la empresa considerar el costo de formación, como algo diferido en los primeros doce meses desde la fecha de implementación de BIM.
- El personal recibirá capacitaciones cada cuatro meses, es decir, tres veces al año. En el uso de herramientas computacionales que tenga relación con interoperabilidad y procesos BIM.
- Se adquirirán nuevos equipos para el personal técnico, es decir nueve computadores de última generación.
- Se adquirirán licencias de herramientas computacionales por un año, de acuerdo a la Tabla 5.2.
- Se considera la pérdida de la productividad en 25% de acuerdo a la

publicación de Autodesk del 2012, lo que se va a ver reflejado en el valor de la utilidad durante el primer año de implementación de BIM.

- Para este análisis no se considera el valor de los salarios mensuales del personal técnico, debido a que este valor será constante en el caso de continuar con la metodología tradicional y en la implementación de BIM.

El costo de los equipos y las licencias de los paquetes computacionales por un año; es un valor considerable debido a que es proporcional al tamaño de la empresa, representando el 61,77% del costo de la inversión de la implementación de BIM. El restante 38,23% del costo de la implementación representa el valor de la formación y la capacitación del personal técnico en el año 2018. Ver la tabla 5.6, donde se presenta el cálculo del análisis financiero.

El total de egresos esperado para el año 2018 representa el 18,58% del total del ingreso. Si bien es un costo alto, este valor puede ser recuperado en el transcurso de los años debido al incremento del rendimiento y de la productividad en un 50%, se estima que para el final del año 2019, el crecimiento será de 578,23% con relación al valor Total Acumulado del año 2018.

Tabla 5.6. Cálculo financiero

2018												
ITEM	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
EGRESOS												
Equipos	46.591,00											
Programas	125.551,40											
Formación	6.069,92	6.069,92	6.069,92	6.069,92	6.069,92	6.069,92	6.069,92	6.069,92	6.069,92	6.069,92	6.069,92	6.069,92
Capacitación	11.234,00				11.234,00				11.234,00			
T. Egresos	189.446,32	6.069,92	6.069,92	6.069,92	17.303,92	6.069,92	6.069,92	6.069,92	17.303,92	6.069,92	6.069,92	6.069,92
Egresos Acumulados	189.446,32	195.516,24	201.586,16	207.656,08	224.960,00	231.029,92	237.099,84	243.169,76	260.473,68	266.543,60	272.613,52	278.683,44
INGRESOS												
Utilidad	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00
T. Ingresos	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00	125.000,00
Ingresos Acumulados	125.000,00	250.000,00	375.000,00	500.000,00	625.000,00	750.000,00	875.000,00	1.000.000,00	1.125.000,00	1.250.000,00	1.375.000,00	1.500.000,00
TOTAL												
Total	-64.446,32	118.930,08	118.930,08	118.930,08	107.696,08	118.930,08	118.930,08	118.930,08	107.696,08	118.930,08	118.930,08	118.930,08
Total Acumulado	-64.446,32	54.483,76	173.413,84	292.343,92	400.040,00	518.970,08	637.900,16	756.830,24	864.526,32	983.456,40	1.102.386,48	1.221.316,56

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Una vez planteado los aspectos financieros económicos y técnicos de la viabilidad de la implementación de BIM en un proyecto hipotético. Se planteó indispensable mencionar las ventajas y desventajas de la implementación de BIM en las distintas etapas de concepción de un proyecto, a fin de identificar el alcance máximo que se puede tener con BIM.

5.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE BIM

5.5.1. Ventajas

Las ventajas que presenta BIM son sin duda de gran ayuda para la industria de la construcción y se las puede clasificar de forma global como se muestra a continuación:

- **Coherencia de la información:** la documentación del proyecto está contenida en un modelo único y paramétrico, lo que implica que se eliminan los errores por superposición. El beneficio de esta característica es que los cambios que se realicen se ven reflejados automáticamente en las vistas y cálculos del modelo actualizado. Lo que facilita el cálculo de materiales, costo y tiempo, al igual que la elaboración de la documentación, como planos y fichas técnicas.
- **Colaboración:** esta es una de las cualidades más importantes de BIM, debido a que la cooperación elimina errores de vulnerabilidad estructural; al igual que suprime los errores por interrupción de las distintas disciplinas, conformando un modelo congruente y de fácil entendimiento para todos los involucrados.
- **Visualización 3D:** un modelo 3D nos brinda una visión general de fácil comprensión del proyecto y posibilita la toma de decisiones previas a la construcción, ya que prevé y detecta conflictos e incoherencias de diseño, pudiendo aportar soluciones (Monfort, 2015).

De acuerdo a la experiencia de varios expertos a nivel mundial, las principales

ventajas que presenta BIM se pueden dividir de acuerdo a las ramas involucradas en los proyectos; incluyendo arquitectura, ingeniería, construcción y satisfacción del cliente, viéndose reflejadas en las distintas etapas del proyecto.

A continuación se clasificaran las ventajas de acuerdo a las etapas de un proyecto gestionado de forma integral con BIM.

5.5.1.1. Evaluación de necesidades y objetivos

Se debe tomar en cuenta la necesidad del promotor y el cliente. De igual forma, los objetivos por los cuales quieren adquirir la propiedad, de esta manera es posible la determinación de las ventajas en esta etapa.

Ventajas:

- Creación de un plan para el uso de la información.
- Utilización de un modelo de datos de partida para la licitación, acuerdo o resolución.

5.5.1.2. Diseño conceptual

En esta etapa se establece el ámbito de aplicación para el proyecto; así como el horario, costo, los objetivos de medio ambiente y las necesidades de funcionalidad, así como los objetivos especiales (Building Smart Spanish Chapter, 2014a). Adicionalmente, es necesaria la elaboración de la metodología de ejecución para el proyecto. Como paso consecutivo, es necesaria la formulación de la descripción para el plan de proyecto de BIM y su alcance global, debido a que éstas son las herramientas base para la toma de decisiones en cuanto a inversión.

Durante la fase de diseño conceptual, el modelo de información no necesariamente tiene geometría definida. La correcta formulación de un modelo de requisitos espaciales puede ser utilizada durante todo el proceso del proyecto. Se debe comprobar el fiel cumplimiento de los requisitos mínimos espaciales de acuerdo

con las políticas de urbanismos donde se plantea el modelo.

Ventajas:

- Identificación de los requerimientos necesarios para la licitación del diseño arquitectónico, al igual que la identificación del conjunto de condicionantes para el proyecto.
- Análisis energético preliminar del proyecto.
- Análisis de riesgos (Building Smart Spanish Chapter, 2014a).

5.5.1.3. Planificación del diseño

Se caracteriza por la organización del diseño y la formulación de un programa de diseño, con los ajustes necesarios al plan de BIM. Incluye además, la programación del diseño y especificación del control de calidad, participando en la negociación necesaria y la selección de los diseñadores para el proyecto.

Ventajas:

- Programa de diseño, incluidos los procedimientos de cooperación y de información.
- Análisis de riesgos actualizado (Building Smart Spanish Chapter, 2014a).

Debido a que son métodos de trabajo colaborativos, la cooperación y el flujo de información se acentúan aún más en proyectos BIM y un posible modelo operativo también integra el diseño en general.

En esta etapa es indispensable que la gestión del proyecto considere la forma adecuada para alcanzar los objetivos ya planteados en la etapa de planificación, para la implementación de los modelos BIM. La organización y la distribución del diseño, al igual que los servicios necesarios del modelo, como la utilización de programas computacionales para el proyecto, tienen en cuenta las características particulares del modelado de información. En todos los proyectos se debe destacar la importancia del saber de las distintas disciplinas, la experiencia, la capacidad de

cooperación y la capacidad de producir la información (Building Smart Spanish Chapter, 2014a).

5.5.1.4. Control del diseño

Incluye la certificación del cumplimiento de los objetivos de diseño, en comparación con los requisitos, diseño general y las etapas de implementación. “Los resultados específicos de la etapa de diseño estipulados en el diseño basado en BIM y derivado de los modelos BIM son recopilados como apoyo para la toma de decisiones por parte del cliente” (Building Smart Spanish Chapter, 2014a).

Ventajas:

- Definición de cooperación.
- Definición de las garantías de calidad.

5.5.1.5. Control del diseño preliminar

En la fase del diseño preliminar o esquemático, las soluciones alternativas se formulan para cumplir el conjunto de objetivos. Mediante el análisis comparativo de las características base, los distintos modelos planteados como alternativas, permiten la estimación de costos, ciclo de vida y de forma paralela se realiza el cálculo de eficiencia energética.

Ventajas:

- Identificación de los requisitos del modelo MEP.
- Estudio previo de eficiencia energética.
- Actualización automática de especificaciones del modelo.
- Alternativas de espacios y soluciones volumétricas.
- Evaluaciones de costos basados en el espacio.
- Ilustraciones y visualización del diseño.
- Material de marketing y propaganda.
- Soluciones preliminares para la estructura.

- Soluciones preliminares para los espacios MEP.
- Análisis preliminar de energía.
- Cálculos y visualización preliminares de iluminación.
- Simulaciones de iluminación.
- Cálculos preliminares del ciclo de vida.
- Simulaciones especiales requeridas.
- Modelo de requisitos de mantenimiento (Building Smart Spanish Chapter, 2014a).

5.5.1.6. Control del desarrollo del diseño

En esta etapa, de forma general, se desarrolla el diseño seleccionado como un plan adecuado y básico que garantice una fácil aplicación, al igual que la estrategia necesaria de adquisición. Durante esta etapa se utiliza el modelo preliminar arquitectónico, estructural y MEP relacionado con modelos BIM para el control del plan.

Durante la etapa de desarrollo de diseño, adicionalmente para cada submodelo individual, se presta especial atención a la revisión integrada de los modelos, por ejemplo, el modelo estructural y la excavación para la cimentación. Por otra parte, las soluciones de diseño y las decisiones de los clientes se guían para el logro de los objetivos y los resultados de los análisis de los modelos.

Ventajas:

- Ilustración de las soluciones de diseño.
- Mejor evaluación de costos basados en el espacio.
- Estimaciones de costos basadas en elementos de construcción preliminares.
- Esquema preliminar 4D.
- Animaciones.
- Descripción de entornos virtuales.
- Materiales de marketing.
- Análisis del impacto ambiental y energético.

- Simulaciones de fuego.
- Simulaciones especiales requeridas.
- Requisitos del modelo de mantenimiento.
- Decisión de aprobación del diseño básico (Building Smart Spanish Chapter, 2014a).

5.5.1.7. Planificación de la construcción

La preparación de la construcción implica la organización específica de las tareas de apoyo a los objetivos, responsabilidades y obligaciones relacionados con el BIM, estableciendo las adquisiciones para la licitación. Esto ha ralentizado el uso de los modelos en la etapa de construcción. “Si el contratista está obligado a utilizar los modelos BIM para su implementación a pie de obra, los modelos deben entregarse a este respecto con carácter vinculante para el cliente y el diseñador” (Building Smart Spanish Chapter, 2014a).

Ventajas:

- Modelos del sistema para cálculos en el contrato.
- Modelos de información del proyecto e informes.
- Criterios de selección pertenecientes a la competencia de los contratistas.
- Petición de ofertas de licitación y sus acuerdos.
- Acuerdos contractuales y contratación (Building Smart Spanish Chapter, 2014a).

5.5.1.8. Control de la construcción

Los proyectos deberán ser construidos de la forma indicada en los documentos y modelos de información del proyecto según las modificaciones decididas durante la fase de ejecución. “Se coordinarán el modelado de la información y la colaboración en obra. El control en obra asegura que la implementación es conforme con lo acordado, el rendimiento de las tareas, un resultado que cumpla con los objetivos y los requisitos operacionales y de mantenimiento” (Building Smart

Spanish Chapter, 2014a). Una adecuada coordinación BIM garantiza que las distintas disciplinas involucradas en un proyecto sean completamente responsables de suministrar toda la información técnica, planos y datos conforme a los requerimientos de la construcción, para facilitar el proceso constructivo.

Ventajas:

- Cooperación basada en BIM durante la fase de construcción.
- Informe de aseguramiento de la calidad e integración de diseños con los modelos de información de proyecto.
- Documentación mientras la construcción está en proceso (Building Smart Spanish Chapter, 2014a).

5.5.1.9. Seguridad industrial

Mejorar las condiciones de seguridad para los trabajadores y los profesionales que se encuentran en el sitio de la construcción debe ser una prioridad. Es importante colocar las condiciones y la planificación de seguridad de todo el proceso constructivo, para crear prácticas de trabajo que consideren el factor seguridad.

Con BIM, temas como la planificación del trabajo inadecuado, la insuficiente comunicación entre los trabajadores y la falta de la capacitación de seguridad, pueden ser abordados.

Ventajas:

- Inspección visual de las condiciones del sitio.
- Identificación de los peligros potenciales.
- Elimina riesgos y mejora las condiciones de seguridad (Rodríguez, 2015).

5.5.1.10. Inspección final, entrega y recepción de obra

Durante la inspección final, las funciones de los sistemas están testeadas y se presenta el manual de uso y mantenimiento. Es posible utilizar los modelos de

información del proyecto, como soporte para un fácil entendimiento, en el proceso de entrega y toma de posesión.

Ventajas:

- Especificaciones del modelo de información del proyecto.
- Aseguramiento de la calidad, detección de colisiones e integración de diseños.
- Manual de servicios (Building Smart Spanish Chapter, 2014a).

Cabe destacar que la ventaja más fuerte es la opción de fácil visualización de cualquier elemento o región de un proyecto. Utilizar herramientas BIM permite que las personas involucradas en el proyecto visualicen su avance durante todas sus etapas. Al utilizar un modelo 4D se tiene un beneficio extra, mejorando la comunicación y logrando un diseño pensado en la construcción. Además, al tener una visualización global del modelo, es posible la integración de los participantes que son involucrados en la toma de decisiones, que se vuelve más eficiente al detectar problemas de diseño en el proyecto.

En el caso del trabajo convencional, debido a que la comunicación es deficiente, la toma colectiva de decisiones generalmente no existe. Los problemas suelen evidenciarse en etapas posteriores, una vez que ya existen planos terminados y se pasa a revisión. Sin embargo, el proceso iterativo en ambos casos es necesario ya que el modelo está expuesto a modificaciones de diseño por factores externos.

“Esto se traduce en una mejora en la gestión y coordinación del proyecto, pues la diferencia clara es el tiempo que demora cada una de estas etapas. En el caso del modelo BIM no se pasa por la emisión de planos y posterior revisión con las otras especialidades, sino que se hace directamente en forma virtual, sin aún siquiera mencionar la rapidez en la modificación de elementos” (Aliaga, 2012).

5.5.2. Desventajas

Si bien BIM presenta una gran lista de ventajas para su implementación, es importante señalar los factores que se deben considerar en el cambio del CAD al BIM. Todo cambio conlleva un incremento del costo, no solo económico, sino también técnico, lo que incluye la adaptación, formación constante y la parte más complicada de dejar atrás la manera tradicional de trabajo.

El cambio de filosofía es una de las razones por las cuales se ve conflictivo el cambio de CAD al BIM. El BIM significa una nueva forma de trabajar, donde se integran nuevas herramientas en un espacio colaborativo.

Las herramientas computacionales que tienen relación con BIM, frecuentemente presentan algunas limitaciones que dificultan el proceso para establecer las características paramétricas e información interna de un objeto determinado. Generalmente, este conflicto se encuentra en el área de arquitectura, puesto que en ésta se definen de forma general los elementos a utilizar en un proyecto.

La capacitación continua, es una de las necesidades primordiales para la implementación de BIM, sin embargo, es necesario destinar tiempo y dinero al aprendizaje de estas nuevas herramientas. Adicionalmente también se debe incorporar equipos de alto rendimiento, que faciliten el proceso de modelado.

Frecuentemente las pequeñas empresas de construcción no usan software que se relacionen con BIM, lo que conlleva a que el contratista general subcontrate el modelado. Como consecuencia, se incrementa el tiempo y el costo. Además, el uso de paquetes computacionales de distintas casas comerciales puede presentar problemas. Se podrían ver dificultades con la pérdida de información (Eastaman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011).

En los primeros intentos de cambio del CAD al BIM hay una disminución en la productividad del 25 al 50%. Sin embargo, se compensa rápidamente por la productividad resultante de la utilización de BIM. Se considera que, se tarda de 3 a 4 meses para lograr el mismo nivel de productividad, utilizando metodologías

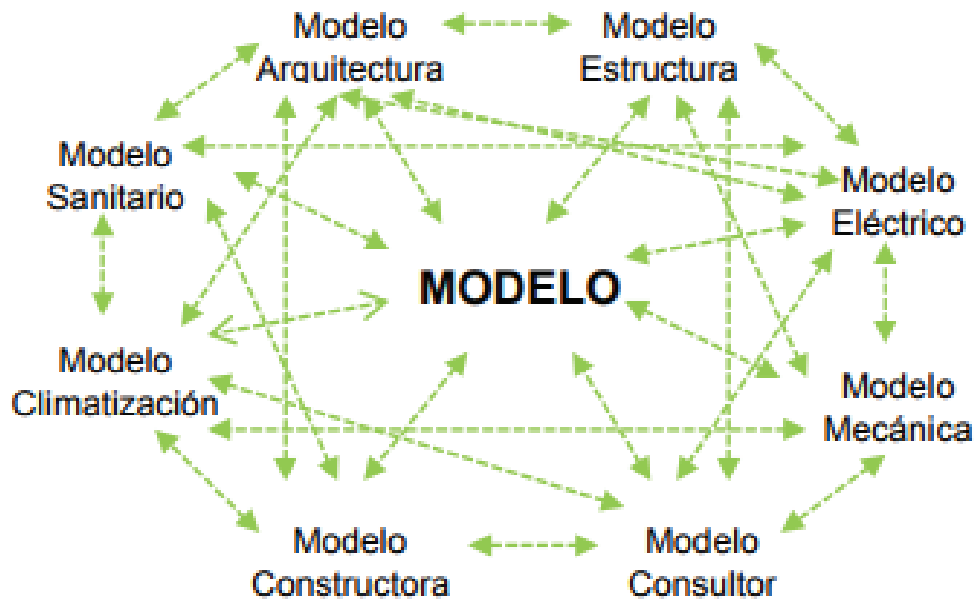
tradicionales. La productividad aumenta marcadamente hasta que se alcanza un estado de equilibrio, esto depende también del tamaño y tipo de empresa.

En el estudio realizado por Valdés, se pudo determinar que la productividad aumenta aproximadamente en un 50%, pero en casos excepcionales este valor se puede extender a cerca de 100% (Valdés Indo, 2014).

5.6. DIFERENCIAS ENTRE BIM Y LA METODOLOGÍA TRADICIONAL

El figura 5.14, representa la integración de las diferentes especialidades que componen un modelo tradicional. Se representa la coordinación de forma dispersa y desordenada de las disciplinas; por ejemplo, el modelo arquitectónico se relaciona siete veces con las demás áreas, haciendo su trabajo poco eficiente.

Figura 5.14. Modelo distribuido



Fuente: (Menares, 2016)

En la figura 5.15, se representa el flujo de trabajo lineal que se tiene con la metodología tradicional. Se observa que las etapas están concatenadas, de tal forma que es indispensable que el trabajo precedente se complete para poder

avanzar con las siguientes actividades. Además, a cada periodo le corresponde el trabajo de un profesional que se relaciona con los otros solamente al inicio y al final de la etapa que le ha sido asignada.

Figura 5.15. Proceso Tradicional



Fuente: (Cárdenas, 2016)

La metodología tradicional, basada en la implementación de herramientas CAD, se caracteriza por utilizar el flujo de trabajo lineal, donde no se evita la generación de errores.

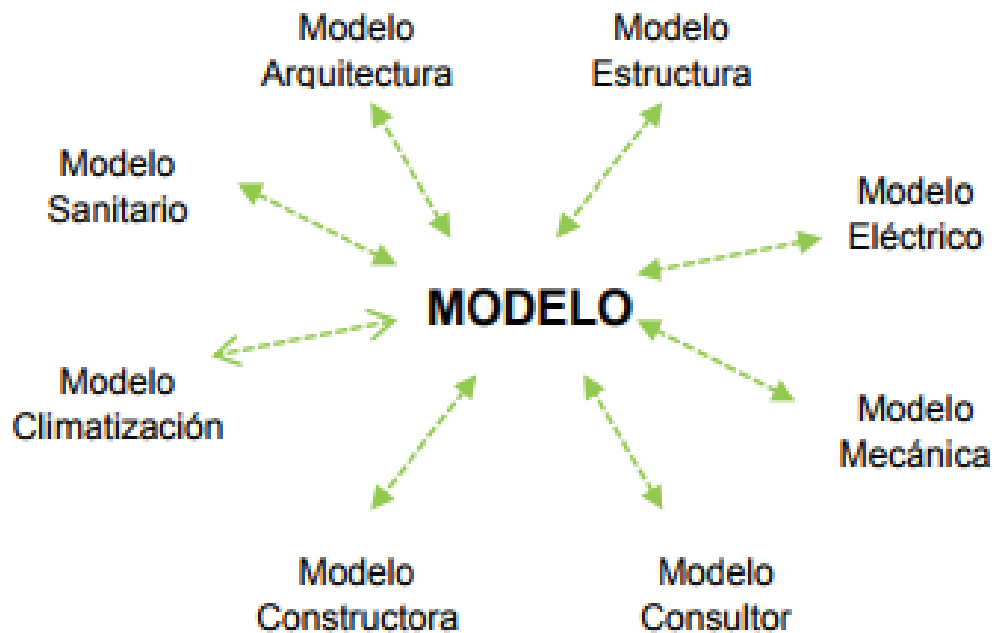
De acuerdo al estudio realizado por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología en Estados Unidos la información deficiente y la incertidumbre generada por la documentación 2D generan un flujo pobre de información. Adicionalmente en este estudio se identifica el incremento excesivo del costo y plazo como resultado de una mala interoperabilidad (Cárdenas, 2016). Respecto al intercambio de información y la gestión de la misma, podemos observar que en los sistemas individuales es complicado acceder y usar la información proveniente de otros sistemas (Dorta, Assef, & Méndez, 2014).

Como contraposición a la manera de coordinar los proyectos en forma tradicional se plantea la coordinación BIM, que integra una metodología de trabajo que se basa en la representación integral y tridimensional de la información de un proyecto, involucrando todas las disciplinas. La ventaja de la interacción de todos los actores técnicos, es que se genera un entorno espacial con alto nivel de detalle y de información paramétrica. Las herramientas BIM permiten simular de manera global

el producto y adicionalmente obtener la secuencia de ejecución mediante la programación 4D, propiciando un entorno donde el dialogo y la discusión de necesidades y análisis de situaciones retroalimentan a la información del modelo.

La coordinación de los datos permite controlar de mejor manera el proyecto, pudiendo facilitar el proceso de la gestión de la información y documentación. La adecuada coordinación siempre se reflejará en la reducción de problemas e interferencias entre disciplinas y usuarios, teniendo como resultado menos errores y, por lo tanto, mayor calidad y productividad, como se observa en la figura 5.16.

Figura 5.16. Modelo centralizado



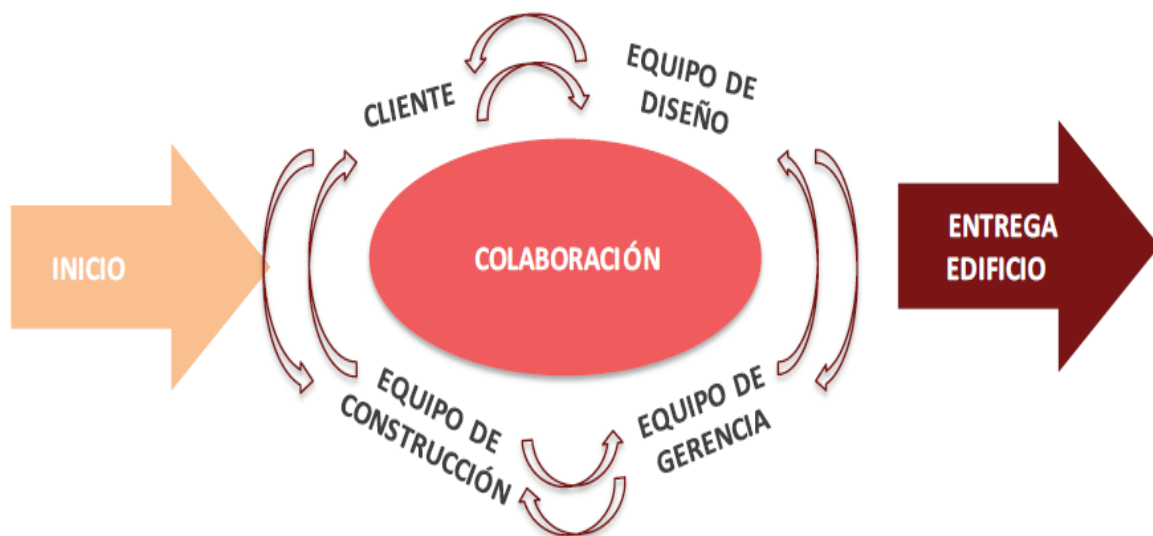
Fuente: (Menares, 2016)

La comunicación, coordinación y buen entendimiento entre las partes es imprescindible para el buen desarrollo del proyecto, para lo que se recomienda la implementación de BIM desde etapas tempranas, con el fin de evitar errores, ser más eficientes y siempre con el objetivo de obtener la información necesaria para la toma de decisiones durante toda la vida útil del proyecto. Como se observa en el esquema de la figura 5.17.

Cabe destacar que se debe contar con una metodología que permita controlar el flujo de información generado durante el desarrollo completo del proyecto. A continuación, se presentan las principales ventajas de una adecuada coordinación de proyectos dirigida mediante BIM:

- La pre visualización y retroalimentación del personal involucrado, ayudan a enfocar todos sus requerimientos.
- Disminución de costos y plazos globales de la obra asociados a las posibles incoherencias y vacíos entre los proyectos, no detectables en la etapa de coordinación con la metodología tradicional 2D.

Figura 5.17. Proceso colaborativo BIM



Fuente: (Cárdenas, 2016)

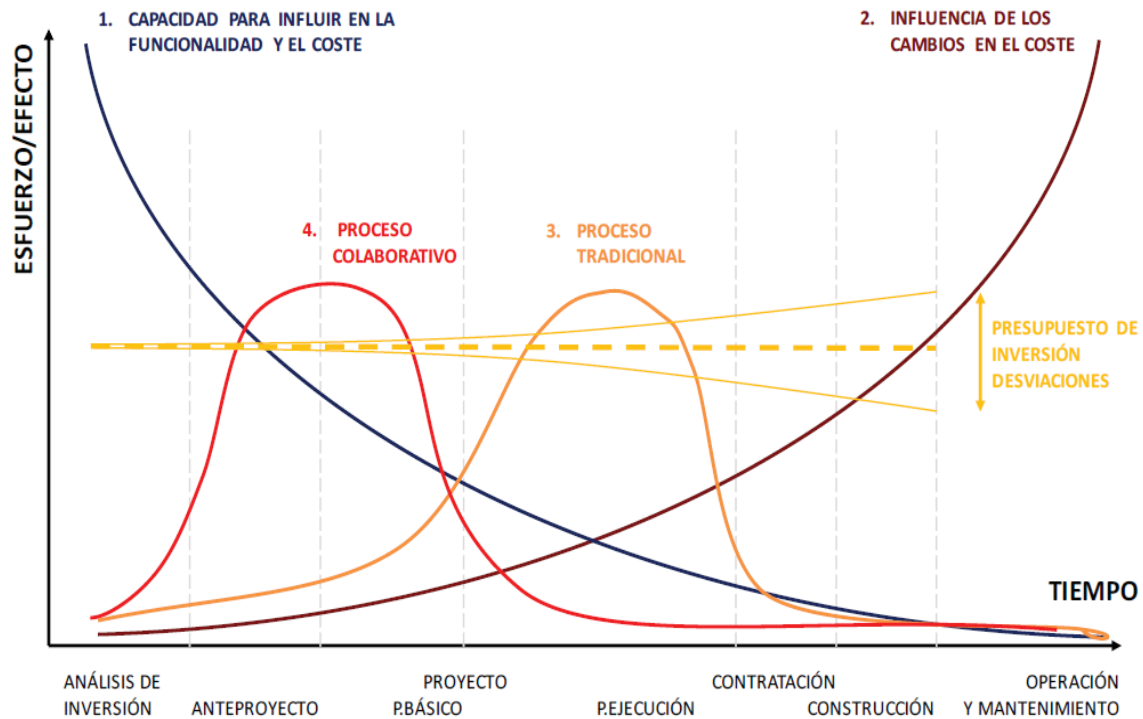
El proceso BIM genera crecimiento continuo de la información en las distintas etapas, frente a la desconexión y pérdida de la misma, que se produce en el método tradicional. La toma de decisiones se adelanta en el tiempo, generando menos riesgo de las inversiones, es decir que afecta directamente al coste final del proyecto.

Es destacable de BIM la colaboración de las distintas disciplinas que asegura que la toma de decisiones sea temprana, lo que se ve reflejado en la agilidad constructiva gracias al posible análisis de interferencias, lo que influirá

positivamente en la calidad y eficiencia del proyecto.

En la figura 5.18, se presenta la variación de esfuerzo versus tiempo de los procesos tradicionales y los procesos colaborativos.

Figura 5.18. Diagrama tiempo/efecto publicado por la AIA



Fuente: (Cárdenas, 2016)

Es importante mencionar la versatilidad que presenta BIM para integrarse en la constructibilidad, que permite resolver potenciales problemas antes de la etapa de construcción. Esta ventaja se refleja en la relación costo/beneficio en función del tiempo. “Expresado de otra forma, esta nueva metodología nos permite prever y resolver los posibles problemas en un modelo virtual, en lugar de encararlos en el campo mismo o en la etapa de construcción” (Ferrer, 2015).

La curva número tres de la figura 5.18, marcada por el color naranja, representa el proceso tradicional, donde se puede identificar que los mayores esfuerzos se dan en una etapa muy cercana a la ejecución del proyecto. Esto da lugar a que posibles

cambios impacten considerablemente en el costo. También se observarse la creación de un pico de trabajo, cuando se debe organizar y recopilar la documentación final, debido a la elaboración de la documentación As Built.

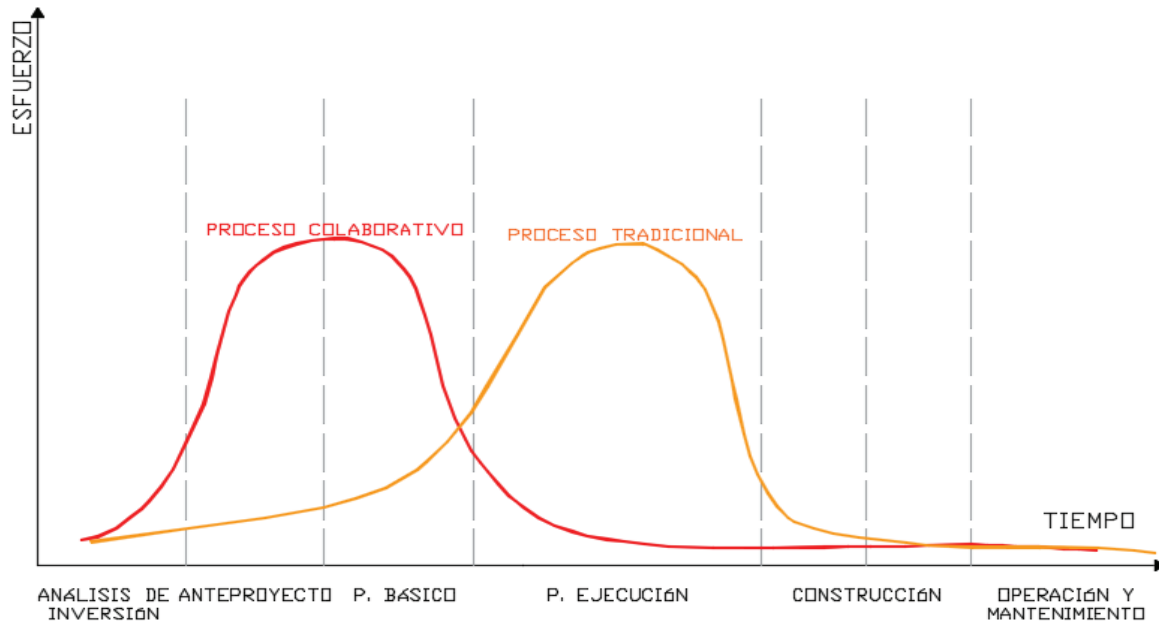
La curva cuatro de la figura 5.18, marcada por el color rojo, representa el flujo de trabajo BIM, donde se observa cómo se ha desplazado hacia la izquierda. Se representa mayor trabajo en etapas tempranas del proyecto, donde la influencia de los cambios en los costos es mínima y la capacidad para influir en los costos es óptima. Se debe comprender que conforme el proyecto avance, el impacto en los costos aumentará exponencialmente, como se ve reflejado en la curva dos -de color vino-, debido a que cambios en etapas avanzadas involucrarían rehacer trabajos que posiblemente ya han sido realizados a mayor detalle.

Con el desarrollo de la tecnología se ha creado un vínculo que permite llevar a cabo la transición de herramientas tradicionales a paquetes computacionales de alto desempeño, que facilitan el proceso de proyección.

Sin embargo, como se muestra en la figura 5.19, para desarrollar un proyecto basado en metodologías y procesos BIM es necesaria una gran cantidad de tiempo, para la elaboración de un modelo integral en la parte del diseño. No obstante, este tiempo disminuye con la pericia y el conocimiento de los involucrados al igual que con el avance del proyecto.

En contraposición, la metodología tradicional no requiere mucho tiempo para la proyección, debido a que trabaja con una línea general que representa la baja necesidad de recursos durante la elaboración. Pero posteriormente se puede determinar que el tiempo dedicado para la elaboración de documentación, planos y requerimientos individuales de cada área para la construcción incrementa considerablemente.

Figura 5.19. Curvas comparativas de tiempo vs esfuerzo del procesos colaborativo y tradicional



Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Fuente: (Cárdenas, 2016)

Para realizar un proyecto empleando BIM es necesario conocer acerca de los sistemas operativos que pueden facilitar el proceso, sin descuidar el conocimiento técnico de cada disciplina. Es común saber que en los primeros pasos con BIM de una persona o empresa, la adaptación siempre tomará tiempo, debido a la cantidad de trabajo que se debe realizar en las primeras etapas de un proyecto.

Los aspectos más importantes que se deben considerar antes de la implementación de BIM son la experiencia y la presencia de una metodología de trabajo. La experiencia en BIM es algo que marca la diferencia ya que el tiempo invertido y la dedicación en las primeras etapas de adaptación son mucho mayores a lo realizado hasta ahora mediante el sistema tradicional.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, SUGERENCIAS Y PROPUESTAS

6.1. CONCLUSIONES

6.1.1. La importancia de la gestión de los proyectos con BIM

La integración de las dos áreas de BIM, es decir Little BIM y Big BIM, permite crear y manejar información real, coordinada y confiable, con la que se podrá visualizar diseños, predecir eventos con precisión y tomar decisiones en fases tempranas del proceso de construcción. Hoy, profesionales de la construcción simplifican sus sistemas de trabajo y aumentan la productividad, creando proyectos de mayor calidad y logrando una ventaja competitiva a nivel mundial.

6.1.2. Impacto de la implementación BIM en el Canal de Panamá

La construcción del Canal de Panamá demostró una vez más que se puede lograr obras monumentales a partir del ingenio humano y el trabajo en equipo. Adicionalmente, este proyecto fue una prueba para las tecnologías BIM y esto se debe a que la verificación, comunicación e integración de distintos diseños involucrados en un proyecto de esta magnitud se dificultaría al llevarse a cabo con documentación dividida y representaciones 2D del proyecto.

Se vuelve necesario tener una referencia de un modelo 3D, que contenga información detallada de todo el equipo y sus elementos, al igual que la consideración del proyecto a lo largo de su ciclo de vida. En especial, debido a que se combinan la parte hidráulica, los sistemas de soporte, edificaciones y las obras secundarias que también deben prestar servicios simultáneamente. El proyecto del tercer juego de esclusas en el canal de Panamá sirvió como caso de estudio para demostrar no solo que esta tecnología funciona, sino que es una herramienta fundamental para optimizar el manejo de información y mejorar las vías de

comunicación en el proceso constructivo, y optimizar la operación y el mantenimiento de un proyecto complejo.

Adicionalmente, en esta publicación se mencionan las ventajas que se pudieron observar al utilizar metodologías y procesos BIM:

- Mejora de la capacidad de comunicación entre los clientes y constructores, debido a la implementación de un modelo tridimensional que contenga información paramétrica de las distintas disciplinas.
- El nivel de la calidad del diseño fue superior, por medio de las ventajas de colaboración.
- La productividad cumplió con estándares muy altos, esto se debe a la gestión eficiente de los cambios de diseño.
- La determinación de interferencias pudo ser realizada antes de la etapa de construcción, con la adecuada integración de los submodelos.
- La detección de conflictos por un medio virtual, eliminó cambios en el proceso de construcción que puede ser costoso y como consecuencia encarecer el proyecto.
- Facilitación de la obtención de documentación y planos de construcción, de un móndelo en tres dimensiones bien definido.
- El uso de modelos tridimensionales con información detallada de los elementos permitió a este equipo conformados por diversos ingenieros en cinco ciudades del mundo resolver los conflictos, ayudando a coordinar el proyecto, ahorrando tiempo y dinero (Burleigh, 2012).

Una vez asegurada la veracidad y la cantidad de información obtenida durante el diseño, la construcción y el etiquetado de los elementos mediante la asignación de un código, se puede facilitar la gestión de las instalaciones a lo largo de su vida útil, ayudando a que el Canal sea capaz de operar con mayor eficiencia en el tiempo. De esta forma el mismo modelo puede comunicar qué componentes utiliza, quién los fabrica y las características, por si fuera necesario reemplazarlos en un futuro.

6.1.3. BIM en el mundo y en Ecuador

Analizando el estado de adopción de BIM a nivel mundial, se identifica que esta metodología y procesos de trabajo, ha ganado gran espacio desde el año 2010. En muchos países de Europa, es obligatorio trabajar con esta metodología en proyectos públicos que superen un monto de dos millones de euros, desde el año 2017. Por esta razón más del 90% de empresas de ingeniería ya trabajan con BIM en Europa.

En Latinoamérica BIM es una temática que está ganando mucho espacio, es por esta razón que países como Colombia, Perú, Chile, Argentina y Brasil están creando organizaciones gubernamentales para la creación de estándares y normativas que regulen el desarrollo de proyectos empleando esta metodología; al igual que guías que marcan lineamientos para implementar BIM en las empresas de ingeniería.

En el país, es común el uso de herramientas computacionales que se encuentran relacionadas con BIM, sin embargo el uso de estas herramientas es de forma limitada, sin sacarles el máximo provecho y de forma parcial; es decir trabajando una especialidad a la vez y sin integrar de forma clara la información. La innovación y el desarrollo de nuevas herramientas que den más valor a los proyectos de ingeniería y construcción, es esencial; es por esta razón que se considera indispensable la modificación de la educación -incrementando nuevas herramientas y conocimiento sin perder las buenas bases técnicas-.

6.1.4. Estudio de la normativa en el país

En el apartado 4.2, se realizó un proceso de recopilación de información, a fin de determinar si las políticas públicas que regulan el proceso de contratación -en especial en proyectos de ingeniería y construcción- presentan lineamientos o criterios para la elaboración de estudios, consultorías o ejecución de un proyecto

en función de una metodología y procesos específicos. Como resultado del estudio, se obtiene que aunque existen criterios básicos, no se regula la incorporación de nuevas metodologías en procesos de diseño y de construcción y de la misma forma no existen apartados que regulen los aspectos de la presentación de documentos, al igual que sus formatos y extensiones.

6.1.5. Identificación de los principales problemas en proyectos de ingeniería y construcción

De acuerdo con los testimonios brindados por los profesionales entrevistados la mayoría de los problemas que aquejan a la construcción se originan en las etapas más tempranas, como el pre diseño y el diseño. En este sentido, a fin de resolver en su totalidad las necesidades profesionales las distintas disciplinas que operan en el proyecto deben trabajar de manera colaborativa.

Afortunadamente, al integrar BIM en la metodología de trabajo en un proyecto, será posible la detección de interferencias lo que se ve reflejado en la toma de decisiones en etapas iniciales, reduciendo el riesgo para la construcción o ejecución minimizando el costo y plazos. Ya que la visualización global de la programación y control de obra, tiende a ser lo más parecida a la realidad, aportando posibilidades en la eliminación de tiempos muertos.

El obstáculo más complicado de superar, es el cambio de filosofía que implica el uso de BIM como eje en la generación de proyectos. Por el hecho de tener que trabajar en grupos ordenados y de invertir tiempo y recursos en la etapa de gestión tecnológica, sino, por el hecho de abandonar las practicas que ya se han marcado por mucho tiempo, los ingenieros y arquitectos deben aprender a diseñar, concebir y manipular objetos tridimensionales con características propias, en lugar de solo representarlos o dibujarlos en un plano. Estos factores implican que el salto hacia BIM sea una operación delicada y de envergadura.

6.1.6. Impacto de la implementación BIM

En los apartados 5.5 y 5.6, se evidencian algunos beneficios que aporta BIM, entre esos podemos mencionar la facilidad para extraer y elaborar una documentación de mayor precisión; la documentación obviamente corresponde a cada disciplina o a la integración global, tal como la documentación de cubicación de materiales o de ingeniería de detalle, sin embargo, continúa siendo un único modelo paramétrico quien alimenta los informes individuales y el final; disminuyendo considerablemente incongruencias que pudiera haber en los distintos documentos. Otro de los beneficios es, la simulación del proceso de construcción global de las obras, que integrado o vinculado a una planificación integral ayuda en la determinación de interferencias, incompatibilidades constructivas o tareas superpuestas.

La confiabilidad de contar con un modelo global con las propiedades de cada disciplina, permite optimizar el tiempo, porque es posible navegar en el mismo modelo para conseguir información específica en un entorno colaborativo. Dentro de este trabajo se dio espacio para mencionar las distintas disciplinas que integrarán un proyecto y su complejidad, ya que un buen estudio y desarrollo del proyecto en la fase de diseño permite anticiparse a los posibles problemas que puedan darse en la etapa constructiva; para que el producto final sea algo único, con esfuerzo irrepetible y que brinde la mayor eficiencia y calidad para lo que fue creado, en el marco del costo y tiempo.

Cabe mencionar que la inversión en paquetes computacionales es indispensable en el desarrollo de una empresa. Sin embargo, sino se obtiene el máximo provecho -por el desconocimiento de las capacidades y manejo de las herramientas- la adquisición pierde sentido. La adaptación a esta nueva filosofía depende del área de trabajo, ya que ciertas disciplinas se encuentran más ligadas con trabajos integrales y colaborativos. En ellos se destaca la información paramétrica de los elementos. No obstante, la capacitación continua de nuevas tecnologías y el uso de herramientas computacionales debe estar en desarrollo constante y difusión permanente con la intención de incrementar la eficiencia de los proyectos.

6.2. RECOMENDACIONES SUGERENCIAS Y PROPUESTAS

Como resultado, sabemos que esta metodología de trabajo puede ser implementada en cualquier etapa, en función de los objetivos y alcance del proyecto al igual que del tipo y tamaño de empresa. Sin embargo, las limitaciones y conflictos de un proyecto se ven en la fase de diseño –debido a la falta de precisión e integración de la información de los arquitectos o ingenieros responsables-. Ya que la ocurrencia de cambios en la etapa de ejecución de proyectos, afecta directamente en el costo y tiempo del producto final; por ello es importante marcar pautas iniciales, para tener rapidez de respuesta ante los cambios y poder identificar el impacto de los mismos en el resto de especialidades.

6.2.1. Propuesta para la implementación de metodologías y procesos BIM en la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela Politécnica Nacional

La principal recomendación de este trabajo de investigación es, incentivar la enseñanza de metodologías y procesos BIM en la formación de pregrado, apoyar e incentivar difusión de herramientas y talleres relacionados con uso de herramientas computacionales y contenido teórico de este tema, a través de instituciones públicas o privadas.

Es importante mencionar los objetivos que tienen las materias presentadas anteriormente. Para identificar si es un problema que radica en el contenido de la materia o en la adaptación de la misma a los nuevos avances de la industria.

Tabla 6.1. Asignaturas y objetivos

Asignatura	Objetivos
Construcciones Civiles	Transmitir las etapas de desarrollo de una estructura ya sea de hormigón armado de acero estructural, distinguir los procesos de ingeniería para la inspección, diseño y construcción de una obra civil.
Planificación y Control de Obra	Comprender y analizar los procesos constructivos y las actividades que lo componen, para poder tomar decisiones en el momento adecuado.
Formulación y	Identificar, analizar y desarrollar proyectos integrales de

Evaluación de Proyectos	ingeniería, desde su etapa de inicio hasta el cierre, ligando ese conocimiento a la realidad económica y financiera del país y de cada uno de los proyectos.
Gerencia y Administración de la Construcción	Enseñar el arte de gerenciar proyectos de construcción, reduciendo riesgos propios de la industria.
Aplicaciones Computacionales	Aprender el uso de herramientas computacionales empleadas para el diseño de las distintas especialidades de la carrera.
Fiscalización en la Construcción	Aprender la normativa de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública y su aplicación en proyectos de construcción. Además, aprender sobre la administración y fiscalización de contratos, medición en obra, planillaje, contratos adicionales y fórmula de reajuste de precios.
Costos en la Construcción	Desarrollar el conocimiento sólido para estructurar un presupuesto de construcción, mediante la elaboración de análisis de precios unitarios con costos reales de mercado.

Elaborado por: Luis Fernando Maya Santacruz

Como resultado del análisis del contenido de cada asignatura, se puede concluir que no existe ningún tipo de acercamiento a la difusión académica de nuevos conceptos, al igual que de la integración de nuevas herramientas computacionales que se relacionen con conceptos de interoperabilidad. Con excepción de la materia de Gerencia y Administración de la Construcción, donde sí consta un primer indicio de la enseñanza de los principales conceptos de la metodología BIM y las nuevas tendencias en la construcción sostenible como LEAN y Net Zero.

La base teórica del conocimiento de cada materia es indispensable para el correcto desarrollo de la ingeniería. No obstante, es necesario que el conocimiento y la forma de enseñar se adapten a los nuevos avances; adicionalmente, es indispensable que se considere la integración de herramientas computacionales en los contenidos de las asignaturas -ya que esto facilitaría de forma didáctica el aprendizaje y la adaptación de los estudiantes a su futura práctica profesional-.

A continuación se presenta una serie de sugerencias para la modificación de la malla, que irán relacionadas con la implementación de conceptos BIM en la carrera

de Ingeniería Civil.

Para que estas recomendaciones cumplan con el desarrollo de la metodología BIM, es necesario que la modificación del contenido vaya acorde a los conceptos de esta metodología, lo que implica a breves rasgos la adición en el pensum de definiciones y aspectos relacionados como el trabajo colaborativo, eficiencia del trabajo, uso de herramientas computacionales, ciclo de vida integral de un proyecto, mejoramiento de la calidad y competitividad.

Incorporar el uso de aplicaciones: se recomienda que en el pensum de las materias mencionadas anteriormente, se complemente la educación formal de los estudiantes con la enseñanza de herramientas computacionales, que se encuentren relacionadas con la materia y a la vanguardia. Incorporando esta sugerencia, se tendrá como resultado estudiantes que además de conocer los aspectos técnicos específicos de las asignaturas sean capaces de ser eficientes y efectivos en su práctica profesional.

Complementar la educación con práctica: se espera que los estudiantes plasmen su conocimiento técnico de las diferentes materias en un caso real; mismo que deberá ser evaluado, tomando en cuenta el contenido teórico y la utilización de herramientas computacionales. El fin de esta sugerencia, es incentivar a los estudiantes a la competencia sana y formarlos para cuando ejerzan la profesión.

Concatenación de materias: La concatenación de las materias en la malla debe estar acorde al conocimiento y al desarrollo del campo de la ingeniería. Por lo que se recomienda la creación de una rama en la malla, que sea especializada en aspectos de la administración y gerencia de la construcción.

Adicional a estas sugerencias, se considera importante que la facultad proponga planes de capacitación, mismos que deberán abarcar temas como: el uso de herramientas computacionales, actualización del conocimiento teórico y enseñanza de nuevas tecnologías.

6.2.2. Futuras líneas de investigación

- Elaboración de un manual para la integración de metodologías y procesos BUILDING INFORMATION MODELING, para pequeñas y medianas empresas en el Ecuador.
- Analizar el marco legal, que aborde aspectos acerca de la incorporación de nuevas metodologías en la elaboración integral de proyectos en el ámbito nacional.
- Variación en el proceso de cubicación entre la metodología tradicional y la metodología BIM.
- Análisis de beneficio de la implementación de las metodologías y procesos BIM en un proyecto integral.

BIBLIOGRAFIA

- Abrishami, S., Goulding, J. S., Rahimian, F. P., & Ganah, A. (2014). *Integration of BIM and generative design to exploit AEC conceptual design innovation. Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 19(21), 350-359.
- Agencia AFP. (2017, marzo 24). *El desplome inmobiliario en Ecuador: la fachada del descontento. El Comercio. Recuperado a partir de http://www.elcomercio.com/app_public_pro.php/actualidad/desplome-inmobiliario-construccion-viviendas-plusvalia.html*
- Aliaga, G. D. (2012). *Implementación y metodología para la elaboración de modelos BIM para su aplicación en proyectos industriales multidisciplinares. Universidad de Chile. Recuperado a partir de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/112356>*
- Barison, M. B., & Santos, E. T. (2010). *BIM teaching strategies: an overview of the current approaches. Nottingham University Press, Proceedings of the International Conference on Computing in Civil and Building Engineering.*
- Berger, M., Elixmann, R., Hiller, S., Herkel, S., & Rudat, K. (2016). *Gebäude.Technik.Digital.: Building Information Modeling. Springer-Verlag.*
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). *An improved LOD specification for 3D building models. Computers, Environment and Urban Systems*, 59(Supplement C), 25-37.
<https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.04.005>
- BIM Community. (s. f.). *BIMCommunity. Recuperado 26 de septiembre de 2017, a partir de <https://www.bimcommunity.com/resources/search>*
- BIM Forum Chile, Grupo Técnico de Trabajo de Estandarización, & Corporación de Desarrollo. (2017). *GUÍA INICIAL PARA IMPLEMENTAR BIM EN LAS ORGANIZACIONES. En BIM Forum Chile (1ª Edición, p. 38). Santiago de Chile.*
- BIMForum. (2015, octubre 30). *LEVEL OF DEVELOPMENT SPECIFICATION.*
- Borrmann, A., König, M., Koch, C., & Beetz, J. (2015). *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. Springer-Verlag.*

- Bridgit. (2015, mayo). Construction Tech Trends: Augmented Reality and Wearables. Tecnología. Recuperado a partir de <https://es.slideshare.net/GoBridgit/construction-tech-trends-augmented-reality-and-wearables>*
- Brugarolas, S. A. (2016, octubre 17). Implementación de metodología BIM en el Project Management (B.S. thesis). Universitat Politècnica de Catalunya. Recuperado a partir de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/103199>*
- Building Smart Spanish Chapter. (2014a, octubre 7). Guia de usuario BIM Documento - Gestión de proyectos. Recuperado a partir de <https://www.buildingsmart.es/bim/gu%C3%ADas-ubim/>*
- Building Smart Spanish Chapter. (2014b, octubre 7). Guia de usuario BIM Documento - Parte General.*
- Burleigh, S. (2012, octubre 29). BIM and the 21st century Panama Canal. Recuperado 20 de septiembre de 2017, a partir de <https://www.ice.org.uk/knowledge-and-resources/case-studies/bim-and-the-21st-century-panama-canal>*
- CAPECO, & Comité BIM Perú. (2014, agosto). Protocolos BIM - Introducción.*
- Cárdenas, M. (2016). Incorporación de Metodología BIM en la Gestión Integrada de Proyectos (Trabajo fin de maestría). Universidad Europea Laureate International Universities, Madrid.*
- Castro, R. (2017, agosto 23). Entrevista para identificar los principales conflictos en la construcción – opinión de BIM [Comunicación personal].*
- CELEPAR. (s. f.). BIM no Brasil - PORTAL BIM PARANÁ. Recuperado 23 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.bim.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=22>*
- Choclán, F., & AEDIP. (2017, mayo). Definición de Roles en procesos BIM. esbim.es.*
- Compras en línea - AUTODESK. (2017, diciembre 1). Recuperado a partir de <https://www.autodesk.es/buy-online>*
- Correa Delgado, R. (2009). Reglamento General de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública (Decreto No.- 1700), 49.*
- Crespo, G. (2017, agosto 4). Entrevista para identificar los principales conflictos*

- en la construcción – opinión de BIM [Comunicación personal].*
- Data Design System. (2017, septiembre 19). Open BIM und IFC. Recuperado 20 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.dds-cad.de/produkte/ihr-mehrwert/open-bim-und-ifc/>*
- Demchak, G., Dzambazova, T., & Krygiel, E. (2009). Introducing Revit Architecture 2009: BIM for Beginners. John Wiley & Sons.*
- Di Giuda, G. M., & Villa, V. (2015). Técnica BIM: Análisis comparativo sobre su estado en diversos países europeos y extracomunitarios. Desarrollo y difusión en el ámbito internacional (EUBIM 2015). Valencia.*
- DoBIM. (2017, septiembre 25). CONSTRUMAT | Dobim. Recuperado 25 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.dobim.es/construmat/>*
- Dorta, N. M., Assef, P. G. de C., & Méndez, M. R. (2014). Building information modeling (BIM): Una oportunidad para transformar la industria de la construcción. Spanish Journal of Building Information Modeling, (14). Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5413530>*
- Duque, J. (2014, febrero 19). BIM Canal. Recuperado 20 de septiembre de 2017, a partir de <https://csengineermag.com/article/bim-canal/>*
- Eastaman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). BIM Handbook - A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors (Second Edition). John Wiley & Sons, Inc.*
- Ekos. (2018, enero 13). Proyecciones del sector constructor 2017: coyuntura nacional. Recuperado 14 de enero de 2018, a partir de <http://www.mundoconstructor.com.ec/noticias/845-proyecciones-del-sector-constructor-2017-coyuntura-nacional.html>*
- Ekos, P. by. (2017, marzo 30). Panorama del sector de la construcción en el 2017. Recuperado 25 de septiembre de 2017, a partir de <http://www.mundoconstructor.com.ec/noticias/846-panorama-del-sector-de-la-construcci%C3%B3n-en-el-2017.html>*
- ESKERRIK ASKO. (2016, noviembre). BIM: Clave para la mejora de la competitividad en la industria de la construcción. Recuperado a partir de <http://www.eraikune.com/Canales/Ficha.aspx?IdMenu=929db41f-6fd8->*

49a0-98b1-515752a02036&Cod=fb7d8cbd-9c06-4b09-a78b-5ac622ddc2d6&Idioma=es-ES

- Falcão, M., Salvado, F., Couto, P., & Vale e Azevedo, Á. (2016). *Roadmap Proposal for Implementing Building Information Modelling (BIM) in Portugal*. *Open Journal of Civil Engineering*, 06.
<https://doi.org/10.4236/ojce.2016.63040>
- Ferrer, H. (2015, abril 17). *Desarrollo de un proyecto de construcción con la metodología BIM: Edificio el Olmo (Llíria) (Trabajo Fin de Grado)*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gómez, M. (2015, junio). *Integración de procesos BIM en levantamiento de edificios existentes : edificio de laboratorios de la E.T.S.I.E., Campus Universitario Reina Mercedes, Sevilla (Trabajo Fin de Grado)*. Universidad de Sevilla. Recuperado a partir de
<https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/36449>
- González, C. (2017, marzo 23). *Formato de archivo IFC para interoperabilidad en BIM: ¿Qué es el IFC, para qué sirve y cuál es su relación con el BIM? [Emagister]*. Recuperado a partir de
<http://www.emagister.com/blog/formato-archivo-ifc-interoperabilidad-bim-ifc-sirve-relacion-bim/>
- Government Construction Client Group. (2011). *Strategy Paper for the Government Construction Client Group From the BIM Industry Working Group*. Recuperado a partir de <http://www.bimtaskgroup.org/wp-content/uploads/2012/03/BIS-BIM-strategy-Report.pdf>
- Guerra, S. (2017, agosto 4). *Entrevista para identificar los principales conflictos en la construcción – opinión de BIM [Comunicación personal]*.
- INEC. (2017). *Reporte del Índice de Precios al Productor de Disponibilidad Nacional (IPP-DN) e Índices de Precios al Productor de Consumo Intermedio y Final (IPP-CI, IPP-CF) Año Base 2015=100 JUNIO 2017 (No. Reporte del Índice de Precios al Productor de Disponibilidad Nacional (IPP-DN) e Índices de Precios al Productor de Consumo Intermedio y Final (IPP-CI, IPP-CF) Año Base 2015=100 JUNIO 2017) (p. 16)*. Ecuador. Recuperado a partir de

http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/IPP/2017/Junio-2017/Informe_tecnico_IPPDN_IPPCI-IPPCF_2017_06.pdf

Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública. (2017). Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública, 47.

McGraw Hill Construction. (2014). *The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Contractors Around the World Are Driving Innovation With Building Information Modeling*. Recuperado a partir de https://www.academia.edu/11605146/The_Business_Value_of_BIM_for_Construction_in_Major_Global_Markets_How_Contractors_Around_the_World_Are_Driving_Innovation_With_Building_Information_Modeling

Menares, A. (2016, marzo). *Optimización de un proyecto inmobiliario a través de la implementación de procesos tecnológicos en la coordinación y gestión de proyecto (Memoria para optar al grado de Magíster en Dirección y Administración de Proyectos Inmobiliarios)*. Universidad de Chile.

Recuperado a partir de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/140062>

Monfort, C. (2015, septiembre 29). *Impacto del BIM en la gestión del proyecto y la obra de arquitectura: Un proyecto con REVIT (2 de 3) (Trabajo Fin de Grado)*. Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado a partir de <https://riunet.upv.es/handle/10251/55201>

Municipio de Quito. ORDENANZA METROPOLITANA DE APROBACIÓN DEL PLANO DEL VALOR DE LA TIERRA DE LOS PREDIOS URBANOS Y RURALES DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE VALOR DE SUELO, VALOR DE LAS EDIFICACIONES Y VALOR DE REPOSICIÓN Y QUE REGIRÁN PARA EL BIENIO 2018-2019, Registro Oficial No. 180 ORDM - 0196 § (2018). Recuperado a partir de http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20MUNICIPALES%202017/ORDM%20-%20196%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20%20Aprobaci%C3%B3n%20Plano%20Valor%20Suelo%202018%20-%202019.pdf

Murray, M., & Langford, D. (2008). *Construction Reports 1944-98*. John Wiley &

Sons.

- National Institute of Building Sciences. (2007). *National Building Information Modeling Standard (Vol. Version 1.0 – Part 1: Overview, Principles, and Methodologies)*. Washington D.C.
- Oliver, I. (2015, octubre). *Integración de la metodología BIM en la programación curricular de los estudios de Grado en Arquitectura Técnica/Ingeniería de Edificación. Diseño de una propuesta (Tesis Doctoral)*. Universidad Politécnica de Valencia, Valencia. Recuperado a partir de <https://riunet.upv.es/handle/10251/61294>
- Ortiz, A. (2017, febrero 8). *La nueva Ley de Plusvalía: Su impacto negativo en el sector de la construcción [Empresa]*. Recuperado a partir de <http://law-abiding-ec.com/la-nueva-ley-de-plusvalia-su-impacto-negativo-en-el-sector-de-la-construccion/>
- Padilla, M. (2017, agosto 10). *Entrevista para identificar los principales conflictos en la construcción – opinión de BIM [Comunicación personal]*.
- Pinto, P. (2017, agosto 10). *Entrevista para identificar los principales conflictos en la construcción – opinión de BIM [Comunicación personal]*.
- Pleno de la Asamblea Constituyente. (2008). *Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública*, 47.
- Proaño, O. (2017, agosto 5). *Entrevista para identificar los principales conflictos en la construcción – opinión de BIM [Comunicación personal]*.
- Project Management Institute. (2013). *Guía de los Fundamentos Para la Dirección de Proyectos (guía del PMBOK®) (Quinta edición)*. Pensilvania, EE.UU.: Project Management Institute, Inc.
- Reglamento General de la Ley Orgánica del Sistema Nacional de Contratación Pública. (2011, noviembre 14). *RESOLUCIÓN INCOP No 054-2011*. Recuperado 25 de septiembre de 2017, a partir de <http://portal.compraspublicas.gob.ec/sercop/resolucion-incop-no-054-2011/>
- Rodríguez, G. (2015, marzo 2). *Nuevas tendencias en seguridad y salud laboral: BIM health and safety manager*. Recuperado 25 de enero de 2018, a partir de <http://prevenblog.com/nuevas-tendencias-en-seguridad-y-salud-laboral-bim/>

- Salgado, F. (2017, agosto 4). *Entrevista para identificar los principales conflictos en la construcción – opinión de BIM [Comunicación personal]*.
- Salinas, R. J., & Ulloa Román, K. A. (2013, noviembre 1). *Mejoras en la implementación de BIM en los procesos de diseño y construcción de la empresa Marcan*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2147.8564>
- Servicio Nacional de Contratación Pública. (2011, noviembre 14). *RESOLUCIÓN INCOP No 054-2011*. Recuperado 25 de septiembre de 2017, a partir de <http://portal.compraspublicas.gob.ec/sercop/resolucion-incop-no-054-2011/>
- Sierra, L. X. (2017). *Gestión de proyectos de construcción con metodología BIM “Building Information Modeling” (B.S. thesis)*. Universidad Militar Nueva Granada. Recuperado a partir de <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/14970>
- Succar, B. (2009). *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*. *Automation in Construction*, 18(3), 357-375. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003>
- Succar, B. (2010). *The Five Components of BIM Performance Measurement*. <https://doi.org/10.13140/2.1.3357.1521>
- Tesis - BIM - EPN. (2018, enero 15).
- University of Cambridge. (2013). *Building Information Model (BIM) Protocol*.
- Valdés Indo, A. (2014). *Estudio de viabilidad del uso de la tecnología BIM en un proyecto habitacional en altura (Tesis para optar al grado de Magíster en Dirección y Administración de Proyectos Inmobiliarios)*. Universidad de Chile. Recuperado a partir de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/130352>
- Villacís, P. (2017, agosto 4). *Entrevista para identificar los principales conflictos en la construcción – opinión de BIM [Comunicación personal]*.
- Zigurat Global Institute of Technology. (2016). *Tutorial Contexto del BIM en Ecuador*. Recuperado a partir de https://www.youtube.com/watch?v=0f_rTiF67ag