

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



*Excelencia que trasciende*

**DELVALLE**  
GRUPO EDUCATIVO

**Beneficios y barreras de la implementación de la metodología BIM en proyectos de ingeniería**

Trabajo de graduación presentado por Betzy Sofía Flores Juárez para optar al grado académico de

Licenciada en Ingeniería Civil Arquitectónica

Guatemala

2023



Beneficios y barreras de la implementación de la metodología BIM en proyectos de ingeniería

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



*Excelencia que trasciende*

**DELVALLE**  
GRUPO EDUCATIVO

**Beneficios y barreras de la implementación de la metodología BIM en proyectos de ingeniería**

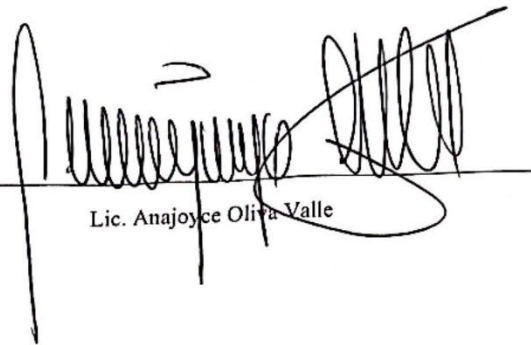
Trabajo de graduación presentado por Betzy Sofía Flores Juárez para optar al grado académico de

Licenciada en Ingeniería Civil Arquitectónica

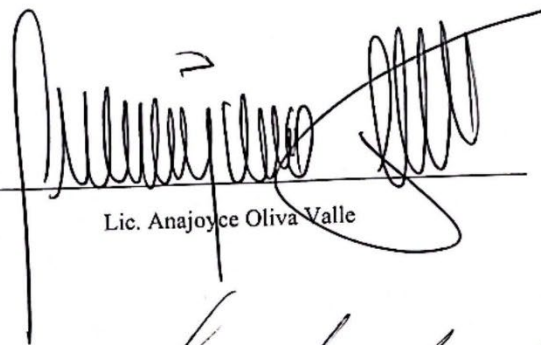
Guatemala

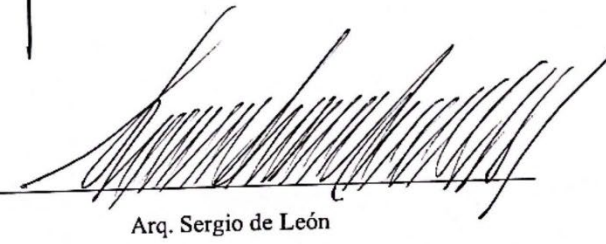
2023

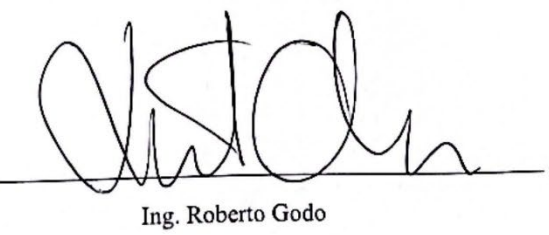
Vo. Bo. :

(f)   
Lic. Anajoyce Oliva Valle

Tribunal Examinador:

(f)   
Lic. Anajoyce Oliva Valle

(f)   
Arq. Sergio de León

(f)   
Ing. Roberto Godo

Fecha de aprobación: Guatemala, 19 de junio de 2023

## PREFACIO

El presente trabajo de graduación es el resultado de un arduo esfuerzo, dedicación y exploración en el campo de las nuevas tecnologías en la industria Arquitectura, Ingeniería y Construcción. A lo largo de este viaje académico, he tenido la fortuna de contar con el apoyo y la orientación de diversas personas y recursos que han contribuido de manera significativa al desarrollo de este trabajo.

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a mi asesora, Anajoyce Oliva, por su invaluable orientación y apoyo durante todo el proceso de investigación. Sus conocimientos, paciencia y compromiso fueron fundamentales para dar forma y mejorar la calidad de este trabajo. Cada discusión y sugerencia proporcionada ha sido un faro que ha iluminado el camino hacia la excelencia académica.

Además, quiero reconocer el apoyo y participación de todos los profesionales del sector de construcción. Su tiempo y experiencia fueron de gran valor en la investigación. Han sido esenciales para llevar a cabo este proyecto y en la exploración de las barreras y beneficios de la metodología BIM.

Agradezco a mis compañeros de clase y a la comunidad académica de la Universidad del Valle por crear un ambiente propicio para el intercambio de ideas y el debate intelectual. Las discusiones y colaboraciones con colegas han enriquecido mi perspectiva y han contribuido de manera sustancial al desarrollo de este trabajo.

No puedo pasar por alto el respaldo constante de mi familia y amigos. Su apoyo emocional y motivacional han sido mi fuente de fortaleza en los momentos desafiantes de esta travesía académica. Agradezco sinceramente su paciencia y comprensión durante este período.

Este trabajo de graduación no solo representa el resultado de una investigación académica, sino también el aprendizaje continuo y la adquisición de habilidades cruciales en mi área de estudio. A medida que concluyo este capítulo de mi vida académica, reflexiono sobre el crecimiento personal y profesional que ha acompañado este proceso.

Este trabajo no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de muchas personas. A todos aquellos que han contribuido de alguna manera, les expreso mi más sincero agradecimiento. Espero que este trabajo contribuya de manera significativa al campo de la ingeniería y arquitectura y motive a futuros investigadores a continuar explorando y expandiendo los límites del conocimiento.

# ÍNDICE

PREFACIO.....	vi
LISTADO DE CUADROS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
III. OBJETIVOS.....	3
A. Objetivo general.....	3
B. Objetivos específicos.....	3
IV. MARCO TEÓRICO.....	4
A. BIM (Marco conceptual).....	4
1. Historia.....	4
2. Dimensiones BIM.....	5
3. Niveles de información, detalle y desarrollo del modelo.....	7
4. Roles en un proyecto BIM.....	9
5. Usos BIM.....	11
6. Entorno común de datos.....	11
B. Proyectos de ingeniería (Marco conceptual).....	13
1. Ingeniería estructural.....	13
2. Instalaciones.....	14
3. Geotecnia.....	14
4. Obra civil.....	15
C. Implementación de la metodología BIM (Marco referencial).....	15
1. Procesos tradicionales vs. procesos colaborativos.....	15
2. Ventajas de BIM.....	16
3. Desventajas de BIM.....	17
4. BIM en proyectos de ingeniería.....	21
5. Contexto BIM en el mundo.....	21
V. METODOLOGÍA.....	27
A. Pasos iniciales.....	27

B.	Recolección de datos.....	27
C.	Procesamiento de datos.....	27
D.	Análisis de datos.....	27
VI.	RESULTADOS.....	29
VII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	36
A.	Beneficios percibidos.....	36
1.	Beneficios en la gestión de información.....	36
2.	Beneficios en los procesos y flujos de trabajo.....	37
3.	Otros beneficios.....	39
B.	Barreras aparentes.....	39
1.	Barreras de la implementación de una nueva tecnología.....	39
2.	Barreras del flujo de trabajo y herramientas BIM.....	41
3.	Barreras por desconocimiento de los actores involucrados en el proyecto.....	42
C.	BIM hacia el futuro.....	43
VIII.	CONCLUSIONES.....	45
IX.	RECOMENDACIONES.....	46
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	48
XI.	APÉNDICE.....	51



## LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1: Beneficios percibidos al implementar la metodología BIM en proyectos de ingeniería .....	44
Cuadro 2: Barreras aparentes al implementar la metodología BIM en proyectos de ingeniería.....	45

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dimensiones de un proyecto BIM .....	7
Figura 2: Nivel de detalle LOD 1, 2, 3, 4, 5 de una columna de acero.....	8
Figura 3: Nivel de desarrollo LOD 100, 200, 300, 400 y 500 de una columna de acero.....	9
Figura 4: Estructura roles BIM.....	10
Figura 5: Usos BIM a través del ciclo de vida del proyecto.....	11
Figura 6: Curva de esfuerzo/efecto a través de las fases de un proyecto .....	16
Figura 7: Adopción de BIM a lo largo del tiempo en Reino Unido.....	23
Figura 8: Profesión de los entrevistados.....	29
Figura 9: Edad de los participantes por rango .....	29
Figura 10: Tipo de formación sobre temas BIM .....	30
Figura 11: Se considera usted autodidacta.....	30
Figura 12: Motivación para adoptar la metodología en sus proyectos.....	31
Figura 13: Rol asumido en el proyecto.....	31
Figura 14: Subdisciplinas de la ingeniería en las que ha participado con proyectos BIM .....	32
Figura 15: Países donde se ubican los proyectos en los que ha participado.....	32
Figura 16: Número de proyectos BIM en los que han participado .....	33
Figura 17: Alcance de los procesos BIM en proyectos de ingeniería .....	35

## RESUMEN

Una de las tendencias en el sector de construcción para proyectos multidisciplinarios es la metodología BIM. Al lograr integrar toda la información del ciclo de vida del proyecto se puede lograr una mejor gestión del activo construido. Sus ventajas y bondades han tenido un gran impacto en proyectos de diferentes disciplinas de la ingeniería como instalaciones, estructuras, geotecnia y obras viales. Sin embargo, lograr la adopción exitosa de la metodología BIM es un desafío si no se consideran las barreras que obstaculizan el camino. Es importante tomar referencia de los casos exitosos para entender por qué tantas empresas en la última década han apostado por esta metodología como el futuro del sector de la construcción a nivel mundial.

# I. INTRODUCCIÓN

Al evaluar la adopción de la metodología BIM en proyectos de ingeniería se deben evaluar los beneficios y barreras que pueden presentarse en esta transición. Para esto es necesario identificar los desafíos por vencer y conocer cómo superarlos para lograr una implementación exitosa.

Para identificar los beneficios y barreras de adoptar BIM en proyectos de ingeniería se formularon dieciocho preguntas en tres secciones: demográfico, conocimientos generales de la metodología y proyecto BIM. Se entrevistó a trece profesionales con experiencia como modelador BIM, coordinador BIM, BIM Manager y BIM Information Manager que han participado en al menos un proyecto de ingeniería aplicando la metodología BIM en alguna de sus disciplinas.

Tras el análisis de los resultados, se logró describir los beneficios percibidos y barreras aparentes de la adopción de la metodología BIM en proyectos de ingeniería. Las barreras identificadas por la mayoría de los profesionales se relacionan a las de cualquier reforma de procesos o adopción de nuevas tecnologías. Por otro lado, el costo de implantación BIM para una empresa se amortiza con los beneficios de ahorro de tiempo, dinero y atracción de nuevos clientes que requieren trabajar con la metodología. Los desafíos identificados pueden vencerse mediante una reforma incentiva o mandato de los gobiernos que permita impulsar la necesidad de adoptar la metodología BIM en nuevos proyectos.

El cambio cultural es clave para evitar los reprocesos consecuentes de mezclar el método tradicional y los procesos BIM. Es necesario tener claros los beneficios futuros que se pueden obtener al alcanzar una alta madurez BIM para vencer las barreras que obstaculizan su implementación.

## II. JUSTIFICACIÓN

En el sector de la construcción se suele sufrir de muchos imprevistos los cuales suelen afectar el presupuesto y alterar los cronogramas de planificación si no logra tomar la mejor decisión. Es por esto que si se logra tener un monitoreo de lo que puede llegar a ocurrir desde las etapas previas a la construcción, se pueden prever soluciones previo a que suceden los problemas.

La revolución digital está llevando al a toda la industria a transformar sus modelos de negocio a pasos acelerados. Esto causará un gran impacto en la industria si se mantiene al margen en lugar de buscar activamente la innovación. Esta revolución obliga a buscar nuevas soluciones a problemas que existen desde las primeras edificaciones.

Una transformación digital mejora la experiencia del cliente tanto interno como externo. Es indispensable tener una buena estrategia para alcanzar nuestros objetivos. Se debe tomar en cuenta las capacitaciones para los usuarios de las nuevas metodologías y accesibilidad a los recursos necesarios. Para esto es necesario comprender los alcances de la metodología y sus barreras al adoptarla en el entorno local.

Teniendo en mente el nuevo paso del sector de construcción en esta era digital, se debe seguir explorando nuevas formas de optimizar los procesos sin arriesgar la calidad de estos. En este caso, la metodología BIM, muestra una infinidad de aplicaciones. Es por esto que para entender el contexto actual del uso de la metodología BIM en Guatemala, se deben de identificar sus beneficios percibidos y las barreras aparentes en proyectos de ingeniería.

Actualmente en Guatemala y Latinoamérica, algunas empresas y profesionales ya utilizan la metodología BIM en sus respectivas disciplinas. Sin embargo, el mercado actual no incentiva el uso de la metodología. Como consecuencia la mayoría de las empresas y profesionales, en el sector de la construcción, no logran identificar aún el potencial de BIM. Al identificar las ventajas que representa esta transición y reconocer las barreras a considerar para una implementación exitosa, se tiene la intención de motivar a más personas a utilizar la metodología en sus proyectos.

### III. OBJETIVOS

#### A. Objetivo general

Describir los beneficios percibidos y barreras aparentes de la adopción de la metodología BIM en proyectos de ingeniería.

#### B. Objetivos específicos

- Conocer los factores importantes que influyen en la adopción de la metodología BIM en el sector de ingeniería.
- Identificar los desafíos a vencer al adoptar la metodología BIM en proyectos de ingeniería.
- Determinar los factores a considerar para una implementación exitosa de la metodología BIM en proyectos de ingeniería.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. BIM (Marco conceptual)

BIM, por sus siglas en inglés (Building Information Modeling), es una metodología de trabajo colaborativa. El modelado de información de construcción es una metodología de trabajo que ha cambiado la forma en que se diseñan, construyen y gestionan los edificios (buildingSMART, 2015).

El modelado de información de construcción es una parte fundamental de la industria de la construcción, utilizada por arquitectos, ingenieros, constructores y propietarios de activos construidos. Su valor recae en mejorar la eficiencia en el diseño y la construcción de edificios, reducir errores y reelaboraciones y maximizar la operación y el mantenimiento de los edificios durante todo su ciclo de vida (Giménez, 2019).

En un entorno colaborativo, todos los elementos del proyecto están conectados y actualizados en tiempo real. Una mejor comprensión de los costos y la gestión de riesgos es uno de los beneficios de esto. Dado que permite la simulación y optimización de la eficiencia energética, la calidad del aire interior y otros aspectos clave del rendimiento de los edificios, BIM es una herramienta esencial para el desarrollo sostenible de los edificios (Hamil, 2021).

#### 1. Historia

Los primeros conceptos teóricos de BIM se desarrollaron junto a las primeras computadoras hace más de sesenta años. En 1962, el ingeniero e inventor, Douglas Engelbart soñaba con un software que le permitiera ingresar los parámetros y datos de los elementos y verlos reflejados en la pantalla de su computador. Pocos años después se empiezan a utilizar los primeros sistemas de diseño asistido por computador para crear modelos digitales en la construcción (Cucul, 2021).

En 1974 Charles Eastman, el padre del BIM, diseña el sistema BDS (sistema de descripción del edificio). Este sistema contenía una base de datos de elementos utilizados en la construcción con parámetros como el material y proveedor. La categorización de los elementos y su información se cargaban al modelo digital permitiendo así un modelo más robusto y complejo (Cucul, 2021).

La capacidad de modelar información sobre elementos de construcción, como dimensiones, materiales y propiedades térmicas, evolucionó a medida que avanzaba la tecnología. En la década de 1990, surgieron los primeros sistemas de "Modelado de información de construcción" (BIM) que combinaban las capacidades de modelado de CAD con la capacidad de administrar la información de los elementos de construcción. El lanzamiento de ArchiCAD, para computadoras personales, introduce por primera vez el término de edificio virtual. A partir de este momento empiezan a surgir cada vez más programas y herramientas digitales que han evolucionado a lo que conocemos hoy como softwares BIM (Cucul, 2021).

A mediados de la década de 2000, la adopción de BIM se aceleró debido a la creciente presión en la industria de la construcción para mejorar la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad de los edificios. En 2006, el gobierno de los Estados Unidos emitió una orden ejecutiva que exigía el uso de BIM en todos los proyectos de construcción financiados con fondos federales lo cual impulsa la adopción de la metodología en otros países (Flórez y García, 2018).

A medida que el uso de BIM se expandía por todo el mundo, en los próximos años se empiezan a desarrollar nuevos estándares y protocolos para su uso. En 2011, la Organización Internacional de Normalización (ISO) publicó la norma ISO 19650, que establece los principios y requisitos para la gestión de la información de edificios mediante BIM. Esta norma contiene los mismos principios y requerimientos de alto nivel que exige el Marco BIM de Reino Unido y está estrechamente ligado a sus estándares actuales (Kemper, 2019).

Una metodología de trabajo integral es esencial para la industria de la construcción. La metodología BIM ha evolucionado desde sus inicios tomando en consideración la necesidad de gestionar la información de un proyecto y la representación gráfica de cada uno de sus elementos. La evolución y mejora de la tecnología y las prácticas de la industria se refleja en la historia de BIM (Flórez y García, 2018).

## 2. Dimensiones BIM

La metodología BIM no se limita a la representación tridimensional de los proyectos, sino que incluye múltiples dimensiones que representan los diferentes aspectos del proyecto. Las dimensiones BIM actualmente se desarrollan desde 3D hasta 10D. Las dimensiones 8D, 9D y 10D son las más recientes y en la actualidad aún se están siendo exploradas para su integración con herramientas BIM actuales (Flórez y García, 2018).

### a. 3D Modelo tridimensional

Esta dimensión se refiere a la representación tridimensional del edificio o infraestructura mediante un modelo. Permite una visualización del proyecto cuyo nivel de detalle dependerá de los requerimientos y alcances de este. En esta dimensión de BIM no solo se pueden extraer las características geométricas de los elementos sino también información como materiales, fabricantes y otras características que se quieran controlar y parametrizar (Monfort y Vidal, 2015).

### b. 4D Programación

La cuarta dimensión se refiere a la dimensión temporal, que agrega información de tiempo y programación al modelo. Se pueden crear cronogramas y simulaciones de escenarios según las fases del proyecto. De esta manera se pueden anticipar posibles dificultades en la etapa de construcción y conseguir un plan de ejecución efectivo (Monfort y Vidal, 2015).



c. 5D Estimación de costes

Se definen los costos y cantidad de materiales y todo lo relacionado con el control de costes y gastos del proyecto. Permite un análisis presupuestario detallado, así como la mejora en la rentabilidad del proyecto y un mayor control contable (Monfort y Vidal, 2015).

d. 6D Sostenibilidad

La sexta dimensión agrega información sobre la sostenibilidad y rendimiento energético de nuestro proyecto. Permite conocer el comportamiento del edificio y la toma de decisiones sobre la orientación y el efecto ambiental de sus materiales y componentes. En esa dimensión se pueden realizar simulaciones energéticas, análisis del ciclo de vida que permitan optimizaciones del diseño y brinda información útil para precalificar nuestro proyecto con alguna certificación verde (Monfort y Vidal, 2015).

e. 7D Mantenimiento y operación

El mantenimiento o Facility Management permite el control logístico y operacional del proyecto durante toda su vida útil. A través del modelo 3D y la información en este se controla el proyecto y permitirá optimizar procesos como las inspecciones, reformas y rehabilitaciones de los diferentes elementos del proyecto. Se pueden crear manuales de mantenimiento que permitan extender la vida de nuestro activo construido (Monfort y Vidal, 2015).

f. 8D Salud y seguridad ocupacional

La octava dimensión agrega información de seguridad y salud ocupacional en el lugar de trabajo. Se pueden realizar simulaciones de seguridad para identificar y minimizar riesgos y mejorar la seguridad en la construcción. Esta dimensión se categoriza como una nueva dimensión a diferencia de las dimensiones estándar descritas anteriormente debido a que aún se está explorando su alcance (Sisternes, 2022).

g. 9D Lean BIM

En los proyectos de construcción a pesar de un alto nivel de atención en la etapa de planificación al avanzar hacia la fase de construcción suelen existir sobrecostos y desaprovechamiento de los materiales. Al digitalizar la metodología Lean Construction en BIM se conseguirá rentabilizar al máximo nuestro los proyectos y disminuir los desperdicios (Sisternes, 2022).

h. 10D Industrialización de procesos

La décima dimensión de BIM permite una visión más completa para la gestión de un activo. Se pueden alinear los aspectos financiero, comercial, ambiental, análisis de riesgo y toma de decisiones estratégicas para optimizar el proyecto y su rendimiento a largo plazo. Esta dimensión pretende industrializar y hacer más

productivo el sector de la construcción con la ayuda de nuevas tecnologías y la digitalización de todos los procesos (Sisternes, 2022).



Figura 1: Dimensiones de un proyecto BIM

(Sisternes, 2022)

### 3. Niveles de información, detalle y desarrollo del modelo

Los niveles de detalle del modelo e información del modelo generalmente se definen para las etapas clave del proyecto, en las que se producen intercambios de información, lo que permite al empleador verificar que la información del proyecto es consistente con sus requisitos y le permite decidir si continuar a la siguiente etapa. Esto es análogo a un informe de etapa sobre un proyecto convencional (Sisternes, 2023).

Si se generan modelos 3D sin estándares o lineamientos estos pueden causar errores debido a falta de precisión y exactitud. Es por esto que se introducen los conceptos de LOD y LOI junto a estándares por cumplir. Estos permiten minimizar errores y procurar la comunicación clara entre los diseñadores y usuarios finales del modelo BIM (Sisternes, 2023).

#### a. Nivel de información

Para los ingleses el acrónimo LOD representa el nivel de definición compuesto por el nivel de detalle y el nivel de información. El nivel de información hace referencia a la calidad más que la cantidad de la

información que se encuentra en un modelo digital. La información no gráfica de los elementos provee especificaciones, documentación asociada y requerimientos de desempeño que junto a la información gráfica brindan un panorama más amplio (Mordue, 2015).

#### b. Nivel de detalle

El nivel de detalle hace relación al contenido gráfico del modelo según la etapa del proyecto o el alcance de este. Si se desea seguir las especificaciones detalladas en la norma PAS 1192-2, esta provee la siguiente clasificación como guía para estandarizar el nivel de detalle de los modelos generados (Payne, 2015).

- LOD 1 brief: modelo por bloques para delimitar el sitio.
- LOD 2 conceptual: modelo conceptual o volumétrico básico.
- LOD 3 diseño genérico: modelo con cantidades, tamaños, formas, posición y orientación aproximada.
- LOD 4 diseño técnico: modelo técnico con elementos y coordenadas precisas para estimar costes y verificar cumplimiento de normativa.
- LOD 5 construcción: modelo para fase de construcción y montaje con componentes específicos.
- LOD 6 entrega y cierre: modelo con todos los detalles tal como se construyó el activo.
- LOD 7 operación y uso: modelo de información para ser utilizado en el mantenimiento y operación del activo.

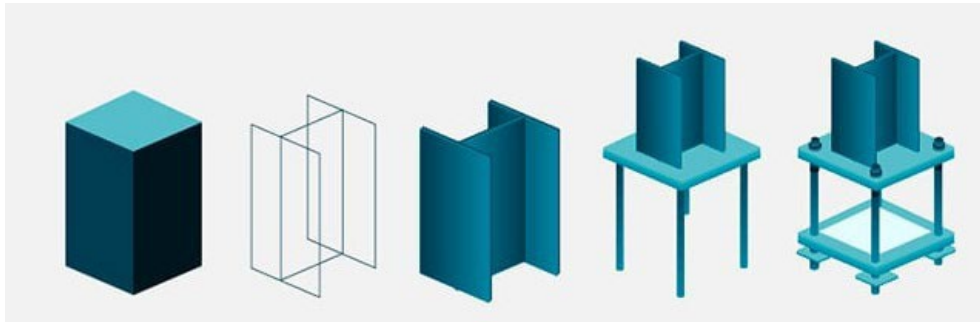


Figura 2: Nivel de detalle LOD 1, 2, 3, 4, 5 de una columna de acero

(Zigurat, 2021)

#### c. Nivel de desarrollo

El Instituto Americano de Arquitectos, AIA por sus siglas en inglés, sugiere un estándar para representar el nivel de cada elemento del proyecto según el uso del modelo y el tipo de información que se derivará de este. Este estándar es la referencia para los profesionales de la industria AEC según el protocolo publicado en la norma AIA G202-2013 (Sánchez, 2016).

- LOD 100: el modelo se presenta gráficamente con elementos genéricos que no satisfacen con los requerimientos de un LOD 200 (Sánchez, 2016).

- LOD 200: el modelo representa sistemas y objetos genéricos con aproximados en las cantidades, dimensiones, ubicación y orientación de estos. También puede contener información no gráfica básica (Sánchez, 2016).
- LOD 300: modelo que gráficamente representa de forma específica un sistema, objeto o conjunto con cantidades, dimensiones, formas, ubicación y orientación definida (Sánchez, 2016).
- LOD 400: el modelo representa detalles e información de su fabricación, montaje e instalación tanto gráfica como no gráfica (Sánchez, 2016).
- LOD 500: el modelo es una representación gráfica verificada con dimensiones, formas, ubicación, cantidades y orientación tal como se encuentra en campo (Sánchez, 2016).

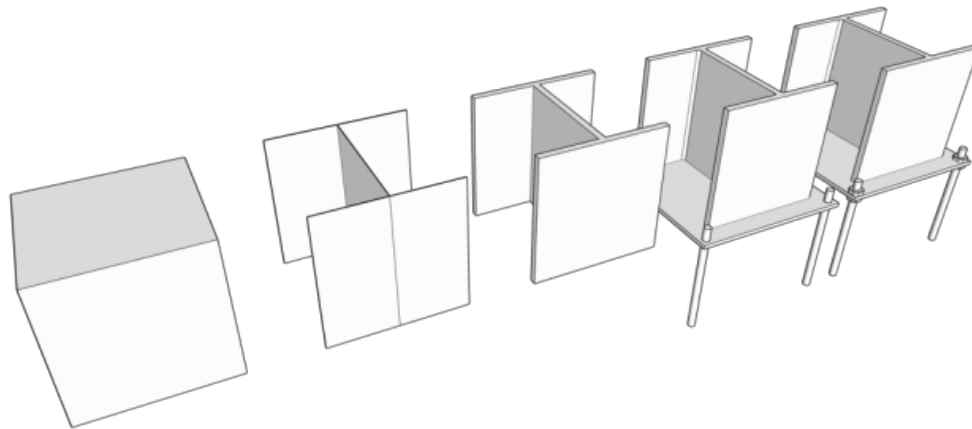


Figura 3: Nivel de desarrollo LOD 100, 200, 300, 400 y 500 de una columna de acero

(Boeykens, 2022)

#### 4. Roles en un proyecto BIM

Los roles en un proyecto BIM son las funciones asignadas al equipo de trabajo. No deben confundirse con el cargo o puesto que tiene el actor en la empresa. Cada rol puede llevarlo uno o más miembros del equipo y cada miembro puede asumir más de un rol. Estos deben quedar de forma explícita en el Plan de Ejecución BIM (PEB) de todo proyecto BIM (Ortega, 2017).

- BIM Manager: el responsable de supervisar la implementación BIM y gestionar los procesos BIM. Investiga nuevas herramientas BIM en busca de la eficiencia y productividad del equipo. Provee capacitaciones para el equipo interno y gestiona los recursos tecnológicos dentro de la organización (Ortega, 2017).

- **BIM Project Manager:** lidera el equipo del proyecto BIM para alcanzar los objetivos y requerimientos del cliente. Gestiona los recursos del proyecto, los cambios y calidad del modelo y da seguimiento e informa el estado del proyecto (Ortega, 2017).
- **BIM Information Manager:** gestiona y controla el flujo de información de todos los agentes del proyecto durante el ciclo de vida completo de este. Elabora y actualiza estándares, protocolos y normas a seguir en los procesos BIM según las especificaciones de información requeridas. Crea, desarrolla y gestiona el ECD (Entorno Común de Datos) (Ortega, 2017).
- **Modelador BIM:** genera el modelo BIM para una o varias disciplinas. Debe verificar que el modelo se alinee a los estándares colocados en el PEB y colaborar con otros agentes de forma interna o externa (Ortega, 2017).
- **Coordinador BIM:** responsable del flujo de trabajo BIM. El coordinador debe identificar cualquier problema potencial con el modelo, detectar conflictos y proveer apoyo técnico al equipo. Entiende y comunica los procesos y estándares a seguir durante el proyecto en sus diferentes fases. Coordina las diferentes disciplinas y enlaza los modelos en uno solo modelo integrado (Ortega, 2017).
- **Consultor BIM:** vincula la metodología BIM en el ámbito estratégico, funcional y operativo de una organización con su asesoría. Es el responsable de dirigir estudios de viabilidad y prototipos para evaluar e implementar nuevos usos BIM. Se coordina con el BIM Manager para alcanzar los objetivos trazados en el plan estratégico de la implementación BIM. El consultor debe ser capaz de traducir las necesidades de una organización al lenguaje BIM para encontrar las soluciones que mejor se adapten a esta (Ortega, 2017).

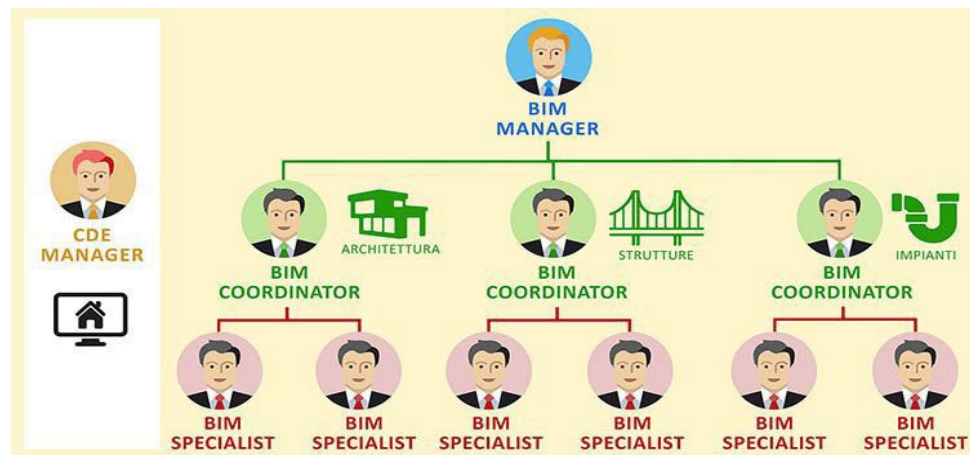


Figura 4: Estructura roles BIM

(Ortega, 2017)

## 5. Usos BIM

Al iniciar un proyecto se definen sus alcances los cuales son específicos y mensurables. Cuando se relacionan los alcances con BIM es fácil identificar las etapas del proyecto donde la implementación de la metodología puede apoyar a cumplir con los objetivos trazados. La Universidad de Pensilvania enlistó 25 usos BIM, organizados por las fases del proyecto a las cuales impactan. Esto permite que los objetivos y alcances de un proyecto se alineen según los beneficios potenciales que se buscan en una implementación exitosa de la metodología (Messner et al., 2019).

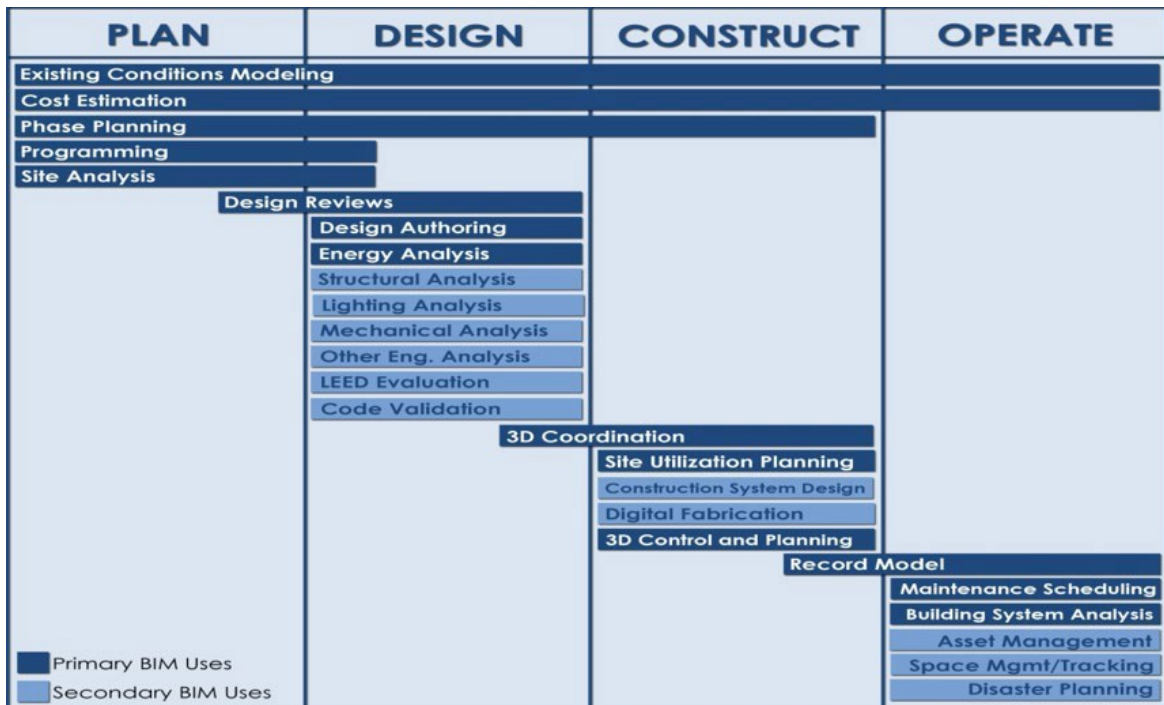


Figura 5: Usos BIM a través del ciclo de vida del proyecto

(Messner et al., 2019)

## 6. Entorno común de datos

Un entorno común de datos o CDE por sus siglas en inglés, es un área para colaboración digital ubicada usualmente en la nube. En este espacio se almacena toda la información referente al proyecto de forma segura. El CDE permite a todos los miembros tener acceso a la información de forma inmediata para consultar, revisar o modificar sin riesgo a duplicar la información (Esarte, 2020).

Esta es la única fuente de información, desde este espacio se recopila, gestiona y difunde la documentación gráfica y no gráfica del proyecto. Los actores del proyecto, según su rol, tendrán acceso a la información mediante los permisos definidos en el BEP (Esarte, 2020).

El CDE debe estar bien estructurado y ordenado según el estado de la información, según la norma ISO 19650 estos estados pueden ser cuatro:

- Trabajo en curso: este estado contiene los documentos de trabajo que el equipo está desarrollando. Esta información aún no se ha validado ni verificado por lo que se debe entender que en este estado la información aún no está aprobada.
- Compartido: para un correcto desarrollo colaborativo del modelo la información compartida debe estar visible y accesible para todos, pero no debe ser editable. En este espacio se comparte la información de cada disciplina aprobada por el coordinador BIM respectivo. Si es necesario modificar la información que se encuentra compartida se debe regresar a un estado de trabajo en curso para nuevamente ser aprobada y compartida.
- Publicado: la información publicada se encuentra autorizada para utilizar. Esta información ya está verificada y autorizada por el BIM Project Manager y puede ser utilizada por el cliente para ser consultada.
- Archivado: toda aquella información que ha sido desplazada o ha quedado en desuso se traslada a un estado archivado.

Los CDE deben estructurarse con directorios y carpetas que faciliten a los miembros del equipo ubicar la información según su estado. Es necesario tener estrategias claras de actualización de los modelos y frecuencia de intercambios de información definidas en el BEP para procurar la integridad y calidad de la información. Para las transiciones de control, revisión y aprobación o autorización se debe establecer en el BEP los formatos de entrega, la estructura y clasificación de la información y su nombramiento (Esarte, 2020).

Algunos entornos comunes de datos para gestionar la información de proyectos BIM:

- Trimble Connect
- Autodesk Construction Cloud
- BIM 360
- BIM Server Center
- Revizto
- Bimplus

(Esarte, 2020)

## B. Proyectos de ingeniería (Marco conceptual)

### 1. Ingeniería estructural

La ingeniería estructural es una rama de la ingeniería civil cuya especialidad abarca la investigación, diseño, construcción, análisis, rehabilitación y demolición de estructuras. Esta profesión considera los aspectos técnicos, económicos y sociales de las estructuras ya sea que se aplique sea que se aplique a estructuras nuevas o existentes, así como estructuras permanentes o temporales (Monroy, 2018).

#### a. Estructuras de concreto

En el siglo XIX surgen las primeras estructuras de concreto construidas por culturas antiguas como los egipcios y romanos. En la actualidad es el material estructural más popular en lugares industrializados. Su popularidad se debe a su gran durabilidad, su bajo costo de mantenimiento y a su resistencia y rigidez que las convierte en las estructuras ideales para zonas sísmicas (Bastidas, 2019).

Desde la cimentación de una obra civil hasta la punta de los grandes rascacielos, el concreto reforzado es el actor principal. Según las necesidades indicadas, el concreto se adapta con sus diferentes propiedades a todo tipo de proyectos. En túneles y puentes se utiliza concreto sin refuerzo, en estacionamientos y calles se puede optar por una variante más permeable (Bastidas, 2019).

Otras propiedades de las estructuras de concreto son su resistencia al fuego y adaptabilidad a diferentes ambientes y climas. Por otro lado, sus desventajas se enfocan en la etapa de construcción ya que es un proceso lento y tedioso. Sin embargo, la simplicidad de sus elementos; vigas, columnas, losas y muros, lo mantienen entre los materiales estructurales favoritos de la industria (Bastidas, 2019).

#### b. Estructuras de acero

El acero estructural resulta de la aleación del hierro con carbono. Esto permite que sea maleable y lo suficientemente duro y resistente para fines estructurales. Se fabrica en secciones cuya forma le permite resistir flexión, compresión u otro tipo de esfuerzo especificado (Arriaga, 2020).

Las estructuras de acero son más económicas y rápidas de montar respecto a las estructuras de acero o madera. Esto se debe a que las piezas están prefabricadas y sus uniones ya sean soldadas o empernadas pueden realizarse en poco tiempo. A nivel mundial estas estructuras resaltan por su gran resistencia con relación a su peso (Arriaga, 2020).

Entre las ventajas de las estructuras metálicas resalta su alta maleabilidad y resistencia a deformaciones y desastres. No obstante, las estructuras de acero no tienen una buena resistencia al calor ya que este afecta rápidamente sus propiedades. También suelen representar un costo de mantenimiento elevado (Arriaga, 2022).



## 2. Instalaciones

### a. Instalaciones eléctricas

Todo proyecto que necesite un suministro de energía para sus operaciones tendrá que contar con instalaciones eléctricas. Estas proveen la energía eléctrica necesaria para alumbrado, uso de aparatos, maquinaria, equipo y conservación de la temperatura. Estos sistemas deben diseñarse alineados a normativas de seguridad, capacidad y accesibilidad según el tipo de proyecto (Harper, 2005).

Las instalaciones eléctricas se conforman por un conjunto de elementos; tuberías, canales, cajas, registros, accesorios de control y protección, uniones, entre otros. Su objetivo es conducir y distribuir la corriente eléctrica desde su punto de alimentación hacia todos los puntos de salida requeridos. Es importante considerar la eficiencia de estos sistemas, así como su seguridad y mantenimiento (Harper, 2005).

### b. Instalaciones hidrosanitarias

En cualquier proyecto de ingeniería, las instalaciones son una parte fundamental. Un buen diseño y ejecución pueden garantizar la funcionalidad de la obra. Las instalaciones hidráulicas y sanitarias son clave para un funcionamiento adecuado de las edificaciones (Pérez, 2015).

Según las necesidades del proyecto, estos sistemas de distribución de agua contarán con diferentes elementos. Las tuberías, conexiones y demás accesorios son seleccionados según las especificaciones de suministro que se necesitan. El caudal por entregar, la temperatura del agua y cualquier requerimiento especial se toman en cuenta al diseñar las instalaciones hidráulicas y sanitarias (Pérez, 2015).

Para garantizar un desempeño correcto el diseño de estas instalaciones debe seguir las normas y reglamentos vigentes. De esta manera, se asegura que el diseño se encuentre dentro de un margen de seguridad aceptable (Pérez, 2015).

### c. Instalaciones mecánicas

En una edificación las instalaciones mecánicas se centran en el control climático y en el suministro de agua. La climatización regula la temperatura, humedad y calidad del aire a través de técnicas de ventilación, calefacción y refrigeración. El suministro de agua es vital para las edificaciones, ya sea para consumo humano o de sistemas como el de extinción de incendios (Harper, 2003).

Actualmente los sistemas electromecánicos son cada vez más complejos y a la vez más inteligentes. Un sistema de gestión integral de las redes electromecánicas puede aumentar la eficiencia energética de la edificación. Estos sistemas encuentran el balance entre las condiciones, el uso energético y los requisitos operativos (Harper, 2003).

## 3. Geotecnia

La geotecnia es la rama de la ingeniería que se dedica al estudio de la interacción de las construcciones con el terreno. Su objetivo es el diseño de cimentaciones para estructuras como edificios, diseño carreteras, estabilización de taludes, construcción de túneles, obras marítimas, etc. Esta disciplina mantiene un lazo

estrecho con la ingeniería geológica ya que estudia el suelo y las rocas debajo de la superficie para el análisis del terreno (Das & González, 2015).

#### 4. Obra civil

Una obra civil es una construcción o estructura física diseñada y construida para cumplir una función específica en el ámbito público o privado. Las obras civiles pueden variar en tamaño y complejidad, desde pequeñas construcciones como aceras o puentes peatonales, hasta grandes proyectos como edificios, carreteras, puentes, túneles, presas u otros. Una obra civil contribuye de forma significativa al desarrollo social (Ferrovial, 2021).

Las obras civiles pueden ser realizadas por empresas públicas o privadas, y su diseño y construcción requiere de un conjunto de conocimientos técnicos y profesionales, incluyendo ingenieros civiles, arquitectos, diseñadores, contratistas y trabajadores especializados en la construcción. En consecuencia, el concepto incluye que ayuden a mejorar la vida de las personas y la competitividad de los países (Ferrovial, 2021).

### C. Implementación de la metodología BIM (Marco referencial)

#### 5. Procesos tradicionales vs. procesos colaborativos

Los métodos tradicionales de diseño se han desarrollado por siglos y desde sus inicios permanecen similares. En el siglo pasado los profesionales de la construcción empiezan a cambiar sus herramientas de dibujo y cálculo tradicionales por herramientas más precisas, rápidas y eficientes. Los principales problemas que se presentan al ejecutar proyectos se deben a la falta de coordinación entre los actores involucrados. Esta es la mayor barrera que un proceso colaborativo busca resolver en los proyectos (Cárdenas, 2016).

Una mala coordinación puede resultar en incoherencias en los documentos utilizados por el equipo de un proyecto. Como consecuencia se pueden tener grandes errores en la ejecución de un proyecto hasta el punto de volverlo inviable. Si se tienen los archivos vinculados y actualizados para todos es posible evitar estos errores y mantener los cambios sincronizados con el proyecto como ocurre en los proyectos BIM (Cárdenas 2016).

BIM es un gran ejemplo de las nuevas metodologías para trabajar de forma colaborativa que están revolucionando el sector de la construcción. En poco tiempo estos métodos han empezado a cambiar la manera en la que se venía trabajando tradicionalmente. Durante todas las fases del proyecto, los procesos dentro de la metodología BIM ayudan al Project Manager a tener un mayor control sobre todos los agentes implicados y una mejor coordinación de las diferentes labores. BIM le permite incrementar la eficiencia de la operación desde la planificación hasta la operación del activo lo cual aporta gran valor al cliente (Flórez y García, 2018).

Los beneficios de BIM fueron confirmados por el análisis de Patrick MacLeamy con su gráfico que compara los métodos y procesos BIM con los tradicionales. En esta se puede observar el esfuerzo/eficacia que ambos procesos tienen a lo largo del tiempo y en diferentes fases del proyecto. Con BIM los esfuerzos se concentran en las primeras fases del proyecto. Mientras el proyecto pasa por una etapa de diseño se tiene la oportunidad de hacer muchos cambios a un bajo costo. Por otro lado, en el método tradicional el esfuerzo se concentra en la etapa posterior al diseño, los cambios en el diseño se tornan económicamente menos eficientes (Flórez y García, 2018).

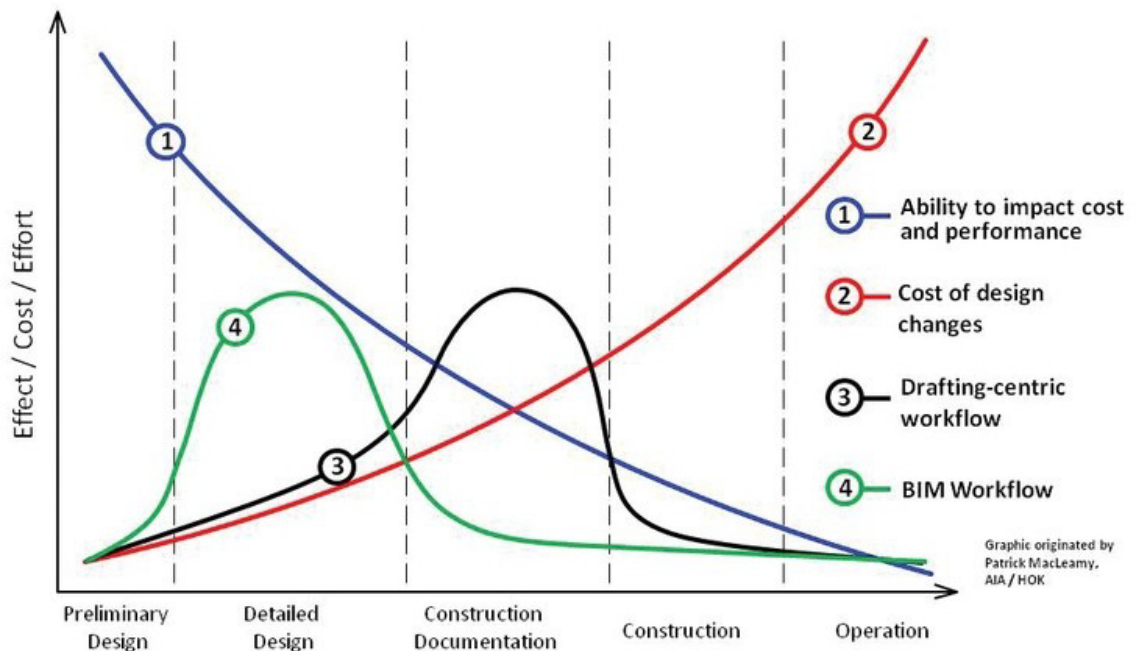


Figura 6: Curva de esfuerzo/efecto a través de las fases de un proyecto

## 6. Ventajas de BIM

Cada proyecto es único y el impacto de la metodología BIM en este dependerá de los alcances y dimensiones aplicadas. Sin embargo, en la mayoría de los proyectos se perciben ventajas globales al implementar la metodología (García y Flórez, 2018).

- Procesos más rápidos y efectivos: la información puede compartirse con mayor facilidad y ser reutilizada para agregar valor a otros proyectos.
- Mejores diseños: las simulaciones e iteraciones permiten a los diseñadores encontrar la mejor solución al analizar más opciones en cortos tiempos. Esto resulta en soluciones optimizadas e innovadoras de alta calidad.

- Control de costos del ciclo de vida del proyecto: al poder prever el desempeño del activo construido a lo largo de su ciclo de vida se tiene un mejor entendimiento de los costos que pueden presentarse en cada etapa.
- Mejor calidad productiva: la documentación que puede extraerse es más flexible y puede automatizarse.
- Montajes automatizados: el producto digital al contener alto nivel de detalle en su desarrollo permite la fabricación y montaje de piezas con la información extraída del modelo.
- Mejor servicio al cliente: la precisión en la representación geométrica que puede lograrse permite un mejor entendimiento del producto final esperado.
- Información perdurable y de fácil acceso: toda la información generada desde la etapa de diseño y planificación puede utilizarse durante las siguientes fases del proyecto hasta su operación y mantenimiento.
- Mejor coordinación: al trabajar en un ámbito colaborativo se puede coordinar todas las disciplinas involucradas para evitar interferencias entre estas generando ahorros significativos en la etapa de construcción al tener la oportunidad de resolver posibles complicaciones con antelación.

En un estudio del Centro de Ingeniería de Instalaciones Integradas de la Universidad de Standford, se reportaron los siguientes beneficios luego de analizar 32 proyectos que utilizaron BIM (Azhar, 2011):

- Eliminación de hasta un 40% de cambios no presupuestados.
- Estimación de costes con precisión dentro del 3% comparado con estimaciones tradicionales.
- Reducción de hasta 80% del tiempo para generar una estimación de costes.
- Ahorro de hasta el 10% del valor del contrato al detectar conflictos.
- Reducción de hasta el 7% del tiempo total del proyecto.

## 7. Desventajas de BIM

Es importante mencionar que BIM es una metodología de trabajo muy ventajosa pero su implantación también representa retos importantes. Según un estudio exhaustivo Holzer (2011) describe los “siete pecados capitales” de BIM:

a. Tecnocentrismo: enfoque en el software en lugar de la cultura del diseño.

BIM es confundido con frecuencia como una nueva versión de lo que la industria de la construcción asocia con CAD y su adopción en las últimas tres o cuatro décadas. Quienes fueron testigos de la transición de los procesos de dibujo manual a CAD habrán visto cómo CAD en la práctica arquitectónica y de ingeniería

se usaba predominantemente para replicar procesos de visualización y dibujo manuales anteriores. La computadora fue el conducto para que ocurriera el cambio y fue la tecnología que la mayoría de los usuarios utilizó para facilitarlos. Esta transición ayudó a los diseñadores a llevar a cabo los procesos en la computadora para una mejor precisión y visualización (Holzer, 2011).

Existen similitudes entre la transición del trabajo manual al diseño asistido por computadora y del diseño asistido por computadora al modelado de información de construcción, pero también existen diferencias fundamentales. Una de esas diferencias es que una visión de BIM centrada en la tecnología, como lo fue CAD, conducirá inevitablemente a problemas en la comprensión de BIM como un método de visualización (Holzer, 2011).

Los procesos de BIM no consisten solo en replicar los procesos de CAD de manera más eficaz mediante el uso de software 3D. BIM cambia por completo los procesos de casi todas las actividades relacionadas con la planificación, entrega y operación de edificios a nivel social, comercial e incluso político. Los usuarios pueden participar en la cadena de suministro de edificios desde el inicio hasta la operación de una manera sin precedentes con la ayuda de BIM. El aspecto tecnológico del proceso de cambio sufre la transformación más radical a lo largo del tiempo, pero no es el único aspecto afectado (Holzer, 2011).

#### b. Ambigüedad

Uno de los principales factores que obstaculizan la adopción de BIM en la práctica del diseño es el alto nivel de ambigüedad sobre la gama de servicios que constituye. Al carecer de una visión diferenciada sobre el valor que BIM agrega a los proyectos, es probable que los clientes se muestren reacios a compensar a sus consultores por los servicios relacionados con BIM. Los usuarios menos informados pueden verse tentados a asociar BIM con todo lo que se podría lograr en la ingeniería con la ayuda del diseño computacional (Holzer, 2011).

El potencial de BIM para vincular información en los proyectos a través de varios tipos de consultas y durante varias etapas de diseño debería incitar a los usuarios a definir un espectro de actividades relacionadas con BIM. Si quienes diseñan y entregan BIM logran catalogar y perfilar la gama de servicios que ofrecen, les permiten a sus clientes comprender los entregables básicos, así como el valor agregado, de servicios específicos en BIM (Holzer, 2011).

Otro aspecto crucial para establecer el perfil BIM distintivo de una empresa es la necesidad de comprender las transiciones entre los procesos divergentes, abiertos y, a menudo, erráticos de exploración del diseño, los procesos más convergentes de ensamblar y compartir objetos geométricos inteligentes en 3D, y la creación de dibujos de taller para la construcción. Con una comprensión clara de los entregables del diseño, la gama de software más adecuada para ayudar con ellos y la interoperabilidad entre las diversas herramientas aplicadas, BIM se convierte en un centro para el intercambio de información durante la fase de planificación de un proyecto y más allá (Holzer, 2011).

#### c. Elisión

El diagrama de MacLeamy ha permitido transmitir un mensaje del esfuerzo y efecto de aplicar BIM y métodos previos a BIM. Se ha popularizado en publicaciones y presentaciones ya que facilita la comprensión de lo que puede lograrse al aplicar BIM en términos muy básicos. Sin embargo, desde su publicación han pasado muchos años y la adopción de BIM en la industria ha evolucionado (Holzer, 2011).

Estos recursos sobresimplifican lo que representa el proceso de adoptar BIM. La gráfica muestra algunas deficiencias al diagramar la relación esfuerzo y efecto en las etapas de construcción y operación. Algunos usuarios de la metodología cuestionan la curva ya que no muestra qué actores deben aportar al esfuerzo y a quienes beneficia (Holzer, 2011).

Esta curva puede verse diferente para el cliente, los diseñadores, los contratistas e incluso los consultores. Al requerir altos niveles de detalle se requiere de información de calidad que debe ser gestionada, coordinada y asociada con los elementos. Es necesario que se exprese con claridad los responsables de añadir esta información, a quienes beneficia y cómo acceder a ella (Holzer, 2011).

#### d. Hipocresía - la excusa de IPD

IPD o *Integrated Project Delivery*, es un sistema de colaboración abierto que afecta a las personas, equipos de trabajo, sistemas, la estructura de negocio y sus prácticas durante todo el ciclo de vida del proyecto. La mención de este sistema se convierte en la excusa para cubrir las deficiencias de BIM. Muchos equipos afirman seguir este sistema simplemente por compartir la información de su modelo utilizando algún software de coordinación (Vitorino, 2020).

El concepto de BIM considera a la cadena de suministro por completo, así como el ciclo de vida entero del proyecto. La razón por la cual BIM se limita y no logra obtener sus verdaderos beneficios se debe al fallo en los procedimientos de colaboración. En los proyectos de construcción actuales se obtendrá el beneficio de BIM si se comunica toda la información relacionada con el proyecto tan pronto esta se encuentre disponible (Holzer, 2011).

Este nivel de colaboración requiere un cambio de mentalidad donde las necesidades del proyecto y el equipo debe anteponerse a los intereses propios. Esto puede no atraer a todos ya que tradicionalmente esta industria tiene un fuerte enfoque en operar velando cada uno por su propia organización. El proceso puede complicarse por el hecho que, al inicio del proyecto donde se puede lograr un mayor impacto, no se han definido todos los miembros del equipo. Es necesaria una cultura de colaboración donde el riesgo sea compartido y se pueda tomar decisiones en conjunto (Holzer, 2011).

#### e. Espejismo - pedir trabajo en 2D mientras se requiere trabajo en 3D

A pesar del desarrollo continuo de la industria y la adopción de BIM en las últimas décadas, el entregable por la mayoría de los profesionales es la documentación 2D. A pesar de que el producto final permanece similar la forma de alcanzarlo ha sido revolucionada drásticamente. Sin embargo, los clientes

piden entregables en 2D mientras exigen que la metodología BIM se implemente para la generación y coordinación de la información (Holzer, 2011).

Los arquitectos e ingenieros visualizan sus ideas en un espacio tridimensional, los espacios en dos dimensiones es su manera de simplificar y lograr comunicarse con el resto del equipo. Aún no es posible depender de información totalmente en 3D ya que al llevar a construcción nuestro proyecto, la mayoría aún ejecuta con información 2D tradicional, planos y secciones. En ocasiones se utiliza la información en 3D para coordinar algunos aspectos del proyecto con ciertos miembros del equipo, pero aún así los documentos principales para el cliente se mantienen en dos dimensiones (Holzer, 2011).

En equipos donde parte del equipo se adentra en una verdadera colaboración no se puede ignorar la necesidad de resolver conflictos a través de una coordinación 3D. Para este proceso el equipo debe confiar en la certeza de la información que extraen del modelo integrado. Los problemas surgen cuando otros miembros del equipo exigen una salida 2D de modelos BIM y no logran aprovechar toda la información por enfocarse en mantener los entregables a los que están acostumbrados. Aquí recae la importancia de partir de un Plan de Ejecución BIM claro y detallado para lograr un intercambio de información y entregables alineados con los alcances del proyecto (Holzer, 2011).

#### f. Difidencia - negar la necesidad de cambio de proceso

Al tomar la decisión de implementar BIM suelen surgir preguntas sobre cómo organizar la transición de procesos y protocolos de trabajo mayormente CAD hacia un uso competente de procesos BIM. Esta metodología por naturaleza es disruptiva y cambiar los procesos de forma sustancial necesita de una mente aventurera y estar dispuesto a tomar algunos riesgos (Holzer, 2011).

Para implementar BIM se debe adquirir hardware y software con suficiente capacidad de adoptar estos nuevos procesos, capacitar al equipo, definir nuevos estándares y cultivar librerías de contenido BIM. Estos son algunos esfuerzos para procurar que la implementación de BIM parta de una base sólida que permita responder a las exigencias de los proyectos. Muchos de los servicios que pueden ofrecerse al adoptar BIM no tienen precedentes bajo otros métodos de trabajo (Holzer, 2011).

Partes del cambio de proceso a través de BIM se logran haciendo decisiones tempranas en el proceso de diseño. Por esto es importante establecer un nuevo diálogo y proporcionar acceso directo al modelo BIM a aquellos que toman las decisiones, aunque no manipulen el modelo ellos mismos. El modelado en BIM se basa en un conjunto de dependencias más intrincado. Es importante que todos entiendan que la producción de documentación no siempre se puede acomodar con la misma inmediatez como con la documentación 2D (Holzer, 2011).

#### g. Mono disciplinaria - exploración del diseño en silos profesionales

Constantemente aparecen en el mercado más y más herramientas BIM buscando satisfacer las necesidades de los usuarios en sus diversas funciones y disciplinas. En los inicios del diseño las herramientas

deben permitir procesos iterativos donde se puedan procesar diferentes escenarios que apoyen una toma de decisiones eficiente. Con regularidad se tiene una operación asincrónica donde se tiene un retraso debido a los tiempos de respuesta de los involucrados en el proceso de diseño. Cada actor toma la información nueva, la analiza e interpreta lo cual no permite simular muchos escenarios debido al tiempo asignado para esta etapa (Holzer, 2011).

Debido a la configuración tradicional de un proyecto de construcción, a menudo se excluye de la etapa temprana de la toma de decisiones a quienes ejecutarán el proyecto. Más miembros del equipo suelen incluirse en etapas avanzadas de la planificación donde el impacto económico de los cambios incrementa y la capacidad de tomar rumbos distintos disminuye (Holzer, 2011).

#### 4. BIM en proyectos de ingeniería

Desde la aparición de BIM, el diseño de proyectos se realiza directamente en 3D para obtener una visión completa de todo el conjunto. Esto permite un diseño más eficiente y rápido, al tiempo que facilita las actualizaciones y modificaciones. A diferencia del diseño tradicional con elementos geométricos, BIM trabaja con objetos específicos relacionados con la ingeniería civil y la arquitectura, cada uno con sus propias características. Esto comprende desde mediciones, hasta presupuestos o control de plazos (Structuralia, 2018).

Además, los errores o incompatibilidades entre distintas partes del proyecto son detectables mediante las herramientas BIM en fase previa a la construcción, permitiendo encontrar soluciones óptimas. Los resultados finales del proyecto pueden visualizarse desde gafas de realidad virtual antes de ser construido y el modelo digitalizado ofrece datos exactos para la gestión posterior de mantenimiento. También se pueden generar maquetas automáticamente por impresora 3D o proyecciones en realidad aumentada para una mejor comprensión del proyecto (Structuralia, 2018).

#### 5. Contexto BIM en el mundo

##### a. BIM en Reino Unido

El camino para convertirse en un referente mundial comienza en el 2011 donde parte de la estrategia del Gobierno de Reino Unido para el sector de la construcción fue requerir BIM para aquellos que participaran en obras públicas. El sector de la construcción en esta región sufrió por mucho tiempo una tendencia de baja productividad y eficiencia. Es por esto que, en busca de la mejora de la industria, el gobierno se interesa en introducir BIM, así como su intención de reducir costos, desperdicios y disminuir los errores para mejorar la economía británica (National Building Specification, 2020).

A pesar de los beneficios aparentes, la adopción de BIM aún no es universal. Se ha notado un aumento significativo en el uso durante la última década. El Informe BIM de 2020 muestra que la adopción de BIM ha aumentado al nivel más alto hasta la fecha con un 73% de las empresas declarando que conocen y usan



BIM. Esto ha aumentado significativamente desde 2011, donde solo el 13% usaba BIM y el 43% desconocía por completo la metodología BIM en comparación con el 1% en 2020 (NBS, 2020).

Los requerimientos BIM varían según el nivel al que se aplica en los proyectos. Se reconoce que transformar la industria de la construcción tradicional a una que opera de forma colaborativa toma esfuerzos progresivos. Es por esto por lo que han configurado hitos o como le llaman en Reino Unido “niveles” en un rango del 0 al 3 con sus respectivos requerimientos (MacPartland, 2014).

- Nivel 0: en este nivel no se tiene colaboración entre las partes interesadas del proyecto y se utilizan planos CAD en 2D. La información se distribuye a través de planos impresos o planos electrónicos.
- Nivel 1: de nula a poca colaboración. Se utiliza CAD 2D para generar información y documentación de aprobación legal combinado con CAD 3D para conceptualizar el proyecto. En este nivel se maneja un entorno común de datos para compartir la información electrónica.
- Nivel 2: se requiere trabajar de manera colaborativa. Todo software CAD utilizado debe ser capaz de exportar su información en formatos COBie o IFC. Este es el nivel mínimo requerido por el Gobierno de Reino Unido en su mandato del 2011 para proyectos del sector público.
- Nivel 3: se refiere al uso de estándares abiertos donde se busca una mayor colaboración entre todos los interesados a través de un modelo central rico en información. Todos los participantes podrán trabajar de forma simultánea en un mismo modelo. Este es el siguiente salto esperado de la industria de la construcción en Reino Unido, después de consolidar el nivel 2 en el 2016, hacia el 2020.
- Más allá del nivel 3: el próximo paso parece enfocarse más en la información que los modelos 3D en sí. La forma tradicional de BIM produce modelos que pueden llegar a ser costosos y difíciles de mantener actualizados. Muchas de las compañías vanguardistas han alineado su enfoque con la gestión de la información de manera que se capture en su totalidad y se comparta.

El uso de BIM ha tenido un impacto positivo para la industria de la construcción. Han logrado reducir desperdicios ya que el modelo BIM permite definir exactamente la cantidad de material que se necesita para construir un activo. Los resultados son un ahorro de dinero y reducción del impacto ambiental de los proyectos. También ha ayudado a mejorar la colaboración e incluso las relaciones laborales entre profesionales. Al todos tener la misma información les permite aclarar confusiones y evitar malentendidos (Galiano & Kouider, 2016).

La estrategia BIM de Reino Unido ha logrado lo que tanto necesitaba su sector de la construcción, aumento de la productividad, ahorros de tiempo y un gran impulso a la adopción de las nuevas tecnologías. Cada año más organizaciones utilizan herramientas digitales debido al impacto positivo demostrado por el

uso de BIM. La eficiencia en los procesos y ahorros de tiempo en el ciclo de vida del proyecto ha desencadenado un gran interés por adoptar esta metodología (NBS, 2020).

En Reino Unido el CDBB (Centre for Digital Build Britain) de la Universidad de Cambridge completó su misión de 5 años en septiembre del 2022. Dentro de los resultados enfocados en apoyar a la región a implementar BIM bajo un mismo estándar surge el *UK BIM Framework*. Su función es ayudar a profesionales y organizaciones interesadas en adoptar BIM a migrar sus procesos siguiendo los estándares internacionales de la norma ISO 19650 (Centre for Digital Built Britain, 2022).

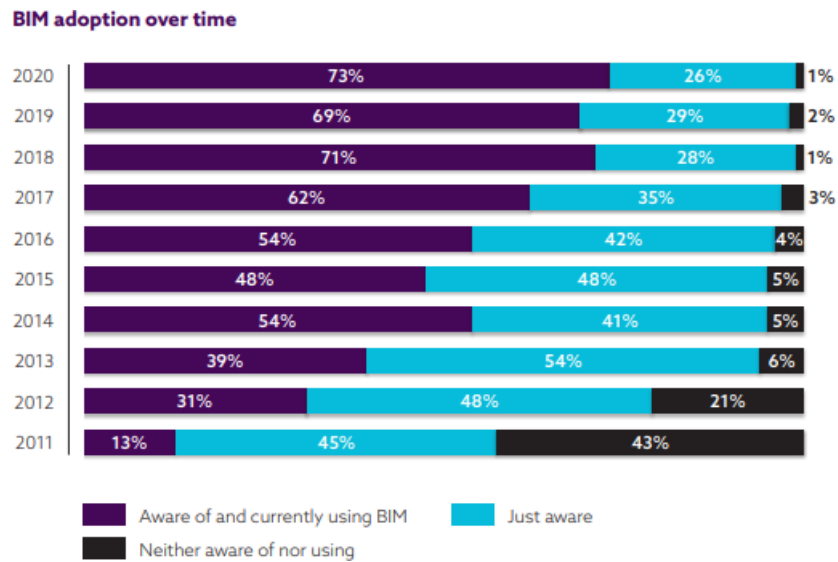


Figura 7: Adopción de BIM a lo largo del tiempo en Reino Unido

(NBS, 2020)

#### b. BIM en Latinoamérica

En Latinoamérica BIM se ha aplicado en diferentes casos a lo largo de la región. En el 2015 se crea el BIM Fórum LATAM sin embargo su dinámica de implantación de la metodología no es uniforme en los 18 países que colaboran. Brasil, Chile, Argentina, México y Colombia lideran la adopción de la metodología tanto en el sector público como privado mientras la región central del continente avanza a un ritmo más lento.

En Colombia la compañía McKinsey&Co junto a la Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) han recopilado datos que evidencian que el sector de la construcción colombiano se encuentra atrasado en la adopción de nuevas tecnologías. Sin embargo, BIM tiene un gran potencial para propulsar el desarrollo tecnológico del sector. La CAMACOL junto a otras organizaciones han formado ASOBIM, la

Asociación Colombiana BIM con la intención de propiciar la adopción y difusión de BIM en Colombia (Structuralia, 2022).

Actualmente Colombia ha trazado una ruta hacia un mandato BIM a nivel nacional para el 2026. En este se requerirá el uso de BIM en todos los proyectos de construcción pública. Para lograrlo organizaciones como BIM Forum Colombia han generado guías de la adopción BIM en las organizaciones las cuales brindan un punto de partida para todos los interesados en implementar BIM en sus proyectos. El material generado define matrices, estándares, plantillas y documentos técnicos de apoyo, así como algunas guías sobre temas básicos (CAMACOL, 2021).

En Chile, se encontraban en un contexto similar al de Reino Unido donde la industria de la construcción tenía una baja productividad. El Estado al ser el cliente de un tercio de la edificación e infraestructura del país considera que BIM podía impulsar esta productividad beneficiando a todo el sector. A pesar de liderar en trayectoria en el trabajo BIM junto a Brasil, 27% de las empresas chilenas utilizan BIM sin seguir algún estándar. Es por esto que en el 2016 varios ministerios del Estado de Chile crean Planbim para impulsar la implementación estandarizada y transversal de BIM (Lacaze, 2020).

Este plan traza la ruta de la implementación BIM en Chile hasta el 2025 con intención de mejorar la sostenibilidad y productividad utilizando métodos y tecnología avanzada como es BIM. En el 2020 se comenzó a exigir en los proyectos públicos el uso de la metodología. Para lograr los resultados esperados los chilenos deben seguir formándose en el uso de la metodología y nuevas herramientas BIM. Cada vez hay más programas de maestría, diplomados y programas donde se involucran entidades como universidades y el Colegio de Ingenieros de Chile para asegurar la calidad de estos (Soto, 2017).

Otros países como Argentina, Perú y Uruguay pertenecen a organizaciones como la Red BIM de Gobiernos latinoamericanos donde comparten con países de la región sobre sus avances BIM y metas trazadas. El avance en Latinoamérica es un poco más lento de lo previsto y muy heterogéneo. En esta región el contexto cultural, político y socioeconómico une a los países para entender los desafíos específicos a los que se encuentran. A pesar de que la mayoría de las empresas y profesionales no tienen el músculo económico para una implementación costosa, como región, se tiene una percepción positiva de BIM y el impacto positivo que puede llegar a tener en su industria de la construcción (Lacaze, 2020).

### c. BIM en Guatemala y Centroamérica

En Guatemala al igual que en la región centroamericana la implementación de la metodología BIM ha llevado un paso más lento en comparación con otros países de Latinoamérica. Sin embargo, al ser un país con mucho desarrollo inmobiliario se ha percibido el esfuerzo por adoptar la metodología en proyectos constructivos. En el 2019 surge la Asociación Guatemalteca de Estándares BIM (AGEBIM) con el objetivo de apoyar a la industria local a dar un paso hacia la nueva era digital (Monterroso, 2021).

La academia está haciendo su esfuerzo con una oferta de diversas maestrías y posgrados relacionados con el modelado BIM, BIM Management e Implementación BIM en empresas. Los profesionales han mostrado interés en aprender e implementar BIM en Guatemala, en especial las nuevas generaciones de arquitectos e ingenieros. Ya hay varias empresas que reconocen el valor de la metodología y lo aplican en sus proyectos según su experiencia y nivel de madurez BIM (Monterroso, 2021).

El Salvador destaca en la región por sus esfuerzos de adoptar BIM en sus proyectos, en especial en sus proyectos de salud. El Banco Interamericano de Desarrollo ha apoyado al Ministerio de Salud desde hace unos años lo cual ha permitido de forma paralela la incorporación de BIM en algunos proyectos de infraestructura social (Dalaison et. al, 2022).

En el 2021 se mapearon 70 instituciones públicas y privadas para identificar el nivel de adopción BIM a nivel país. El 77% de los participantes no habían participado en algún proyecto BIM a pesar de que la mayoría de los profesionales admitieron conocer la metodología. Las limitantes como la inversión inicial y la falta de oferta para capacitarse los han frenado en su ruta hacia la implementación, sin embargo, es posible acelerar el proceso si este es acompañado por los recursos correctos (Dalaison et. al, 2022).

En Nicaragua y Honduras la adopción de BIM toma un ritmo más pausado a comparación de sus vecinos de la región. Nicaragua a pesar de no destacar con megaproyectos gestionados con BIM, reconocen la importancia de proveer una oferta académica local que permite a su capital humano formarse profesionalmente. La Especialidad en Metodología BIM aplicada en Gestión de Proyectos de la Universidad Americana de Managua es evidencia de ello (Álvarez, 2019). Por otro lado, en Honduras hasta hace un par de años que proyectos como el nuevo Aeropuerto Internacional de Palmerola o la fábrica de ropa “The Arena” le muestran las bondades de BIM al país y sus profesionales (Kramer, 2021).

En el 2020 el Gobierno de Costa Rica elabora su propia Estrategia Nacional BIM para desarrollar el sector de construcción en las obras públicas. Con esto buscan una mayor transparencia en las licitaciones, mejor ejecución de las obras, aumentar la productividad y minimizar el impacto ambiental de los proyectos. En febrero del 2020 se publica oficialmente el instrumento de planificación para la implementación BIM, Hoja de Ruta (MIDEPLAN, 2022).

En la planificación se consideran cinco pilares para una implementación exitosa de BIM entre el 2021 y 2025. Su pilar de Gobernanza busca medir y controlar la gestión de la implementación BIM en el país. El segundo pilar se enfoca en desarrollar un marco regulatorio que primero fomente para luego obligar el uso de BIM bajo un Estándar Nacional BIM. El tercer pilar estratégico es el de Capital Humano en busca de vincular organismos que puedan desarrollar una amplia oferta de capacitación para generar competencias BIM. Por último, el cuarto y quinto pilar tienen como objetivo desarrollar los recursos tecnológicos necesarios y comunicar las iniciativas de la Hoja de Ruta para facilitar su adopción (MIDEPLAN, 2020).

En el sector privado de Panamá se tiene bastante apertura para el desarrollo de sus proyectos adoptando la metodología BIM. En el 2016 se crea el BIM Fórum Panamá, un consejo técnico con el objetivo de

convocar a profesionales e instituciones relacionadas con BIM para compartir los conocimientos y experiencias que ayuden a mejorar las técnicas BIM aplicadas en el país. Desde el 2016 hasta la fecha se encuentra activo y en crecimiento este espacio, pero no son los únicos en promover el uso de BIM en este país. Al ser un país con una industria inmobiliaria con gran potencial y con antecedentes de grandes proyectos como el Canal de Panamá, muchas empresas de proveedores —Bentley Systems, Autodesk y otros— buscan posicionarse entre las empresas locales (Álvarez, 2019).

## V. METODOLOGÍA

### A. Pasos iniciales

Breve investigación sobre el contexto actual de la aplicación de la metodología BIM en proyectos de ingeniería en Guatemala, Latinoamérica y Reino Unido como región referente de una adopción exitosa de la metodología. Iniciando por delimitar los proyectos de ingeniería a aquellos en las subdisciplinas; estructura, instalaciones, geotecnia y obra civil. Esta investigación brindará un contexto inicial del cual partir.

### B. Recolección de datos

Seguido a la investigación preliminar, se plantean las preguntas para las entrevistas. Las entrevistas tendrán como objetivo principal identificar las ventajas y barreras al adoptar la metodología BIM en proyectos de ingeniería. Esta se conforma por cuatro secciones; datos del encuestado, breve diagnóstico de su acercamiento y experiencia con la metodología BIM, ventajas y barreras identificadas en los proyectos de ingeniería en los que han participado.

Al finalizar el diseño de la entrevista se estará contactando a diferentes profesionales de cada subdisciplina. Estarán contestando las preguntas en formato entrevista de forma virtual o presencial, según disponibilidad. Para comprender las ventajas aparentes y barreras se estarán entrevistando profesionales que ya han participado en al menos un proyecto en el que se ha adoptado la metodología en sus procesos.

### C. Procesamiento de datos

Al terminar con las entrevistas se procesarán los datos de la primera y segunda sección en una hoja de Excel. Seguido a esto, se procederá a consolidar y limpiar los datos. Debido a la naturaleza de las preguntas, una mezcla de preguntas abiertas y cerradas, se tomarán los datos que correspondan para la generación de tablas y gráficos que faciliten la interpretación de los datos recolectados.

Por otro lado, el resto de las preguntas abiertas se utilizarán como referencia para el desarrollo de este capítulo. Los datos serán segmentados por su subdisciplina para facilitar su análisis. Como último paso en la preparación de los datos se estará comprobando que los datos generados sean los deseados para continuar con su análisis.

### D. Análisis de datos

Una vez las respuestas a la encuesta estén claramente segmentadas y tabuladas, se explorarán los datos obtenidos. Este paso permitirá identificar ciertos patrones que apoyen a la investigación. Por último, se

identificarán las ventajas percibidas y barreras al adoptar BIM como metodología para proyectos de ingeniería según las respuestas de los profesionales.

Este análisis permitirá formular ciertas observaciones según las ventajas y barreras que cada subdisciplina de la ingeniería ha identificado en el contexto actual de Guatemala y Latinoamérica. Estas observaciones se estarán recopilando de manera que, en futuros proyectos de ingeniería donde se desee aplicar la metodología BIM, se puedan considerar los factores que representan un mayor desafío. Así como las ventajas que pueden obtenerse al aplicar la metodología en los proyectos.

## VI. RESULTADOS

Se realizaron 13 entrevistas a profesionales del sector de construcción que han participado en proyectos de ingeniería aplicando la metodología BIM. La primera sección clasificada como demográfica se conformó por las preguntas 1-4. En estas se conoció la profesión de los entrevistados, su edad, su conocimiento sobre la metodología BIM y la disciplina de la ingeniería en la cual ejercen.

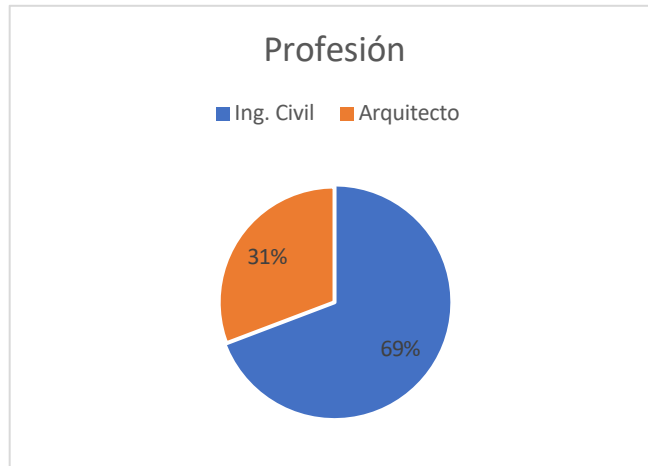


Figura 8: Profesión de los entrevistados

En la Figura 8 se observa que un total del 69% de los entrevistados son ingenieros civiles y el resto arquitectos. Del total de profesionales solamente dos no han concluido algún programa de estudios superior a su licenciatura. De los once restantes, siete han culminado sus estudios superiores sobre la metodología BIM ya sea en modalidades como maestría, especialización o diplomado.

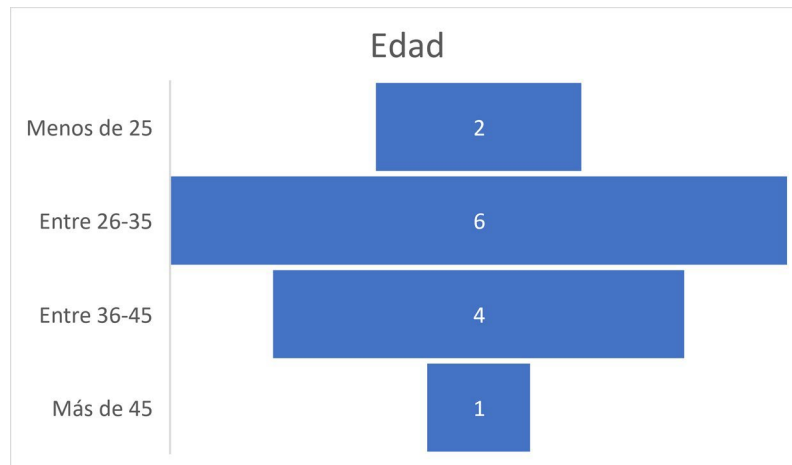


Figura 9: Edad de los participantes por rango



Los ingenieros y arquitectos encuestados pertenecen a cuatro grupos de edad el primer grupo siendo, menor a 25 años, representando a los profesionales recién graduados. El segundo grupo y el grupo con mayor representación entre los 26 y 35 años, profesionales con aproximadamente entre 5 y 10 años de experiencia. El siguiente grupo se categorizó a aquellos entre los 36 a 45 años representando a los profesionales de la industria con experiencia mayor a 10 años. El cuarto y último grupo, más de 45 años, con la menor representación con solamente un entrevistado.

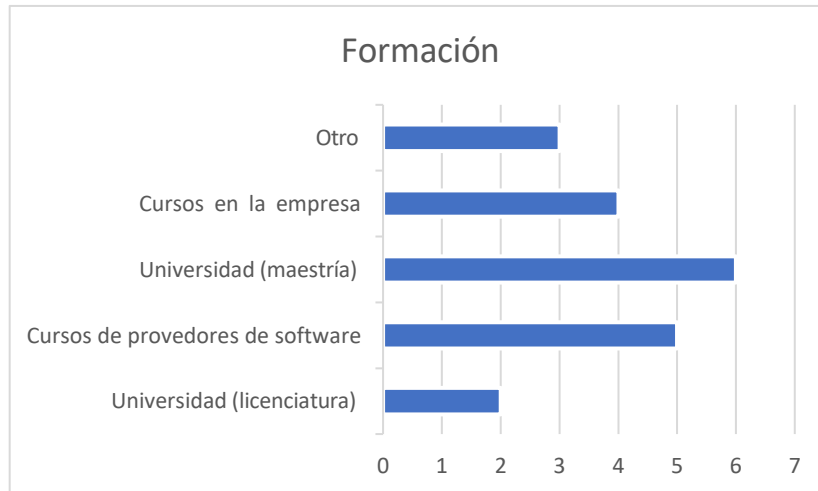


Figura 10: Tipo de formación sobre temas BIM

Entre los entrevistados se encontró una amplia variedad de fuentes para su formación sobre temas BIM. La mayoría fue capacitada para aplicar la metodología y sus herramientas a través de cursos impartidos por universidades tanto a nivel licenciatura como maestría. Por otro lado, algunos de los profesionales han optado por una formación menos formal como cursos, certificaciones cortas e incluso a través de tutoriales en YouTube. Como se puede observar en la figura 11, el 77% ha contestado que se consideran autodidactas ya que a pesar de participar en programas académicos sobre BIM, la mayoría de sus conocimientos han sido adquiridos por su curiosidad buscando el material en diferentes fuentes.

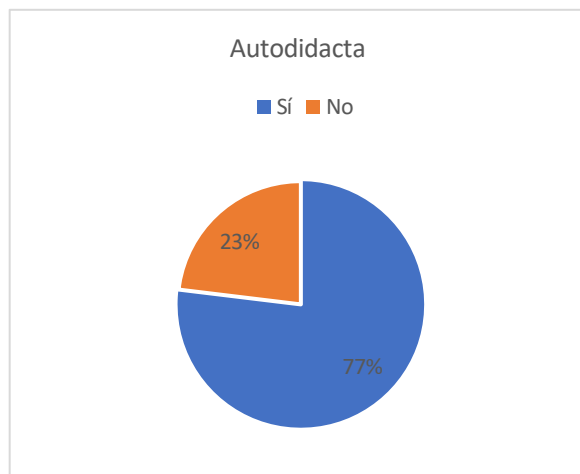


Figura 11: Se considera usted autodidacta

La segunda sección de las entrevistas se enfocó en conocer características generales de los proyectos BIM en los que han trabajado los entrevistados. El 62% inició a adoptar la metodología BIM en sus proyectos por iniciativa propia mientras un poco más de un tercio fue motivado por requerimiento del cliente. Sin embargo, el 100% ha contestado que seguirá utilizando la metodología en futuros proyectos.

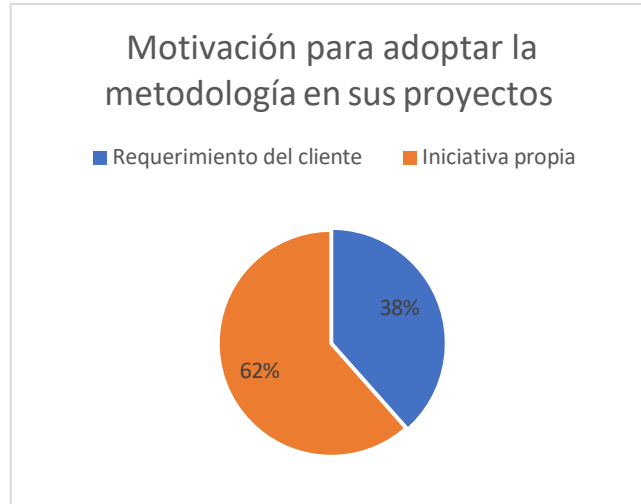


Figura 12: Motivación para adoptar la metodología en sus proyectos

El 69% de los entrevistados han asumido más de un rol en los proyectos BIM en los que han participado. Ya sea en el mismo proyecto o en diferentes proyectos a través del tiempo. Los roles más comunes han sido de modelador BIM, coordinador BIM y BIM Manager. Sin embargo, roles como BIM Information Manager y documentador BIM también fueron mencionados entre los participantes.

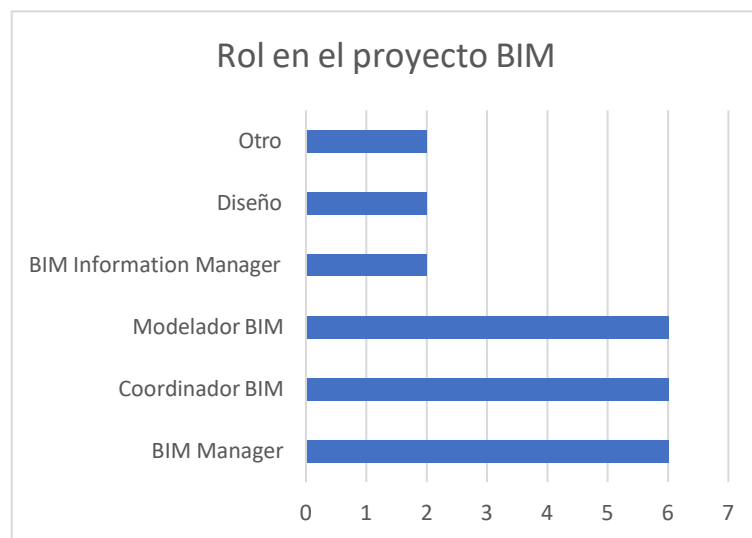


Figura 13: Rol asumido en el proyecto

Entre la amplia gama de proyectos en los que han participado los entrevistados se identificó que la disciplina con mayor experiencia entre los participantes es la estructural. No obstante, la aplicación de BIM se extiende hacia ramas más especializadas como topografía y eficiencia energética como se muestra en la Figura 14.

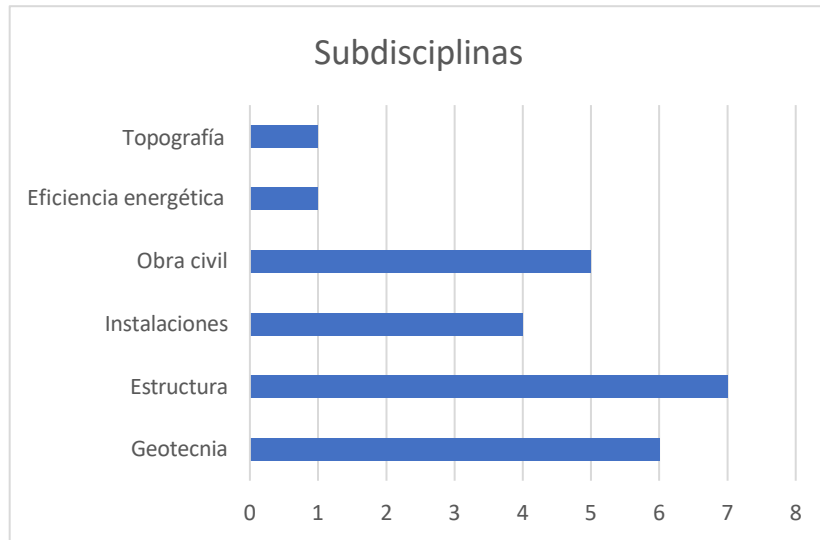


Figura 14: Subdisciplinas de la ingeniería en las que ha participado con proyectos BIM

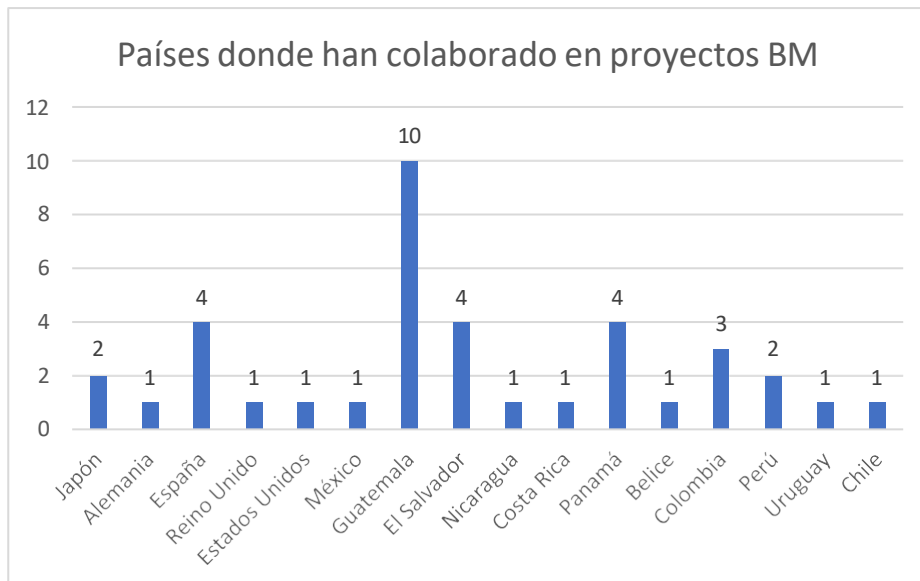


Figura 15: Países donde se ubican los proyectos en los que ha participado

Entre los profesionales se obtuvo un amplio rango de experiencia en proyectos BIM desde aquellos con un solo proyecto en su portafolio hasta algunos con más de 70 proyectos. La naturaleza colaborativa de la

metodología ha permitido a los participantes se parte de proyectos alrededor del mundo. Desde proyectos en Centroamérica y Latinoamérica hasta Europa e incluso Asia.

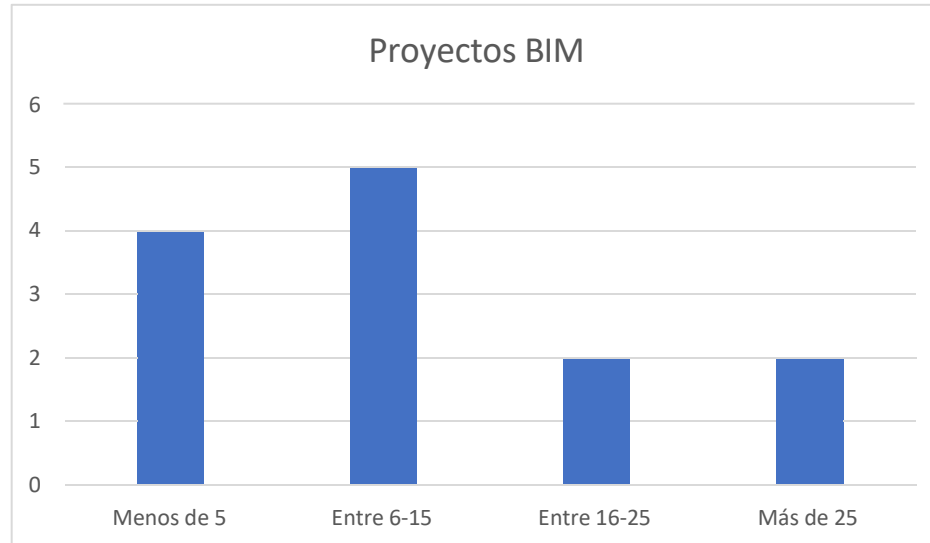


Figura 16: Número de proyectos BIM en los que han participado

Por último, la tercera sección de la entrevista se conformó por preguntas abiertas sobre los beneficios percibidos y barreras aparentes al adoptar la metodología BIM en proyectos de ingeniería. En esta sección los entrevistados comentaron sobre cómo desde su experiencia han percibido ciertas bondades de BIM y los desafíos que superaron para culminar los proyectos con éxito. Las respuestas se clasificaron en diferentes categorías y se contabilizaron los beneficios más comunes, así como las barreras con mayor recurrencia en los cuadros 1 y 2.

Cuadro 1: Beneficios percibidos al implementar la metodología BIM en proyectos de ingeniería

Beneficio percibido	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Total
Orden, estructura y trazabilidad de la información	x	x	x				x	x	x		x		x	8
Mejor comunicación con los actores del proyecto	x		x						x	x	x		x	6
Fácil acceso a la información actualizada en tiempo real	x	x	x								x	x	x	6
Reducción de errores en etapa de construcción		x				x	x	x		x				5
Procesos y flujos de trabajo más eficientes y rápidos			x	x		x				x		x	x	6
Menor tiempo en iteraciones en la etapa de diseño					x							x	x	3
Diseños más eficientes y optimizados				x			x	x						3
Ahorro de tiempo en etapa de construcción	x	x										x	x	4
Claridad en roles y responsabilidades de cada actor			x					x	x					3
Mejor visión integral del proyecto para la toma de decisiones					x			x			x			3
Reducción de recursos necesarios asignados al proyecto				x						x			x	3
Mejor visualización y comercialización del proyecto			x			x					x	x		4
Información que trasciende el final de la ejecución de la obra		x	x				x				x			4
Ahorro de dinero	x	x		x		x	x			x			x	7

Durante las entrevistas se pidió traducir estos beneficios de BIM a un valor estimado en sus proyectos y estas fueron algunas de las respuestas:

- Para instalaciones 10-15% de ahorro reflejado en menor desperdicio de material y reducción de tiempos en obra al instalar los componentes.
- En proyectos con interferencia con drenajes un 10%. Si se resta los costos de capacitación y costo de herramientas BIM, red, licencias, hardware se puede estimar un 4% neto.
- Al coordinar instalaciones fácilmente puede representar un 10% de ahorro en el proyecto.
- Una buena planificación puede llevarnos a un ahorro de 10-15% al analizar condiciones existentes en proyectos de excavación, movimiento de tierra y estabilización de taludes.
- Gran ahorro, más que todo en tiempo y recursos. Ahora puedo hacer más proyectos con la misma cantidad de personas.

*Cuadro 2: Barreras aparentes al implementar la metodología BIM en proyectos de ingeniería*

<b>Barreras aparentes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>Total</b>
Curva de aprendizaje	x							x		x	x		x	5
Desconocimiento de la metodología y sus beneficios	x		x	x	x		x	x		x	x		x	9
Fiabilidad de la información extraída del modelo													x	1
Mayor tiempo en etapa de planificación										x		x		2
Falta de estándares locales		x						x					x	3
Reprocesos CAD a BIM		x		x	x	x		x						5
Incongruencia en los requerimientos del cliente					x								x	2
Alto costo de implementación					x					x				2
Falta de recurso humano capacitado			x	x					x	x			x	5
Resistencia al cambio			x	x			x	x	x	x		x		7
Falta de oferta académica en la región				x								x	x	3
Tiempo alto de modelado de especialidades					x	x								2
Adopción de la metodología a destiempo												x		1

Se preguntó a los participantes si en alguno de los proyectos de ingeniería se encontraron con algún proceso o función donde el uso de la metodología BIM no sea más eficiente o adecuada que el uso de una metodología tradicional. El 100% de los participantes no logró identificar algún proceso en sus proyectos que la metodología BIM no pueda realizar.

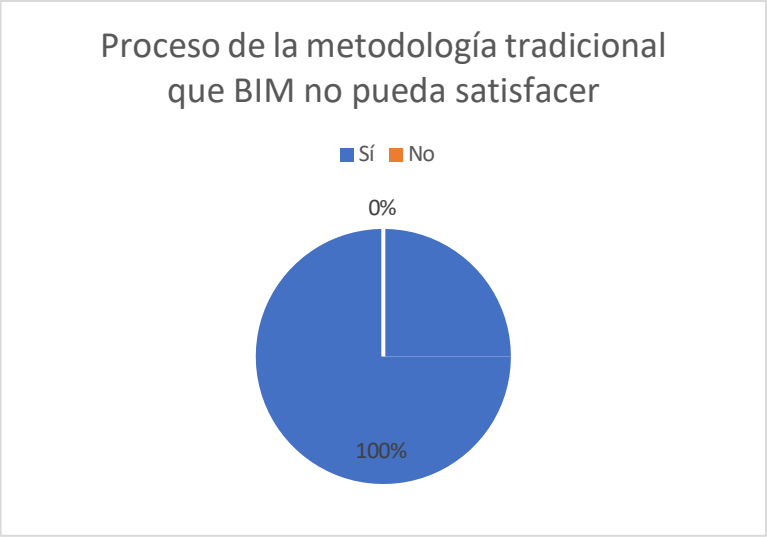


Figura 17: Alcance de los procesos BIM en proyectos de ingeniería

## VII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. Beneficios percibidos

#### 1. Beneficios en la gestión de información

##### a. Orden, estructura y trazabilidad de la información

Uno de los pilares de la metodología BIM es la mejor gestión de la información. Para los arquitectos e ingenieros que participan en proyectos de ingeniería el mayor valor de BIM se encuentra en el orden, estructura y trazabilidad de la información que la metodología les permite. Con la experiencia de varios proyectos y la trazabilidad de la información se pueden generar programaciones en obra mejor estudiadas comprendiendo los momentos críticos en los que se debe tomar acción.

Sin importar el entorno común de datos que se seleccione para el proyecto, al guiarnos de la norma ISO 19650 se puede esperar la misma estructura ya conocida de las carpetas y el nombramiento de los archivos al cual ya están todos familiarizados. Esto permite que a través de todos los proyectos BIM se pueda gestionar la información con la misma eficiencia y control asegurando la trazabilidad que es de tanta ayuda para quienes participan en proyectos de ingeniería.

##### b. Fácil acceso a la información actualizada en tiempo real

Los espacios colaborativos al albergarse en la nube permiten un fácil acceso a la información. Ya no es necesario un servidor con toda la información del proyecto al cual se puede acceder solamente a través de una red local o VPN. Sin importar donde se encuentre el miembro del equipo, mientras tenga acceso a una conexión de internet podrá ubicar los archivos que necesita. De encontrarse el proyecto en un sitio con una conexión deficiente siempre podrá descargar los archivos y asegurarse de su última versión al revisar la fecha los intercambios de información acordados en el BEP.

La estructura y orden que brinda la metodología también permite navegar más fácil entre todos los documentos. Ya no se pierde el tiempo tratando de ubicar un archivo entre un mar de carpetas y archivos sueltos. Toda la información se encuentra bien clasificada, controlada, revisada y aprobada según su estado.

##### c. Mejor comunicación con los actores del proyecto

Para una correcta colaboración es necesario comunicarse entre los actores del proyecto. Se ha identificado que los proyectos que adoptan la metodología BIM aumentan la comunicación entre los miembros del equipo. Esto se le puede atribuir a que se tiene un canal designado de comunicación, así como la centralización de la información.

Una buena comunicación permite la toma de decisiones para el bien del proyecto desde un acercamiento multidisciplinario. Aumenta la confianza y mejora las relaciones profesionales entre los involucrados. También facilita la planeación y ejecución de los proyectos al agilizar los flujos de información.

#### d. Información que trasciende el final de la ejecución de la obra

La información centralizada y sus versiones finales accesibles a los miembros del equipo representan un gran beneficio si se lleva el proyecto más allá de la fase constructiva. La séptima dimensión de BIM se enfoca en el mantenimiento y operación de los activos. Se puede ubicar en el modelo y

Tener acceso a la información final del proyecto permite reflexionar sobre sus hitos y rutas críticas para mejorar los procesos y flujos de trabajo de cada etapa. Esta información puede apoyar a la retroalimentación del equipo el cual puede recopilar sus experiencias para lograr mejores estrategias y tomar decisiones informadas en otras oportunidades. También permite ser archivado para futuras ocasiones donde se tome como referencia o caso de estudio dentro de la organización.

#### e. Claridad en roles y responsabilidades de cada actor

El Plan de Ejecución BIM define los roles y responsables de todos los actores de un proyecto que adopta la metodología. Al tener una mayor claridad de las funciones que cada uno debe cumplir es posible ahorrar tiempo y agilizar el flujo de información. Permite una meta clara y una mejor organización y coordinación para generar sinergia y lograr las metas del proyecto de forma colaborativa.

Una claridad de roles permite Por otro lado, no tener claridad del rol o función genera inseguridad y no permite al equipo tener un desempeño satisfactorio. Como consecuencia los miembros del equipo no sabrán hacia dónde dirigir su energía ya que no tienen una meta clara lo cual psicológicamente tiene efectos muy negativos (Gutiérrez, 2018).

## 2. Beneficios en los procesos y flujos de trabajo

#### a. Procesos y flujos de trabajo más eficientes y rápidos

Los flujos de trabajo de la metodología BIM son muy diferente a los flujos CAD debido a que BIM realmente gestiona toda la información del proyecto. Los flujos de trabajo BIM garantizan un acceso transparente y abierto a todos los interesados. De esta manera se maximiza el valor de los datos mejorando la colaboración y productividad de los involucrados.

Un gran ejemplo de la mejora en los flujos de trabajo son aquellos planos en instalaciones hidrosanitarias. Uno de los participantes comentó que al enviar planos CAD a revisión, estos regresaban con muchas hojas llenas de comentarios de criterios que no cumplían. Esto debido a que era difícil visualizar todo el proyecto y obtener la información más actualizada a tiempo. Ahora con BIM la documentación que llega a un proceso de revisión por alguna municipalidad, regresa con pocos comentarios principalmente de artefactos que quizá ya no se utilicen o bien de alguna interferencia entre elementos.

#### b. Reducción de errores en etapa de construcción

Se logró identificar que uno de los mayores beneficios al adoptar BIM en los proyectos de ingeniería ha sido la reducción de errores en ejecución. Tanto el tamaño de los errores como la frecuencia se reduce en



gran medida, en especial en las instalaciones. Trabaja de forma colaborativa coordinando las especialidades en un solo modelo integrado permite analizar posibles interferencias entre disciplinas.

Con un método tradicional no es posible analizar los choques con la misma agilidad y resolverlos en la etapa de planificación. Esto puede significar atrasos en los tiempos previstos y sobrecostos en los proyectos. El modelo permite mitigar la complejidad de un proyecto en el cual es necesaria la colocación de tuberías o cables y reducir los errores al tener un plan de acción claro al llegar al sitio.

#### c. Ahorro de tiempo en etapa de construcción

Si bien BIM puede tomar mayor tiempo en la etapa de planificación al coordinar todas las disciplinas involucradas, este se compensa en la etapa de construcción. En la etapa de planificación se logra disminuir la incertidumbre y se gestionan los riesgos al trazar rutas claras de acción previas. Al tener toda la información analizada desde etapas previas es posible simular diferentes escenarios de personal, materiales, accesos al sitio, etc., que permitirán evitar paradas y tiempos muertos en la etapa de construcción.

Estar preparados para los posibles escenarios a encontrar en el sitio permite una mejor gestión de los recursos. Por otro lado, con un producto digital con un alto nivel de detalle se pueden desarrollar las piezas necesarias con información extraída del modelo permitiendo una fabricación y montaje más eficiente. Estos son solo unos aspectos del beneficio percibido por los profesionales sin embargo dependiendo de la disciplina a la que se aplique la metodología se puede ahorrar tiempo en la etapa de ejecución debido a una logística de transporte y maquinaria detalla, entre otros.

#### d. Ahorro de dinero

El ahorro de dinero en un proyecto puede provenir de muchas fuentes. Una de ellas es lograr una estimación de costes precisa. Otra fuente pueden ser los materiales, una cuantificación exacta y estrategias para reducir el desperdicio pueden impactar significativamente el presupuesto. Por otro lado, el recurso humano también representa un porcentaje importante en el presupuesto, al tener la posibilidad de reducir

En proyectos con muchas disciplinas interactuando es necesaria una coordinación de interferencias para evitar posibles conflictos en obra que pueden representar un sobrecosto significativo en los proyectos. Por otro lado, cada vez son más los incentivos de los gobiernos por invertir en el desarrollo tecnológico e innovación aumentando el beneficio económico de aplicar nuevas metodologías.

#### e. Menor tiempo en iteraciones en la etapa de diseño y diseños más eficientes y optimizados

La iteración de los diseños es un proceso que las herramientas de cálculo BIM facilitan. Trabajar con un proceso tradicional resulta inviable el analizar diferentes escenarios en el tiempo asignado para la planificación del proyecto. Sin embargo, al adoptar BIM es posible generar cálculos y simulaciones que permiten diseños más eficientes y optimizados sin sacrificar tanto el tiempo de generar las memorias de cálculos y reprocesos en la documentación.

### 3. Otros beneficios

#### a. Mejor visión integral del proyecto para la toma de decisiones

Un proyecto con un modelo integrado permite el panorama total en lugar de una perspectiva aislada por disciplina como se acostumbra en proyectos no BIM. De esta manera se evita la duplicidad de la información y redundancias en los procesos. La integración de los datos y centralización de la información permite trabajar de la forma más inteligente posible. Tener toda la información accesible brinda confianza al tomar una decisión y consecuentemente aumenta la posibilidad de encontrar la mejor solución.

#### b. Mejor visualización y comercialización del proyecto

A pesar de que la información gráfica y el modelo representan una parte de BIM, es importante mencionar que una interpretación tridimensional de los proyectos permite una mejor conceptualización del trabajo por realizar. En ocasiones los proyectos de ingeniería van dirigidos hacia clientes que no necesariamente tienen una base sobre las técnicas a aplicar. Al recrear el escenario con un modelo y simulaciones a través del tiempo, el cliente puede interpretar la envergadura de las actividades a realizar.

Desde una perspectiva comercial, los proyectos que adoptan BIM permiten a las empresas generar contenido publicitario más atractivo. Dejando de lado la complejidad del proyecto es más fácil comprenderlo con visualizaciones tridimensionales a diferencia de planos, elevaciones y secciones. Sin importar si se necesita comprender un elemento específico del proyecto o el impacto hacia entorno, el modelo facilita estas actividades.

## A. Barreras aparentes

### 1. Barreras de la implementación de una nueva tecnología

#### a. Desconocimiento de la metodología y sus beneficios

El mayor desafío percibido al adoptar BIM se debe al desconocimiento de la metodología y los beneficios que esta puede aportar a nuestros proyectos de ingeniería. En la Figura 7 se puede observar cómo en 10 años Reino Unido redujo la brecha del desconocimiento de la metodología de un 43% a un 1%. Por lo que a pesar de ser una barrera latente con la estrategia correcta en Guatemala y Latinoamérica se puede superar este obstáculo en una década o menos.

#### b. Fiabilidad de la información extraída del modelo

Al implementar nuevos procesos se debe definir un flujo de revisión de la información producida. Es importante cuidar la calidad de la información con la que se alimenta al modelo. Es por eso por lo que es necesario contar con un equipo BIM que audite el modelo y su información y un entrono común de datos. Los roles como los BIM Project Managers asumen la responsabilidad de gestionar los cambios y calidad del modelo y verificar que este se alinee a los criterios definidos anteriormente por el equipo. De esta manera se puede lograr una mayor fiabilidad de la información extraída del modelo.

Para apoyar la calidad de la información existen ciertas funciones en algunos entornos comunes de datos donde se pueden programar flujos de revisión y aprobación de archivos desde estos espacios. Para una correcta gestión de la información los miembros del equipo pueden guiarse por la norma ISO 19650 donde se describe que la información debe ser controlada, revisada y aprobada para hacer la transición de trabajo en proceso a compartido y de compartido a publicado.

#### c. Alto costo de implementación

Por otro lado, una de las barreras más escuchadas en publicaciones y por los profesionales que conocen la metodología es el alto costo de implementación. Adoptar BIM requiere de una inversión inicial en software, hardware y red de conexión que puede ser significativa para algunas empresas que no cuenten con un presupuesto suficiente de tecnología. Sin embargo, al cuantificar el valor económico de los beneficios de trabajar los proyectos con la metodología, se identificó que estos beneficios representan un valor de alrededor de un 10-15% para los proyectos. En ocasiones puede ser de aún más si se realiza una coordinación de especialidades a detalle, presupuestos de obra detallados y si se considera el ahorro en el recurso humano necesario para ejecutar el proyecto. También según estudios de mercado conducido por McGraw Hill Construction en el 2009, 72% de las empresas que miden su retorno de inversión al implementar BIM, han declarado un retorno positivo y proyectan que al aumentar su madurez BIM este retorno también incrementará (Young et al., 2009).

#### d. Curva de aprendizaje

La curva de aprendizaje es ese periodo de transición entre el momento que se toma la decisión de adoptar un nuevo proceso hasta el momento donde se perciben los beneficios y aumenta la productividad. Toda organización o profesional que desee ser competente debe mejorar sus conocimientos, habilidades y actitudes de forma sistemática. De esta manera se alcanza una optimización en los procesos, mejor gestión de los recursos y la innovación en los productos y servicios.

#### e. Resistencia al cambio

Holzer descubrió que la razón por la cual BIM se limita y no logra obtener sus verdaderos beneficios se debe al fallo en los procedimientos de colaboración. Esto se debe a que el nivel de colaboración que permite a la metodología beneficiar al proyecto va más allá de lo que se acostumbra en la industria. La mentalidad actual hace que los participantes pongan sus necesidades personales o de empresa ante las necesidades del proyecto. Esto entorpece el proceso y puede llegar a complicar la comunicación de información.

Un cambio de mentalidad acompañado de una cultura de colaboración donde el riesgo sea compartido y favorecer al proyecto sea la misión de todos, entonces sí se podrá lograr ese gran impacto que promete BIM. Buscar un acompañamiento o asesores en el tema puede ayudar a vencer la resistencia al cambio generada. También se debe tener en cuenta que hay personas que nunca se adaptarán, así como sucedió en la evolución de diseñar y documentar a mano hacia los procesos CAD.

f. Falta de recurso humano capacitado

La arquitectura fue la pionera de BIM, como resultado, son los arquitectos que han migrado a otras disciplinas fuera de estudios de arquitectura quienes realizan el trabajo de los ingenieros en algunos proyectos. A no ser ingenieros puede que existan criterios que no sean lo más adecuados arriesgando un desempeño deficiente del proyecto.

BIM genera mucha información como criterios, estándares y protocolos que ayudan a estandarizar sus procesos. No es necesario que todos los involucrados en el proyecto se hayan formado formalmente, la experiencia adquirida a través de la participación de proyectos y una base técnica sólida es suficiente para iniciar un proceso de implantación BIM. Los roles en proyectos BIM están bien definidos y guían a cada miembro del equipo hacia las responsabilidades que deben cumplir.

g. Falta de oferta académica en la región

A medida avanza la adopción de la metodología, incrementa la demanda de profesionales más especializados. La mayoría de los profesionales con experiencia se han formado en países europeos debido a la falta de oferta académica local. Los planes y hojas de ruta de implantación BIM en Latinoamérica consideran a la academia entre sus pilares porque saben la influencia que esta tiene en el desarrollo y aceptación de nuevos métodos.

Las empresas pueden orientar a mejorar procesos y el desarrollo de profesionales si tienen un contacto cercano con la academia. Es necesario una colaboración entre ambas entidades para lograr un mejor desarrollo y crear profesionales más competentes.

## 2. Barreras del flujo de trabajo y herramientas BIM

a. Mayor tiempo en etapa de planificación

En el flujo de trabajo BIM el modelo permite coordinar todas las especialidades y corregir posibles interferencias antes de pasar a la etapa de construcción. Esto hace que el proceso de planificación tome más tiempo debido a los rediseños y coordinación de disciplinas previo a la ejecución del proyecto. Si el modelo requiere un alto nivel de detalle también puede tomar más tiempo para modelar y documentar la información.

Una buena coordinación de disciplinas ahorra tiempo en obra y evita posibles problemas que pueden afectar el presupuesto del proyecto. Si se adopta la metodología BIM de forma correcta, el tiempo en la etapa de construcción logra compensar el tiempo en fase de planificación. Los proyectos analizados por el Centro de Ingeniería de la Universidad de Standford estimar una reducción de hasta el 7% del tiempo total del proyecto.

b. Tiempo alto de modelado de especialidades

Al modelar instalaciones se puede tener mucho espacio para el error. Es necesario que quien modele tenga conocimientos técnicos sobre la especialidad para aplicar su criterio y disminuir reprocesos. En la actualidad, en proyectos con instalaciones hidrosanitarias y eléctricas, quien modela no es necesariamente el

ingeniero que diseña. Al tener modificaciones en el diseño el modelador funciona como intermediario entre la información que le transfiere el ingeniero y su interpretación plasmada en el modelo.

El mercado actual tiene una oferta de herramientas de cálculo BIM como CYPECAD MEP, que integra todas las instalaciones mecánicas, eléctricas e hidrosanitarias, para ya no depender por completo de herramientas de modelado BIM como Revit. Con estas herramientas de cálculo no es necesario un intermediario como el modelador, el trabajo del ingeniero va directo al modelo. Al utilizar herramientas de cálculo BIM se puede lograr ahorros de tiempo en el modelado y documentación del diseño como memorias de cálculo y planos.

### 3. Barreras por desconocimiento de los actores involucrados en el proyecto

#### a. Reprocesos CAD a BIM

Al diseñar los ingenieros y arquitectos piensan en tres dimensiones, no es hasta que intentan simplificar sus ideas que las plasman en dos dimensiones. La mayoría de los profesionales aún ejecutan su información en 2D con plantas, secciones y elevaciones. Al compartir la información en 2D surge el reproceso de interpretar esos planos y traducirlos a 3D con la elaboración modelo.

Esta es una barrera que se presenta al combinar las dos metodologías, BIM con CAD. Si se utiliza correctamente la metodología BIM y todos los actores del proyecto diseñan desde herramientas BIM esta barrera se elimina por completo. Sin embargo, esta combinación de entregables sucede al evolucionar de forma incremental hacia procesos BIM.

Para aquellos participantes del proyecto que no utilizan BIM y sus entregables son planos 2D, esta transición les ayuda a aumentar sus competencias BIM y mejorar la coordinación y comunicación entre miembros del equipo. Formar parte de estos proyectos es común en regiones donde BIM aún se encuentra en una adopción temprana. La transición a un BIM colaborativo total es un proceso paulatino y la industria debe ser paciente para alcanzar ese nivel de madurez.

Sin embargo, los procesos BIM no consisten en replicar los procesos de CAD para una visualización en 3D. BIM impacta los procesos en las actividades relacionadas con todas las etapas del ciclo de vida del proyecto. Desde su planificación hasta su operación, incluyendo en sus procesos las nuevas posibilidades de tener un mejor control de los activos construidos al contener toda la información en un solo lugar.

#### b. Incongruencia en los requerimientos del cliente

Con frecuencia los clientes no conocen la metodología a fondo y sus exigencias del modelo para el proyecto no están alineadas con los alcances del proyecto. Al no conocer qué implica cada nivel de detalle o desarrollo se puede llegar a una sobreinversión BIM en los modelos. Este exceso de detalle puede llegar a interferir con los beneficios anteriormente identificados como ahorro de tiempo y de recurso humano para

una sobreinversión de la metodología y desgastando al personal. Esto se debe a que aún hay mucha ambigüedad sobre los servicios que puede aportar BIM para aquellos que no conocen la metodología.

Un ejemplo brindado por uno de los profesionales entrevistados fue el requerimiento de un modelo LOD 500 para la etapa de planificación. Un modelo LOD 500 no puede desarrollarse hasta finalizar la etapa de construcción. Otro ejemplo mencionado fue el requerimiento del modelado de todo el armado en LOD 400 de una estructura cuando el modelo solamente se necesitaba para visualizar el proyecto en el entorno y comprender su ubicación en el sitio. Para análisis de sitio y visualización no es necesario desarrollar un modelo con un nivel de desarrollo tan alto, con un LOD 200 es suficiente para representar geoméricamente el proyecto.

#### c. Falta de estándares locales

La norma ISO 19650 ha tomado popularidad para la gestión de información durante el ciclo de vida de los proyectos BIM. Países y región a través del mundo la utilizan como base para sus normas y regulaciones locales. No es necesario generar estándares locales para procurar que todos los miembros del equipo se apeguen a los mismos flujos de trabajo. El verdadero reto es promover un estándar que comprenda el contexto local y controlar su cumplimiento.

Reino Unido en sus intentos de apoyar a la región a implementar BIM bajo un mismo estándar publica el *UK BIM Framework*. Con la función de ayudar a profesionales y organizaciones interesadas en adoptar BIM a migrar sus procesos siguiendo los estándares internacionales de la norma ISO 19650. También existen referentes americanos como la Estrategia Nacional BIM de Costa Rica en la cual entre sus enfoques se encuentra desarrollar un marco regulatorio que primero fomente y luego obligue el uso de BIM bajo un Estándar Nacional BIM. O al Sur de América con el caso de la unión de los diferentes ministerios de Chile al crear Planbim para impulsar la implementación estandarizada y transversal de BIM.

## B. BIM hacia el futuro

Para realmente percibir los beneficios de BIM se debe dejar de comparar CAD con BIM. La metodología BIM te permite procesos que son prácticamente imposibles para herramientas que no son BIM. Se debe tener en mente las ventajas y valor agregado que se puede ofrecer a los clientes en lugar de seguir en una comparativa de procesos que solamente terminan en frustración y acortan la visión de las bondades que pueden obtenerse con BIM.

En la era digital actual cada vez existen más incentivos para promover la transformación digital en las diferentes industrias. En Colombia, según el artículo 256 de los estatutos tributarios vigentes para el año 2023, los contribuyentes; "...tendrán derecho a descontar el 30% del valor invertido en dichos proyectos en el periodo gravable en que se realizó la inversión.". Refiriéndose a proyectos de desarrollo tecnológico e innovación en los que actualmente ciertas empresas han calificado sus proyectos BIM para optar a este descuento. Este es un esfuerzo del Gobierno de Colombia para promover la investigación y desarrollo tecnológico.

Por otro lado, la metodología BIM cada vez es más común dentro de los requerimientos para obras públicas en la región latinoamericana. Es por esto que BIM tiene un mayor nivel de adopción en países con mandatos y políticas de sus gobiernos. Sin embargo, en países como Honduras, Chile, Panamá, España; que aún no han establecido algún mandato BIM, se impulsa su adopción ya que se ha convertido en un requerimiento para trabajar en grandes proyectos.

En Latinoamérica se tiene un buen manejo de diferentes herramientas y software BIM. La información es el pilar de la metodología y es por esto que los esfuerzos actualmente están enfocados en la generación de estándares BIM que permitan guiar a quienes adopten estos procesos en sus proyectos de ingeniería. En otras regiones del mundo, el empuje por generar mandatos que impulsen BIM es más fuerte debido a los compromisos medioambientales y metas específicas del interés del gobierno. No puede ignorarse que con la sexta dimensión de BIM se tendrá una revolución en los proyectos de construcción cuando en Latinoamérica se apliquen más que las dimensiones 3D, 4D y 5D.

BIM permite un nivel de colaboración global en el cual las fronteras se borran y los equipos de trabajo se diversifican cada vez más. Un proyecto puede destinarse para un sitio, con el alcance de la metodología BIM los profesionales que formen parte del equipo pueden encontrarse en cualquier parte del mundo. Es por esto que la colaboración entre profesionales de diferentes países llevará a una sola norma BIM obligatoria para todos, siendo el futuro del trabajo colaborativo global.

## VIII. CONCLUSIONES

1. Tras el análisis de los resultados, se logró describir los beneficios percibidos y barreras aparentes de la adopción de la metodología BIM en proyectos de ingeniería. Las barreras identificadas por la mayoría de los profesionales se relacionan a las de cualquier cambio de procesos o adopción de nuevas tecnologías. Para vencerlas se debe tener paciencia ya que las regiones con un nivel de adopción más alto llevan al menos una década migrando hacia estos nuevos procesos.
2. El costo de implantación BIM para una empresa se amortiza con los beneficios de ahorro de tiempo, dinero y atracción de nuevos clientes que requieren trabajar con la metodología como el caso de megaproyectos o proyectos de obras públicas. Esto debido a que en la actualidad sí es posible monetizar el valor de BIM en los proyectos y el mercado de BIM es global.
3. Como se pudo comprobar se logró identificar los desafíos a vencer al adoptar la metodología BIM en proyectos de ingeniería que fueron la falta de recurso local calificado, desconocimiento de los beneficios BIM, la resistencia al cambio y los reprocesos de CAD a BIM que representan un desgaste. Hay varias formas de iniciar una implementación BIM en los proyectos, puede ser mediante una reforma incentiva o mandato del gobierno que permita impulsar la necesidad de adoptar la metodología BIM en nuevos proyectos. Mediante esta medida también es posible incentivar la elaboración de estándares locales que permitan a todos los actores alinearse en el proyecto. Pero en países como Latinoamérica el empuje de la iniciativa privada y la academia es un factor determinante. La academia y la iniciativa privada se alinearán al aumentar la demanda de profesionales que conozcan la metodología reduciendo la curva de aprendizaje y reprocesos.
4. Los factores por considerar para una implementación exitosa de la metodología BIM en proyectos de ingeniería se enfocan en su mayor parte en el recurso humano. Desde las barreras hasta los beneficios, el factor clave para lograrlo es convencer a los profesionales a dejar de lado el método tradicional para experimentar cómo la metodología BIM les beneficia en sus subdisciplinas. Se debe motivar a los nuevos profesionales a reconocer las bondades de BIM y lograr el cambio generacional de la industria de la construcción.
5. La metodología BIM abarca el ciclo de vida completo del proyecto y con sus diversas dimensiones logra agregar valor en cada una de las etapas. Los procesos BIM no deben confundirse solo con modelar ya que el pilar de la metodología es la información y su uso más allá de la etapa constructiva. En las diferentes dimensiones BIM no solo podemos planificar y diseñar un proyecto sino que también nos permite llevar la trazabilidad al registrar los cambios en la etapa de construcción para terminar el proceso con información lista para la operación y mantenimiento del activo construido.



## IX. RECOMENDACIONES

1. A estudiantes de la industria AEC que desean dar seguimiento a este trabajo: aplicar los conocimientos expuestos en esta investigación para formular una propuesta de implementación BIM promoviendo los beneficios y adelantando un plan de acción para cada barrera identificada.
2. A todos los estudiantes de carreras afines a la construcción: conocer la metodología BIM e iniciar a formarse en el uso de herramientas BIM que les permita generar un perfil competitivo en la nueva era de la industria de la construcción.
3. A profesionales de la industria AEC el mercado está madurando en su uso de la metodología BIM, cada vez son más las empresas que buscan perfiles de profesionales con conocimientos BIM alrededor del mundo. Para mantenerse relevantes y competitivos en el mercado es necesario formarse e impulsar la implementación de la metodología y sus herramientas en sus lugares de trabajo ya que su nivel de colaboración global abre la oportunidad de participar en proyectos sin importar su ubicación.
4. A la academia promover en sus programas académicos de ingeniería y arquitectura, desde el nivel de licenciatura, la metodología BIM y sus herramientas. Así como posgrados y maestrías que permitan a los profesionales actuales entender los beneficios de la metodología BIM en diferentes tipos de proyecto y disciplinas de la ingeniería y permita romper las barreras al adoptar la metodología en sus organizaciones o proyectos.
5. Al sector público redactar estándares BIM nacionales o municipales que promueva el uso de la metodología de manera que permita el uso del modelo en entidades gubernamentales para verificar cumplimiento de normativa: POTs, PLOTs, NRD, CONADI, reglamentos de construcción y trámite de licencias de obra nuevas entre otros. Considero que las instituciones públicas pueden buscar para este tipo de proyectos financiamiento por medio de BID y USAID quienes hoy como parte de sus licitaciones piden el uso de BIM en el proyecto porque han experimentado sus beneficios.
6. Al sector privado y empresas de construcción a futuro, según la tendencia de la industria en otros países de Latinoamérica y el mundo, BIM se convertirá en un requisito para participar en proyectos de obras públicas y megaproyectos. Es necesario iniciar la transición a BIM y asesorarse correctamente para reducir la fricción al adoptar la metodología BIM en sus proyectos entendiendo sus bondades y el valor agregado que puede ofrecerle al cliente.
7. A proveedores de software BIM enfocándose en las universidades buscar alianzas con universidades que permitan mostrar las bondades de la metodología con el uso de herramientas y software BIM para complementar los conocimientos teóricos impartidos en clases de diseño estructural, diseño de

instalaciones, gestión de proyectos, entre otros; como estrategia para fomentar la adopción de la metodología desde las nuevas generaciones y reducir la curva de aprendizaje al migrar hacia el ámbito profesional.

8. A proveedores de software BIM enfocándose en profesionales de la industria AEC capacitar a profesionales sobre sus soluciones de software BIM como estrategia para luego implementar la metodología a proyectos u organizaciones con estas herramientas y softwares.
9. A las Cámaras de Construcción, Colegio de Arquitectos, Colegio de Ingenieros y otros gremios proponer espacios enfocados en la comprensión de alcances de la metodología, sus dimensiones y usos para reducir la brecha de conocimiento entre usuarios BIM y usuarios no BIM. Es importante que todos los actores de la industria de la construcción estén alineados sobre lo que es y no es la metodología para reducir incongruencias en los requerimientos de modelos y aplicaciones de BIM.

## X. BIBLIOGRAFÍA

### Literatura citada

- Antonopoulou, S. (2017). *BIM for Heritage: Developing a Historic Building Information Model*. Swindon, Inglaterra: Historic England.
- Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. *Leadership and Management in Engineering*, 11(3), 229-290.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LM.1943-5630.0000127](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127)
- Cárdenas, M. (2016). *Incorporación de Metodología BIM en la Gestión Integrada de Proyectos* [Tesis de maestría, Universidad Europea]. [https://bimchannel.net/wp-content/uploads/2017/01/201701\\_TFM\\_Margarita-C%C3%A1rdenas.pdf](https://bimchannel.net/wp-content/uploads/2017/01/201701_TFM_Margarita-C%C3%A1rdenas.pdf)
- Cucul, K. (2021). *Análisis de la implementación de la metodología BIM durante las fases de costos y tiempo para la construcción de un complejo de apartamentos* [Tesis de pregrado, Universidad del Valle de Guatemala]. Repositorio Universidad del Valle de Guatemala  
[https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/4000/TG\\_CUCUL\\_KATHERIN%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uvg.edu.gt/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/handle/123456789/4000/TG_CUCUL_KATHERIN%20%282%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Das, B. M., & González, S. R. C. (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Cengage Learning.
- Flórez, M. & García, C. (2018). *Propuesta de un estándar para implementar la metodología BIM en obras de edificación financiadas con recursos públicos en Colombia* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Universidad Javeriana  
<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/40875/Documento.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Galiano, A. & Kouider, T. (eds.). (2016, 14 de mayo). *Healthy Buildings: Innovation, Design & Technology, ICAT 2016* [Conferencia]. 6th International Congress of Architectural Technology, Alicante, España. ISBN 978-84-16724-10-9, pp. 193-209
- Harper, G. (2003). *Manual de instalaciones electromecánicas en casas y edificios*. Editorial LIMUSA. ISBN 968-18-5874-3
- Harper, G. (2005). *El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales*. Editorial LIMUSA. ISBN 968-18-1759-1
- Holzer, D. (2011). BIM's seven deadly sins. *International Journal of Architectural Computing* 9(4), 464-480
- Lacaze, L. (2020). *Encuesta BIM América Latina y El Caribe 2020*. Banco Interamericano de Desarrollo.  
<https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/Encuesta-BIM-America-Latina-y-el-Caribe-2020.pdf>
- Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., Leich, R., Saluja, C. & Zikic, N. (2019). *BIM Project Execution Planning Guide, Version 2.2*. Computer Integrated Construction Research Program, The Pennsylvania State University, PA, USA. <http://bim.psu.edu/>
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica [MIDEPLAN]. (2022). *Hoja de Ruta para la adopción de BIM en Costa Rica*. MIDEPLAN. ISBN 978-9977-73-226-8
- Monfort, C., & Vidal, F. J. (2015). *Impacto del BIM en la Gestión del Proyecto y la obra de arquitectura*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.

National Building Specification [NBS]. (2020). *10<sup>th</sup> Annual BIM Report*.  
<https://architecturaltechnology.com/static/3f388415-32f9-408d-85cc2c1adfl3d012/TheNBSBIMReport2020.pdf>

National Institute of Building Sciences. (2011). *National BIM Standard-United States Version 2: Overview, Principles, and Methodologies*. National Institute of Building Sciences.

Pérez, R. (2015). *Instalaciones hidrosanitarias, de gas y aprovechamiento de aguas lluvias en edificaciones*. (7<sup>a</sup> ed.) Ecoe Ediciones. ISBN 978-958-771-195-0

Soto, C. (2017). Mandato BIM en Chile [Charla]. ENASUM Santa Cruz, Chile.  
[https://cchc.cl/uploads/evento/archivos/Plan\\_BIM-Carolina\\_Soto.pdf](https://cchc.cl/uploads/evento/archivos/Plan_BIM-Carolina_Soto.pdf)

Young, N., Jones, S., Bernstein, H., & Gudgel, J. (2009). *SmartMarket Report: The Business Value of BIM*. McGraw-Hill Construction. ISBN 978-1-934926-26-0

### Enlaces web y archivos multimedia

Álvarez, G. (2019). Avance e implementación de BIM caso Centroamérica.  
<https://www.geofumadas.com/avance-e-implementacion-de-bim-caso-centroamerica/>

Arriaga, G. (2020). *Diseño y construcción de edificios en acero*. <https://acerosarq.com/disenio-y-construccion-de-edificios-en-acero/>

Bastidas, L. (2019). Usos y recomendaciones de las estructuras de concreto.  
<https://medium.com/@2520171108/usos-y-recomendaciones-de-las-estructuras-en-concreto-52be0c61a2e6>

Boeykens, S. (2022). *What is LOD, or Level of Detail?*. <https://www.engineering.com/story/what-is-lod-or-level-of-detail>

buildingSMART. (2015). *¿Qué es BIM?*. <https://www.buildingsmart.es/bim/>

Cámara Colombiana de Construcción [CAMACOL]. (2021). *BIM Kit*. <https://camacol.co/productividad-sectorial/digitalizacion/bim-forum/bim-kit>

Centre for Digital Built Britain [CDBB]. (2022). *Our Work: The UK BIM Framework*.  
<https://www.cdbb.cam.ac.uk/what-we-did>

Dalaison, W., Barrios, J., Henriquez, P., Lacaze, L. & Tala, N. (2022). El Salvador avanza en el uso de Building Information Modelling: cuatro lecciones para la región.  
<https://blogs.iadb.org/innovacion/es/el-salvador-avanza-en-el-uso-de-bim/>

Esarte, A. (2020). CDE, ¿qué es un CDE o Common Data Environment?. <https://www.espaciobim.com/cde>

Ferrovial. (2021). *Qué es un proyecto de obra civil y cómo se desarrolla*.  
<https://www.ferrovial.com/es/recursos/obra-civil/>

Giménez, M. (2019). *Qué es BIM o Modelado de Información de Construcción*.  
<https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/que-es-bim-construccion/>

Gutiérrez, P. (2018). *Nuestro rol en el trabajo y la importancia de tener claro lo que debemos hacer*.  
<https://www.ucsc.cl/comunicacion-interna/nuestro-rol-en-el-trabajo-y-la-importancia-de-tener-claro-lo-que-debemos-hacer/>

Hamil, S. (2021). *What is BIM?*. <https://www.thenbs.com/knowledge/what-is-building-information-modelling-bim>

- Kemp, A. [BSI Group] (1 de abril de 2019). *ISO 19650 Webinar* [Archivo de Video]. YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=mVsy\\_ycUD1Q&t=5s](https://www.youtube.com/watch?v=mVsy_ycUD1Q&t=5s)
- Kramer, N. (2021). *En Honduras se desarrolla con BIM la fábrica de ropa deportiva más importante del hemisferio occidental*. <https://blogs.autodesk.com/latam/2021/11/15/en-honduras-se-desarrolla-con-bim-la-fabrica-de-ropa-deportiva-mas-importante-del-hemisferio-occidental/>
- MacPartland, R. (2014). *BIM Levels Explained*. <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-explained>
- Meloni, E. (2021). *La rivoluzione digitale dell'edilizia: il BIM o Building Information Modeling*. <https://www.infobuild.it/approfondimenti/bim-rivoluzione-digitale-edilizia-building-information-modeling/>
- Monroy, A. (2018). *Ingeniería civil estructural*. <https://cmicac.com/2018/12/04/ingenieria-civil-estructural/>
- Monterroso, A. (2021). *El futuro de BIM*. <https://blog.structuralia.com/el-futuro-del-bim>
- Mordue, S. (2015). *BIM Levels of Information*. <https://www.thenbs.com/knowledge/bim-levels-of-information>
- Ortega, B. (2017). Roles y responsabilidades en un proyecto BIM. <https://www.espaciobim.com/roles-bim>
- Payne, T. (2015). *Levels of Definition Explained*. <https://www.theblm.com/video/levels-of-definition-explained>
- Sánchez, A. (2016). *LOD o Nivel de desarrollo BIM, ¿qué significa LOD?*. <https://www.espaciobim.com/lod>
- Sisternes, A. (2022). *Las nuevas dimensiones BIM 8, 9 y 10*. <https://retokommerling.com/dimensiones-bim-8-9-10/>
- Sisternes, A. (2023). *Nivel de Desarrollo (LOD) en BIM: ¿Qué es y por qué es importante?*. <https://retokommerling.com/nivel-desarrollo-lod-bim/>
- Structuralia, (2018). *Aplicaciones de la metodología BIM en ingeniería*. <https://blog.structuralia.com/aplicaciones-de-la-metodologia-bim-en-ingenieria>
- Structuralia, (2022). *Panorama BIM en Colombia*. <https://blog.structuralia.com/bim-colombia>
- Vitorino, P. (2020). *Integrated Project Delivery: ¿Qué es y qué beneficios ofrece?*. <https://konstruedu.com/es/blog/integrated-project-delivery-que-es-y-que-beneficios-ofrece>
- Zigurat (2021). *BIM (LOD) 100 – 500 no ciclo de vida do projeto de construc*

## XI. APÉNDICE

### Apéndice 1. Preguntas entrevistas

#### Demográfico

1. ¿Cuál es su profesión?
2. Edad Generales
3. ¿Cómo se formó/capacitó en el uso de la metodología BIM?
4. ¿Ha participado en algún proyecto BIM?
5. ¿Cuántos?
6. Disciplina(s) de la ingeniería en la que ha participado en proyectos BIM
7. Países en los que ha participado en proyectos BIM
8. Año en el que participó en el proyecto (si es más de uno, al menos fecha del primer proyecto y el más reciente)

#### Proyectos BIM

9. ¿Cuál fue el tipo de proyecto en el que participó?
10. ¿Cuál fue su rol en el proyecto?
11. ¿Cuál fue la motivación por la cual trabajó con la metodología?
12. ¿Cuáles fueron los beneficios que percibió al adoptar la metodología BIM en estos proyectos?
13. ¿Podría estimar el valor económico de alguno de estos beneficios? Ya sea una cifra o un porcentaje del valor del proyecto.
14. ¿Cuáles fueron los desafíos a vencer al adoptar la metodología BIM en estos proyectos?
15. ¿Cómo superaron estos desafíos?
16. ¿Cree que hay algún proceso o función, en un proyecto de ingeniería, donde el uso de la metodología BIM no sea más eficiente o adecuada que el uso de una metodología tradicional?
17. ¿Volvería a trabajar en un proyecto de ingeniería aplicando la metodología BIM?
18. ¿Cómo considera se proyectará el uso de BIM en los siguientes 3 años en proyectos de ingeniería?

### Apéndice 2. Roles y responsabilidades BIM

Rol	Responsabilidades	Fuente
Cliente	Define los alcances del proyecto, especifica los objetivos BIM del proyecto y financia el proyecto.	<a href="http://blog.entornobim.org/perfiles-roles-bim/">http://blog.entornobim.org/perfiles-roles-bim/</a>
BIM Project Manager	Lidera el equipo de proyecto para alcanzar los objetivos y cumplir las expectativas del cliente. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestiona los recursos asignados al proyecto</li> <li>• Gestiona el modelo, sus cambios y su calidad.</li> <li>• Asiste a reuniones con los diferentes equipos de diseño, construcción y el cliente.</li> </ul>	<a href="https://www.bimnd.es/titulos-profesionales-bim-perfiles-responsabilidades-competencias-mas-demandadas/">https://www.bimnd.es/titulos-profesionales-bim-perfiles-responsabilidades-competencias-mas-demandadas/</a>  <a href="https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/roles-en-procesos-bim#:~:text=Estas%20so">https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/roles-en-procesos-bim#:~:text=Estas%20so</a>

<b>Rol</b>	<b>Responsabilidades</b>	<b>Fuente</b>
BIM Project Manager	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Garantiza la interoperabilidad.</li> <li>• Aplica los flujos de trabajo en los proyectos.</li> <li>• Propone y coordina el cumplimiento del BEP</li> <li>• Da seguimiento e informa el progreso y estado del proyecto.</li> </ul>	%20sus%20funciones%20y, desarrollado%20por%20el%20BIM %20Manager).
BIM Information Manager	<p>Gestiona y controla el flujo de información de todos los agentes del proyecto durante el ciclo de vida completo del proyecto.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestiona la transmisión de información con el cliente.</li> <li>• Crea, desarrolla y gestiona el CDE.</li> <li>• Genera los estándares y normas a seguir.</li> <li>• Elabora y actualiza protocolos BIM.</li> <li>• Redacta especificaciones de información.</li> </ul>	
BIM Manager	<p>Supervisa la implementación BIM y la tecnología relacionada a esta dentro de la organización.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestiona las licencias del software necesario.</li> <li>• Investiga nuevas herramientas BIM.</li> <li>• Organiza e informa sobre las buenas prácticas en BIM.</li> <li>• Busca mejoras de eficiencia y productividad en los procesos BIM.</li> <li>• Provee capacitaciones para equipo interno.</li> <li>• Atienda a conferencias y seminarios en nombre de la empresa para permear la información internamente.</li> </ul>	<a href="https://rebim.io/bim-specialists-roles-and-responsibilities-in-the-aec-industry/">https://rebim.io/bim-specialists-roles-and-responsibilities-in-the-aec-industry/</a>
BIM Quality Manager	Responsable de la gestión global de la calidad de la metodología BIM en el proyecto.	<a href="https://www.openproject.org/blog/bim-roles/">https://www.openproject.org/blog/bim-roles/</a>
Facility Manager	Asegura el buen funcionamiento y mantenimiento de todos los servicios satisfaciendo las necesidades de todos de manera eficiente.	<a href="https://www.bimnd.es/titulos-profesionales-bim-perfiles-responsabilidades-competencias-mas-demandadas/">https://www.bimnd.es/titulos-profesionales-bim-perfiles-responsabilidades-competencias-mas-demandadas/</a>

<b>Rol</b>	<b>Responsabilidades</b>	<b>Fuente</b>
BIM Lead Designer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Firma y aprueba la documentación para la coordinación de diseño.</li> <li>• Administra el diseño.</li> <li>• Aprueba la información y los resultados del equipo de diseño.</li> </ul>	<a href="http://blog.entornobim.org/perfil-es-roles-bim/">http://blog.entornobim.org/perfil-es-roles-bim/</a>
BIM Lead Construction	<p>Enlaza a la dirección ejecutiva de la obra con el ámbito BIM.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Firma y aprueba la documentación para la coordinación de ejecución.</li> <li>• Administra la ejecución.</li> <li>• Aprueba la información y los resultados del equipo de construcción.</li> </ul>	<a href="https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/roles-en-procesos-bim#:~:text=Estas%20son%20sus%20funciones%20y,desarrollado%20por%20el%20BIM%20Manager).">https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/roles-en-procesos-bim#:~:text=Estas%20son%20sus%20funciones%20y,desarrollado%20por%20el%20BIM%20Manager).</a>
Task Team Manager	Responsable de la producción del diseño y los elementos relacionados a una tarea específica.	<a href="https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/roles-en-procesos-bim#:~:text=Estas%20son%20sus%20funciones%20y,desarrollado%20por%20el%20BIM%20Manager).">https://www.leanconstructionmexico.com.mx/post/roles-en-procesos-bim#:~:text=Estas%20son%20sus%20funciones%20y,desarrollado%20por%20el%20BIM%20Manager).</a>
Coordinador BIM	<p>Responsable del flujo de trabajo BIM y de garantizar que cualquier problema potencial durante el modelado, la detección de conflictos y la conversión de datos se trate de manera eficiente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Usa las herramientas BIM de manera competente y provee apoyo técnico al equipo.</li> <li>• Entiende y se asegura que todo cambio en procesos y estándares se comuniquen a los equipos de proyecto.</li> <li>• Enlaza los modelos y coordina las diferentes disciplinas.</li> <li>• Daily model management administration and maintenance.</li> <li>• Entiende y ejecuta los estándares implementados en la fase de diseño y construcción.</li> </ul>	<a href="https://rebim.io/bim-specialists-roles-and-responsibilities-in-the-aec-industry/">https://rebim.io/bim-specialists-roles-and-responsibilities-in-the-aec-industry/</a>
Modelador BIM	<p>Genera el modelo BIM para una disciplina en específico.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verifica que el modelo se alinee a los estándares en el BEP.</li> <li>• Colabora con otros de forma interna o externa.</li> </ul>	<a href="https://rebim.io/bim-specialists-roles-and-responsibilities-in-the-aec-industry/">https://rebim.io/bim-specialists-roles-and-responsibilities-in-the-aec-industry/</a>



<b>Rol</b>	<b>Responsabilidades</b>	<b>Fuente</b>
Modelador BIM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modela contenido BIM específico de las diferentes disciplinas.</li> <li>• Genera y coordina documentación del diseño utilizando herramientas y softwares BIM.</li> </ul>	<a href="https://rebim.io/bim-specialists-roles-and-responsibilities-in-the-aec-industry/">https://rebim.io/bim-specialists-roles-and-responsibilities-in-the-aec-industry/</a>
Analista BIM	<p>Realiza análisis y simulaciones basadas en el modelo BIM.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Analiza el funcionamiento y rendimiento del edificio.</li> <li>• Simula circulaciones.</li> <li>• Analiza el comportamiento energético.</li> <li>• Analiza la seguridad.</li> </ul>	<a href="https://www.espaciobim.com/roles-bim">https://www.espaciobim.com/roles-bim</a>
Programador de aplicaciones BIM	Desarrolla y personaliza el software para apoyar la integración de procesos BIM.	<a href="https://www.espaciobim.com/roles-bim">https://www.espaciobim.com/roles-bim</a>
Especialista IFC	Mapea los requisitos de cambios Trabaja con coordinadores BIM Familiarizado con estructura de datos	
Facilitador BIM	Apoya con la visualización de la información del modelo. Se comunica con los contratistas Extrae información de los modelos.	<a href="https://www.espaciobim.com/roles-procesos-bim">https://www.espaciobim.com/roles-procesos-bim</a>
Consultor BIM	<p>Vincula la metodología BIM en el ámbito estratégico, funcional y operativo de la organización mediante asesorías.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Busca soluciones para implementar nuevos usos de BIM.</li> <li>• Dirige estudios de viabilidad y prototipos para evaluar futuras implementaciones.</li> <li>• Traduce las necesidades de la empresa al lenguaje BIM.</li> <li>• Redacta un plan estratégico de implementación BIM.</li> <li>• Se coordina con el BIM Manager para alcanzar los objetivos.</li> </ul>	<a href="https://www.bimnd.es/titulos-profesionales-bim-perfiles-responsabilidades-competencias-mas-demandadas/">https://www.bimnd.es/titulos-profesionales-bim-perfiles-responsabilidades-competencias-mas-demandadas/</a>
Investigador BIM	Diseña, coordina y desarrolla la investigación BIM	<a href="https://www.espaciobim.com/roles-procesos-bim">https://www.espaciobim.com/roles-procesos-bim</a>
CAD Manager	Garantiza que los modelos CAD se integran en el proyecto utilizando los estándares y métodos acordados	<a href="https://www.espaciobim.com/roles-procesos-bim">https://www.espaciobim.com/roles-procesos-bim</a>
CAD Coordinator	Coordina el proyecto CAD, acordando “estándares y métodos” y garantiza su cumplimiento.	<a href="https://www.espaciobim.com/roles-procesos-bim">https://www.espaciobim.com/roles-procesos-bim</a>