

Maestría en Ingeniería Civil

Guía de lineamientos para la implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling/Management) aplicable en el desarrollo de infraestructura longitudinal de modalidades Asociación Publico Privada – APP y Obra Pública en Colombia.

Julián Enrique Gómez Carreño

Bogotá, D.C., 30 de junio de 2020



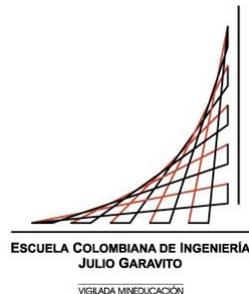
**Guía de lineamientos para la implementación de la metodología
BIM (Building Information Modeling/Management) aplicable en el
desarrollo de infraestructura longitudinal de modalidades
Asociación Publico Privada – APP y Obra Pública en Colombia.**

**Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil, con
énfasis en Tránsito y Transporte.**

Alejandro García Cadena

Director

Bogotá, D.C., 30 de junio de 2020



La tesis de maestría titulada “Guía de lineamientos para la implementación de la metodología BIM (Building Information Modeling/Management) aplicable en el desarrollo de infraestructura longitudinal de modalidades Asociación Publico Privada – APP y Obra Pública en Colombia.”, presentada por Julián Enrique Gómez Carreño, cumple con los requisitos establecidos para optar al título de Magister en Ingeniería Civil con énfasis en Tránsito y Transporte.



Alejandro García Cadena
Director de la tesis



Santiago Henao Pérez
Jurado 1



Maritza Cecilia Villamizar Roper
Jurado 2

Bogotá, D.C., 15 de 07 de 2021 (fecha de aceptación del trabajo por parte del jurado)

Dedicatoria

A mis padres: Luis Enrique Gómez Gil y Alba Yulieth Carreño Orduz y a mi tía Martha Isabel Rodríguez Gil quienes, con su apoyo, gran esfuerzo y motivación lograron y logran que me motive y son mi motor para impulsarme, crecer personal y profesionalmente y así ser cada día una mejor persona y un excelente profesional. Cada uno de los logros que obtenga producto de sus enormes esfuerzos son exclusivamente de y para ellos.

Agradecimientos

Especialmente agradecido con la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, por brindarme la oportunidad y el apoyo necesario para explorar este tema, poderlo exponer y poder plantear posibles soluciones a determinadas problemáticas en la sociedad. Al ingeniero Alejandro García Cadena quien me motivó y me inspiró para trabajar en el tema general del presente documento el BIM y muy amablemente me brindó sus conocimientos, vinculación con documentación vital para el presente trabajo y la dirección amable y continua en el desarrollo del mismo, a los ingenieros Maritza Cecilia Villamizar y Santiago Hénao Pérez que cuando requerí de sus consejos y apoyo me los brindaron con la mayor amabilidad posible. A la Empresa Metro de Bogotá quien me ha dado la oportunidad enorme de expandir mi experiencia y conocimientos en el BIM aplicables a los proyectos a su cargo. Al ingeniero Ronald Araque Hernandez quien me ha guiado para el uso de las herramientas usadas aquí.

A mis amigos del alma Santiago González, Andrey Alvarado y a mi novia Ángela Guerra, quienes siempre me dieron apoyo, me aconsejaron cuando lo requerí y siempre me alentaron a seguir adelante, a no rendirme y sobre todo a sentirme tan grande como quisiera ser.

Resumen

Si el principio básico de la ingeniería es, brindar soluciones integrales para la sociedad, se puede plantear la siguiente pregunta: ¿BIM en Colombia, la metodología que necesita la nación para desarrollar la industria nacional y disminuir la Influencia de la corrupción en proyectos de infraestructura vial?

Desafortunadamente a Colombia la corrupción le ha generado no solo considerables sobrecostos, sino que además Transparencia por Colombia logró determinar que la corrupción en el sector público se concentra en contratación al cual pertenecen la mayoría de las obras de infraestructura vial del país. El alto nivel de corrupción y la baja percepción que tiene la población acerca de la transparencia se evidencia en el puesto que ocupa el país – 99 – entre las 181 naciones que Transparency International mide anualmente.

A nivel mundial se está implementando la metodología BIM cuya base teórica se fundamenta en usar herramientas tecnológicas, trabajo interdisciplinario y colaborativo y flujos de trabajo puntuales y eficientes, claramente esto motiva e impulsa la explotación e integración de los *softwares* vigentes en algunas de las áreas de tránsito y transporte basado en 3 pilares fundamentales que son: la transparencia en procesos en la evaluación, ejecución y control de proyectos; colaboración entre las distintas entidades que influyen directamente en la implementación y control; y la integralidad.

La implementación y regulación de esta metodología, que ha demostrado su éxito a nivel internacional en términos de mejores índices de transparencia, proyectaría al país a ser uno de los más competitivos de la región ya que disminuiría la intervención de empresas extranjeras que actualmente hacen uso de esta metodología para la ejecución de *mega obras* como las vías 4G y el más reciente *mega* proyecto el Metro de Bogotá.

El escenario actual de Colombia podría no ser el más ideal, aunque existen empresas que han adaptado la metodología BIM, la mayoría se centran en construcción vertical, además de los pocos profesionales que cuentan con el conocimiento de la metodología y lo nuevo de la misma en el país, hacen que sea un reto enorme pero ambicioso el poder repuntar la producción del país y lograr disminuir al tiempo la percepción de corrupción que desafortunadamente se ha marcado en el país.

Como solución a lo anterior se propone el aumento del control en las etapas de prefactibilidad, ejecución y operación de proyectos en modalidades APP's u Obras Públicas para infraestructura longitudinal mediante la implementación de la metodología BIM.

Abstract

The main objective of the engineering is to provide integral solutions for the society, so the following question can be asked: Is BIM the methodology needed in Colombia to improve the national industry and reduce the corruption influence on vial infrastructure projects? sector público

Unfortunately for Colombia, the corruption has generated not only considerable cost overruns, but also has been determined by Trasporencia por Colombia that the corruption in the public sector is focused in contracting, to which most of the infrastructure projects belong to. The high corruption level and the low perception of transparency that the people feels is evidenced in Colombia's ranking – 99 – out of 181 nations that Transparency International measures.

Worlwide is being implemented the BIM methodology whose basis is founded in using techonological tolos, interdisciplinary and collaborative work and specific and efficient workflows, this basis motivate and drives the usage and integration of current software in some transit and transportation áreas based on 3 main pillars which are: transparency on evaluation processes; Project control and execution; collaboration between the entities that are directly involved on the implementation and control; and comprehensiveness.

The implementation and adjustment of this methodology, that has demonstrated it's international succes in better transparency indexes terms, would rocket Colombia to be one of the most competitive countries on the region, improving in a lower foreign enterprises intervention that nowadays uses this methodology to execute the bigger projects like 4G highways and the newest and biggest Project the Bogotá Metro.

It's true that te actual scenario of Colombia is not te better one, even there some enterprises that had adopted the BIM methodology, but most of them are focused on buildings, also there are not enough professionals that knows this methodology and the newest of itself makes this become into a hughe but ambitious challenge to rocket the country's production and at the same time lower the popoulation's corruption perception that unfortunately have marked the country.

As solution to the exposed is proposed to increase the control in the pre-feasibility, execution and operation stages on Public Works or PPA's projects for infrastructure through BIM methodology implementation.

Índice General

	Pág.
1. Introducción	15
2. Árbol de problemas	17
3. Objetivos	18
3.1. Objetivo General	18
3.2. Objetivos Específicos	18
4. Metodología	19
5. Sección 1 – Marco conceptual	20
5.1. BIM, generalidades	20
5.2. BIM a nivel internacional	22
5.2.1. Europa	24
5.2.1.1. Reino Unido.....	25
5.2.1.2. Países Escandinavos	26
5.2.2. Asia.....	26
5.2.2.1. Hong Kong.	27
5.2.2.2. Singapur.....	27
5.2.3. América	28
5.2.3.1. América del Norte.....	29
5.2.3.2. Latinoamérica.....	32
5.3. Estandarización y normatividad vigente	34
6. Sección 2 – Colombia y el BIM	39
7. Sección 3 – Guía para la implementación de la metodología BIM	55

7.1.	Antecedentes y preliminares	60
7.1.1.	BIM: ¿Qué es?.....	60
7.1.2.	Ventajas del BIM.....	61
7.1.3.	Niveles de madurez	62
7.1.4.	LOD – Niveles de detalle/desarrollo	64
7.1.5.	Roles	68
7.1.6.	Software	69
7.1.6.1.	Arquitectura e ingeniería de la construcción.	69
7.1.6.2.	Diseño de infraestructura.....	70
7.1.6.3.	Planificación 4D.....	71
7.1.6.4.	Control de costos 5D.	72
7.1.6.5.	Visores de modelos	72
7.1.6.6.	Gestión documental y CDE.....	73
7.2.	Procedimiento	74
7.2.1.	Objetivos.....	75
7.2.2.	Generación de modelos.....	77
7.2.3.	Revisión y coordinación.....	77
7.2.4.	Entregables	78
8.	Sección 4 – Conclusiones y recomendaciones	80
9.	Bibliografía.....	86
10.	Anexos	94

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Niveles de madurez BIM	63
Tabla 2. Definición de LOD	64

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Árbol de problemas.	17
Figura 2. Dimensiones en proyectos metodología BIM.	20
Figura 3. Comparativa Estilo tradicional Vs. Trabajo colaborativo BIM.	21
Figura 4. Línea del tiempo orígenes BIM.	22
Figura 5. BIM en el mundo	23
Figura 6. Estado BIM en Latinoamérica.	29
Figura 7. Nivel de adopción BIM en Norte América.....	30
Figura 8. Adopción BIM por profesionales y tamaño de la Empresa.....	31
Figura 9. Diagrama del marco estratégico para los planes de implantación.	34
Figura 10. Flujograma propuesto por la ISO 19650-2 para gestión de la información.....	36
Figura 11. Mapa de procesos EMB.	46
Figura 12. Estrategia BIM IDU.....	48
Figura 13. Concepto de CDE aplicado en IDU.	50
Figura 14. Casos de éxito IDU.	50
Figura 15. Modelo BIM ganador del premio para el EDU.....	51
Figura 16. Temporalidad Estrategia Nacional BIM.	52
Figura 17. Rangos de medición Transparency International.	53
Figura 18. Listado de posibles usos BIM.....	57
Figura 19. Esquema básico de transacción de una APP.	58
Figura 20. Paralelo metodologías de manejo de proyectos APP.	59
Figura 21. Curva del esfuerzo del proceso constructivo.....	62
Figura 22. Niveles de madurez BIM de Bew & Richards.....	62
Figura 23. Estandarización de procesos BIM Levels.....	63
Figura 24. Definición de Roles en BIM.....	68
Figura 25. ProStructures	70

Figura 26. Funcionamiento de InRoads de la casa Bentley.	71
Figura 27. Primavera P6	71
Figura 28. Aconex Cost.....	72
Figura 29. Visualizador Aconex BIM	73
Figura 30. Project Wise.....	74
Figura 31. Flujograma desarrollo e implementación metodología BIM.....	79

1. Introducción

El presente trabajo de grado que se titula GUÍA DE LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) APLICABLE EN EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA LONGITUDINAL DE MODALIDADES ASOCIACION PUBLICO PRIVADA – APP Y OBRA PÚBLICA EN COLOMBIA busca establecer una hoja de ruta y una guía para las diferentes entidades y empresas contratistas en la adopción de la metodología BIM a lo largo de los proyectos actuales y futuros, adicionalmente busca con esta guía la adopción de herramientas tecnológicas que permitan ejercer un mayor control en las diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto, una mejor eficiencia al interior de los constructores, en cuanto a procesos refiere, impulsando la productividad de los mismos e impulsando consigo la generación de empleo y sobre todo posicionando a la nación y a las mismas empresas locales en un nivel competitivo alto respecto a empresas extranjeras que han adoptado esta metodología desde hace incluso décadas. Es estrictamente necesario “...ajustar el BIM a la cultura, normas e idiosincrasia del país...” (Mendigafío, 2019). Precisamente se busca establecer una guía y más que eso una hoja de ruta donde se pueda determinar de manera sencilla y puntual los pasos a seguir para lograr la implementación de la metodología BIM en un proyecto, es de suma importancia aclarar que en ningún momento se buscará desincentivar la investigación y la explotación a un 100% de las bondades que trae el BIM, sino todo lo contrario brindarles la posibilidad de que se inicien en esta metodología y cada día quienes decidan adoptarla busquen la manera de volverse más eficientes, innovar en herramientas tecnológicas y su uso además de contribuir con la sociedad al generar una mayor sensación de transparencia y correcto uso de recursos públicos. Para todo el documento se recomienda ver el Anexo 7 correspondiente al glosario de terminología específica y puntual.

La tesis se dividirá en 4 grandes secciones donde los presentes podrán comprender la metodología BIM en todo su ser, es decir, bondades, facilidades, implementación, casos de éxito, el estado actual y el futuro. Básicamente entender la definición de BIM más allá de su acrónimo – Building Information Modeling – y porque se ha venido convirtiendo en la columna vertebral de la construcción.

En la primera sección como marco conceptual se dará un repaso por la historia del BIM, desde sus maneras conceptuales, como fue implementándose, como se puede definir y su proceso evolutivo desde sus inicios hasta el día de hoy, se hablará de casos de éxito a nivel mundial, quienes fueron los pioneros, cuales han sido sus medidas, adopciones y normativas.

La segunda sección hablará acerca de Colombia, así como cuál será a futuro la proyección del país, proyectos que estén haciendo uso del BIM y percepción general de la población respecto al uso de esta metodología como herramienta de control.

La tercera sección contendrá la teoría de cómo debería ser un proyecto bajo la metodología BIM, es decir se presentará la Guía referente al título del presente trabajo, acompañada de un pequeño modelo sencillo y con bajo nivel de detalle en el que se lograrán evidenciar algunas de las bondades del BIM aplicado a infraestructura vial.

Finalmente se expondrán las conclusiones y recomendaciones tanto del trabajo realizado como de la metodología en sí, las expectativas que se esperaban cumplir. Adicionalmente el presente trabajo y su producto final quedarán a disposición de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, buscando que sean referentes tanto en futuros profesionales como en la institución en sí misma y se buscará una relación vinculante con las entidades a nivel nacional para que de igual manera, esta GUÍA DE LINEAMIENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) APLICABLE EN EL DESARROLLO DE INFRAESTRUCTURA LONGITUDINAL DE MODALIDADES ASOCIACION PUBLICO PRIVADA – APP Y OBRA PÚBLICA EN COLOMBIA sea referente entre empresarios, instituciones de control, bancos y constructores, entre otros actores que intervienen en el día a día de los proyectos de construcción.

2. Árbol de problemas

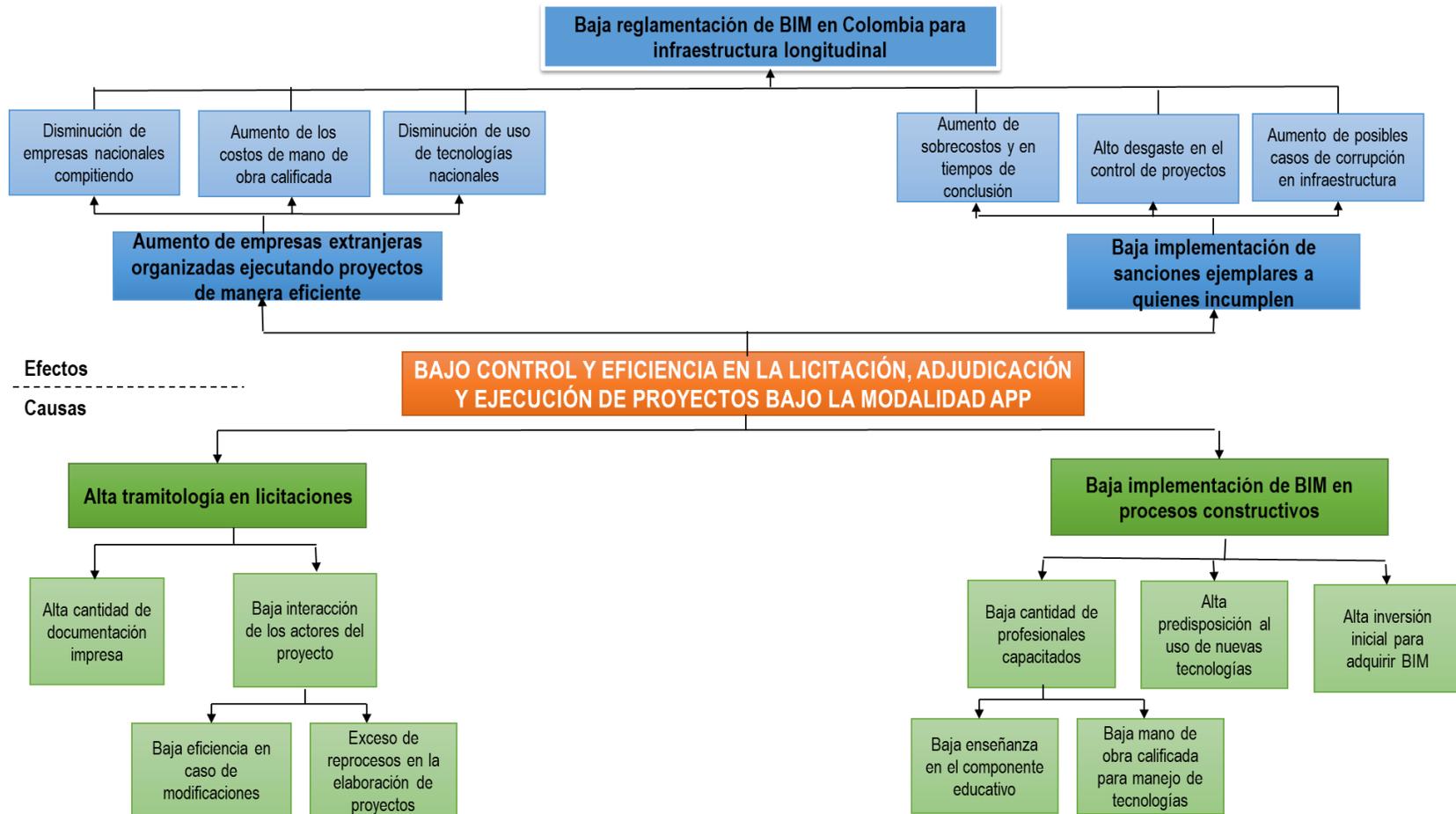


Figura 1. Árbol de problemas.

Fuente: elaboración propia con información de: (CÁMARA COLOMBIANA DE LA CONSTRUCCIÓN, 2019)

3. Objetivos

3.1. Objetivo General

Construir lineamientos de una guía de gestión BIM colaborativa, transparente e integral para todo el horizonte de proyecto como para las etapas de prefactibilidad, estructuración o factibilidad, construcción, operación y mantenimiento y reversión de todo el ciclo de proyectos bajo la modalidad Asociación Publico Privada – APP – u obra pública para infraestructura longitudinal.

3.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información y realizar una investigación a profundidad de la metodología BIM y casos exitosos alrededor del mundo.
- Realizar un documento donde se logre plasmar una guía para la implementación de la metodología BIM en infraestructura longitudinal en Colombia, basado en casos de éxito internacionales.
- Conformar un entregable evidenciando la aplicabilidad de la metodología, basado en un proyecto real.
- Socializar la guía para la implementación de la metodología BIM para infraestructura longitudinal en las instituciones encargadas a nivel país de la infraestructura vial, Instituto Nacional de Vías INVIAS, la Agencia Nacional de Infraestructura ANI y de libre acceso para el contratista público, para la futura implementación en sus políticas de contratación, internas y en el control de proyectos.

4. Metodología

La metodología se basará en 3 momentos fundamentalmente: recopilación de información, la modelación y demostración; de este momento se elaborará un paso a paso de cómo se logró elaborar el modelo demostrativo y se podrá detallar en el Anexo 5; y elaboración de la guía para implementación.

En el primer momento denominado recopilación de información, se realizó una exhaustiva revisión y filtración literaria y fuentes de información respecto a la historia de la metodología BIM, aunque el tema BIM en nuestro país es reciente a nivel internacional nos aventajan en años, algunos hasta de 1 década, por esto fue necesario realizar un filtrado donde se pudiera evidenciar la información puntual que pueda dar respuesta a la problemática planteada y a su vez sirva de base para la elaboración del documento, adicionalmente poder ubicar la actualidad colombiana el contexto y aplicación de la metodología BIM. De esta manera se pudo evaluar la situación general en temas BIM en el mercado Latinoamericano y a nivel mundial.

Seguido e incluso en paralelo con la etapa de recolección de información se fabricó un modelo muy sencillo de un proyecto real denominado “Construcción de un puente vehicular de 4 carriles con sus accesos sobre el Río Cauca, en el sector de Juanchito, en la ciudad de Cali Valle del Cauca”, para este modelo se recibió para uso exclusivo con fines académicos por parte del Representante Legal del contratista: el diseño geométrico, redes húmedas y secas, topografía e información predial. Con esta información se logra hacer un ensamble del proyecto de manera sencilla buscando exponer las bondades de la metodología BIM aplicada a la infraestructura vial.

Finalizados los 2 primeros momentos y consolidando la información final de estos, se contará con un documento guía para poder exponer de manera sencilla y puntual, cual podría ser el proceso o los requerimientos para aplicar la metodología BIM a un proyecto de infraestructura longitudinal.

5. Sección 1 – Marco conceptual

5.1. BIM, generalidades

Iniciamos con la definición como tal de BIM, se habla actualmente mucho de BIM pero realmente ¿Qué es BIM?. Bueno se debe dividir su significado o definición en 2; la primera respondemos las siglas BIM se derivan en Building Information Modeling o Modelado de Información de la Construcción por su traducción a español, aunque actualmente se está migrando el concepto de Modeling por Mangement o gerencia no elimina su concepto puntual que nos lleva a la segunda parte de su significado; la segunda y en su estado más puro el BIM se define como “...metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción.” (Building Smart Spain, s.f.) y lo que busca es generar una interdisciplinariedad de todos los actores que intervienen en un proyecto llegando a centralizar de manera digital el contenido creado por cada uno de éstos, se basa en un ciclo de vida de 7 dimensiones las cuales se pueden ver representadas en la figura 2 y serán mejor explicadas bajo un ejemplo práctico que se podrá encontrar en el Anexo 5.



Figura 2. Dimensiones en proyectos metodología BIM.

Fuente: (CIVILJU, 2021)

Hay que evitar generalizar o definir el BIM como un software ya que como se definió anteriormente, aunque hace uso de múltiples programas existentes, comprende y abarca más allá de eso, se podría llegar a pensar incluso como una filosofía de trabajo al interior de entidades o empresas que decidan emprender la implementación de BIM. Gracias a la implementación de modelos digitales y la interdisciplinariedad de los diferentes especialistas, profesionales y actores que intervienen en determinado proyecto (ver figura 3), se logra volver eficiente quien decida implementar BIM pues la precisión que permite manejar esta metodología logra reducir costos, disminuir tiempos de diseño, disminuye de manera considerable los posibles imprevistos al momento de ejecutar un proyecto y logra una mayor calidad en el seguimiento y entrega final del producto al cliente.

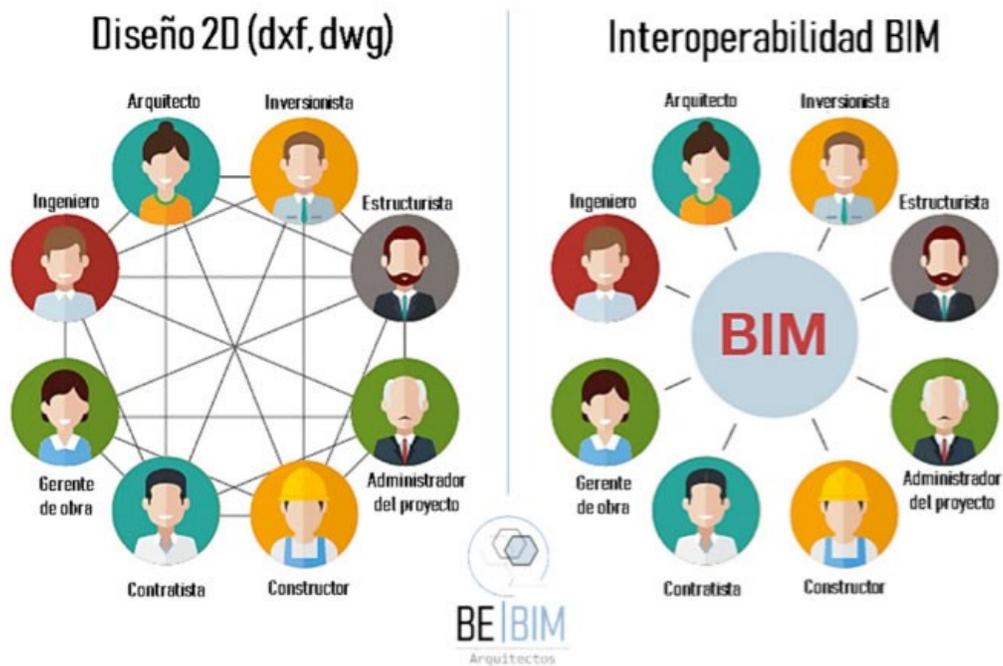


Figura 3. Comparativa Estilo tradicional Vs. Trabajo colaborativo BIM.

Fuente: (Facultad de Arquitectura y Diseño de la UAEMéx, 2019)

Una vez entendida su funcionalidad, sus beneficios y su definición se debe remontar a sus inicios, ¿Cuándo nace y como ha sido su transcurso hasta hoy? Ver figura 4.

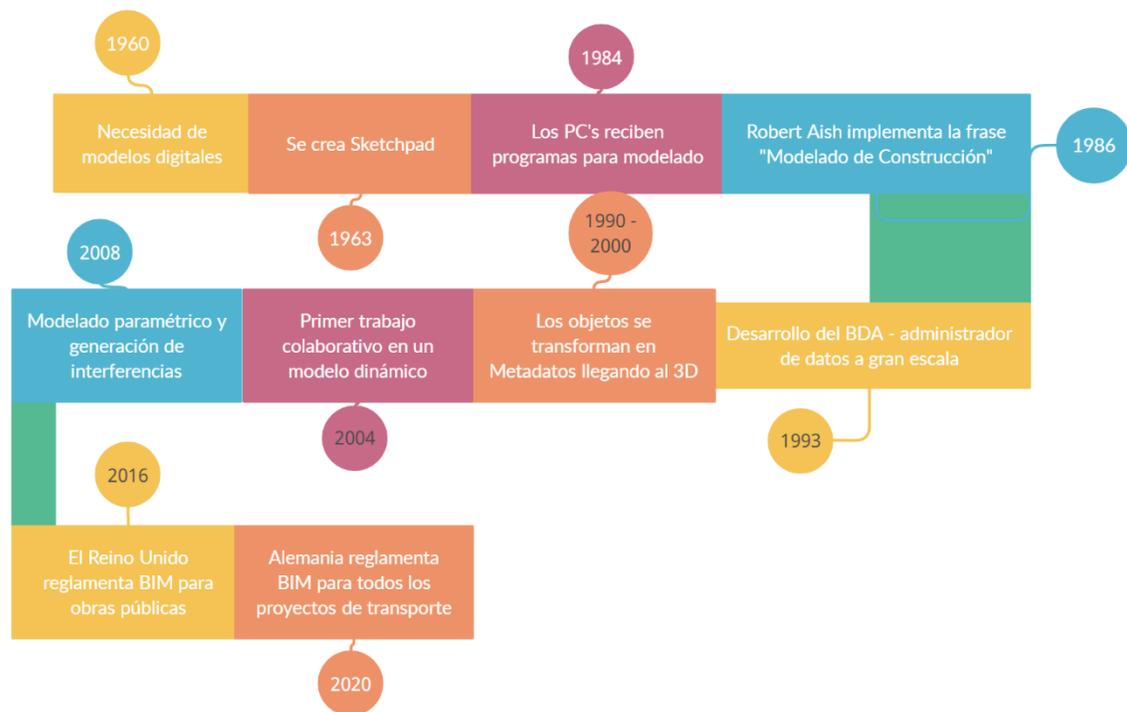


Figura 4. Línea del tiempo orígenes BIM.

Fuente: elaboración propia con información de (Autodesk, 2018), (Papamichael, y otros, 1996)

5.2. BIM a nivel internacional

Desafortunadamente, para Colombia, a nivel internacional la metodología BIM lleva muchos años de ventaja, en algunos casos hasta 10 años de ventaja en lo que se consideraría “crítico” y es la normatividad nacional para el uso obligatorio de la metodología en proyectos de obras públicas, al tener un amplio control desde el punto de vista público en países como Inglaterra, Dinamarca, Suecia y Canadá donde el BIM se ha venido implementando desde hace 4, 14, 6 y 3 año(s) respectivamente y los resultados de la implementación dan un marcado favoritismo a los resultados comparativos en términos de percepción de corrupción y transparencia y es que los mencionados países se encuentran en los puestos 11, 1, 3 y 9 de 181 países medidos¹.

¹ Información extraída de “Transparency International” para el año 2018 (Transparency International, 2019)

Si bien es cierto que el BIM desde su creación se centró en construcción vertical, por lo versátil y útil que resulta solucionar problemas de interferencias entre redes, columnas, arquitectura, etc. Desde el año 2012 se ha buscado la manera de vincularlo a proyectos de infraestructura vial con grandes avances pero sin una implementación total desafortunadamente, esto debido a la complejidad que representan este tipo de proyectos, pues a diferencia de una edificación típica que posee la misma estructuración y diseño, los proyectos de infraestructura representan un desafío mayor ya que cada proyecto es totalmente diferente, túneles, puentes, viaductos, carreteras, entre otros y uno de los factores comunes que representan ese grado adicional de complejidad es la zona o el terreno y la topografía en la que se pretende llevar a cabo la construcción, esto por no mencionar otros factores diferenciales. No obstante, esto no es el único obstáculo que representa parte de este gran desafío, también lo son el desconocimiento de la tecnología puntual y la desconfianza a las nuevas tecnologías por parte de algunos profesionales “de la vieja escuela”².



Figura 5. BIM en el mundo

Fuente: (Villamizar, 2021)

² Definición coloquial para expresar el tradicionalismo (Concepto y definición, 2020)

No obstante, lo anteriormente descrito, países como Suecia, Reino Unido, Dinamarca, Estados Unidos o Australia han decretado el uso obligatorio de esta metodología para todos los proyectos públicos; en otros países como Japón, Portugal, Holanda o Alemania se tienen avances a nivel de expedición de guías BIM, fortaleciendo la adopción del BIM o en programación planeada para incursión e implementación. Todo esto se puede apreciar de manera resumida en la figura 5.

5.2.1. Europa.

Además de ser el continente donde se aloja la implementación de BIM mas antigua en la historia reciente, Noruega, es un continente donde la cultura por la productividad colectiva es mayor que el individualismo y esto se ve reflejado en que los pioneros de la implementación del BIM (países escandinavos³ y el Reino Unido) entendieron la necesidad de volcar el sector de la construcción hacia la eficiencia en las diferentes áreas económicas, tiempo y desarrollo tecnológico. Para un continente azotado por las Guerras Mundiales y las naciones que pertenecen al mismo, durante sus tiempos guerreristas el desarrollo de tecnologías nuevas en cuanto a espionaje, desarrollo de audio, transportes, entre otros. Fueron incipientes y fueron sus ventajas tácticas en ese entonces en el campo de batalla que a hoy se podría hacer una analogía al mundo de los negocios y más puntualmente de la construcción, aquí quien más ventajas tenga y sea el más eficiente en todas las disciplinas tendrá mayor ventaja respecto a la competencia.

³ Agrupación de los países del norte de Europa ubicados en la Península Escandinava es decir Dinamarca, Noruega y Suecia. (El Orden Mundial, 2020)



Figura 6. Uso de BIM en el túnel de Karavanke

Fuente: (AUTODESK, 2017)

5.2.1.1. Reino Unido

De acuerdo con las últimas investigaciones llevadas a cabo se "...ha demostrado que el 79% de las empresas de arquitectura anglosajona ya han adoptado el BIM también debido a las políticas nacionales que entraron en vigor en el 2011." (BibLus, s.f.). así las cosas se puede observar una gran ventaja por lo menos comparando con un país como el nuestro, es evidente el atraso y la demora en la implementación de una metodología eficiente en todos los aspectos y aunque no todo es "color de rosa"⁴ pues el mismo artículo citado anteriormente expresa y manifiesta que las pequeñas oficinas y empresas son quienes se han logrado adaptar de manera total y exitosa en un corto plazo, claro comparativamente con las grandes empresas, y se logró determinar un listado de 10 puntos o ejes, gracias a "La investigación realizada por el profesor Mohamad Kassem de la universidad de Northumbria y el estudiante de posgrado Ahmed Louay, de Sheffield University School of Architecture." (BibLus, s.f.). sobre los que giran estas fáciles adopciones y fueron determinantes para establecer una adaptación más rápida en el caso de las pequeñas empresas, los 10 puntos de referencia son:

- El sistema de comunicación interna de las empresas/oficinas.

⁴ Definición coloquial para expresar que no todo es tan fácil o tan idílico.

- Apoyo al management⁵ y la coordinación que este proporciona.
- Tamaño y estructura organizativa.
- “Cultura organizacional” de la empresa y de los profesionales
- Disponibilidad, flexibilidad y adaptación al cambio.
- Reconocimiento de los beneficios brindados por la innovación
- Seguimiento de los beneficios/resultados que aporta la innovación.
- Compatibilidad de la innovación con el contexto.
- Límites y vínculos a la adopción de la innovación.
- Reglas y convenciones. (BibLus, s.f.)

Lo descrito anteriormente por el profesor Mohamad Kassem nos expone una parte fundamental para tener en cuenta al momento de realizar la implementación en países donde recién está llegando esta tecnología.

5.2.1.2. Países Escandinavos

Al ser los pioneros de esta ventajosa metodología, han marcado el paso y han establecido los hitos fundamentales del BIM en el mundo, además de demostrar con creces la coordinación para el bienestar y productividad común han sido la punta de lanza en la búsqueda de mejoras al BIM, incluso han sido fundadores de organizaciones a las cuales se espera se vinculen las diferentes naciones, tal es el caso de “buildingSMART Nordic” cuyo objetivo principal “...es contribuir a la construcción de un entorno sostenible mediante un mayor intercambio y comunicación de la información a través del uso de estándares internacionales abiertos dentro del sector de la construcción...” (BibLus, s.f.). plasmando objetivos muy puntuales que pueden ser replicados por todos los actores que se encuentren deseosos de poder implementar BIM como mandato nacional, o empresas que decidieran optar por una mayor eficiencia en los proyectos.

5.2.2. Asia.

Cuando de tecnología se trata, siempre vinculamos su desarrollo y avance al continente asiático, debido a grandes potencias tecnológicas como Corea del Sur, Japón, China o Singapur. Por supuesto no podemos olvidarnos del grande oriental del cual el caso mas

⁵ Traducido al español significa administración

representativo y que mas salta a la vista es China, país que tiene la mayor tasa de crecimiento y difusión del BIM, esto se evidencia en la cantidad considerable de empresas que ha optado por el uso del BIM y adopción del mismo en la ejecución de proyectos.

5.2.2.1. Hong Kong.

El primero de diciembre de 2017 el Development Bureau of the Government of Hong Kong⁶ expidió la Circular Técnica No. 7/2017 mediante la cual se da el “Adoption of Building Information Modelling for Capital Works Projects in Hong Kong”⁷ (The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2017) y su inclusión básicamente determina que a partir del año 2018 la empresa que desee licitar para la ejecución de un proyecto de más de HK\$30 millones deberá, licitar y en caso de obtener el proyecto ejecutarlo bajo esta metodología sin excepción.

5.2.2.2. Singapur.

Conocida por ser una ciudad – estado innovadora y siempre a la vanguardia en temas de tecnología ya avances tecnológico, Singapur vio en el BIM su oportunidad perfecta para seguir punteando en desarrollo, pues en el año 2010 el BCA (Building and Construction Authority⁸) procuro generar una hoja de ruta de la metodología BIM con el proyecto ambicioso que para el año 2015, casi toda la industria usaría BIM, dando respuesta a la necesidad de disparar la productividad industrial planteada por el Gobierno. Una gran estrategia propuesta por el mismo fue crear un subsidio BIM que buscaba incentivar a las empresas al uso de esta metodología, aunque trae excelentes beneficios a mediano y largo plazo; es cierto que el costo de implementación es muy elevado para una empresa tradicional esto debido a la adquisición de licencias de softwares especializados de la mano con hardware capaz de mover estos software y sobretodo la capacitación de los profesionales y personal entendido en BIM; lo que se resolvió en la mayoría de casos con este subsidio BIM pues el gobierno prácticamente financiaba el 50% de los costos en los que las empresas incurriesen para esta migración y repunte tecnológico. “Actualmente es obligatorio para ingenieros, consultores y arquitectos usar BIM para la etapa de diseños, y cargar la solicitud con los diseños en la página Web del gobierno para su aprobación.” (ZIGURAT GLOBAL

⁶ Se traduce como: la Oficina de Desarrollo del Gobierno de Hong Kong.

⁷ Se traduce como: Adopción de BIM para grandes proyectos en Hong Kong.

⁸ Se traduce como: Autoridad de edificaciones y construcción.

INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2020). El solo hecho de que el gobierno tenga dentro de su página web la opción de cargar hoy en día archivos IFC⁹ y que sea de estricto cumplimiento la aprobación de este únicamente por este medio, marca la pauta enorme a la que deberíamos aspirar como nación, ya que daría una sensación enorme de transparencia ante la población y se generaría una manera mas sencilla de ejercer control sobre las diferentes etapas de los proyectos.

5.2.3. América

Para el caso del continente americano; en el cual se encuentra nuestro país Colombia, pero se detallará en la siguiente sección mas detalladamente; podríamos hablar del mas atrasado respecto a implementación y conocimiento de la metodología BIM, pues quienes mas avances muestran en su reglamentación, planificación e implementación a nivel general son Estados Unidos, lugar de nacimiento del BIM, y Canadá. Sin embargo, si nos desplazamos hacia el sur encontramos dentro de Latinoamérica, con un buen prospecto y que denotan avances a, México, Chile, Perú, Colombia, quienes resaltan sobre otros países en los que se está desarrollando el BIM como Argentina, Brasil o Ecuador.

A nivel general en América estamos en una etapa de implementación, conocimiento de la metodología y migración hacia esta metodología que ha demostrado grandes bondades en todos los aspectos de los proyectos, tanto para el comprador como para el vendedor. Únicamente Estados Unidos y Canadá cuentan con mandatos y regulación gubernamental para la implementación y uso del BIM, además de esto han elaborado guías y algunos estándares que han sido compartidos a través de Latinoamérica y es de estos estándares que los países latinos han logrado hacer algunas adaptaciones y promueven proyectos con el uso del BIM buscando llegar a la regulación nacional de la metodología y adopción de esta como ley. Ver figura 7.

⁹ Industry Foundation Classes: es un formato de datos que permite el intercambio de un modelo informativo sin pérdida o distorsión de datos o informaciones. (BibLus, s.f.)



Figura 7. Estado BIM en Latinoamérica.

Fuente: (EDITECA, 2018)

5.2.3.1. América del Norte.

La región de América mas avanzada y quienes “llevan la batuta”¹⁰ en este lado del mundo posee a Estados Unidos y Canadá los cuales, de acuerdo con la figura 5 desde el año 2008 para el primero y desde el año 2020 para el segundo se volvió reglamentario el uso de la metodología BIM, esto ha impulsado de manera inequívoca la productividad de los países mejorando el PIB de cada uno de estos y llevándolo a incrementos hasta del 45%.

Estados Unidos es un caso realmente único, fue el pionero y el creador de la metodología BIM hacia los años 70’s, sin embargo, no fue hasta entrados los años 90’s que logró explotar esta ventaja de adopción de BIM en la construcción. En el año 2008 se regula el uso de la metodología siendo uno de los primeros países en establecer un mandato nacional y formular como ley para contratación el uso, aplicación e implementación de la metodología, y si bien es cierto que Estados Unidos es una nación rica hay que acotar que “La construcción, que abarca el sector inmobiliario, infraestructuras y estructuras industriales, es la industria más grande en la economía mundial, ya que representa el 13% del PIB mundial.” (El

¹⁰ Referencia coloquial para definir liderazgo.

Economista, 2020). Y desde la implementación mandataria en el año 2008 su PIB (US\$ 14.71B)¹¹ comparado con el año 2019 (US\$ 21.73B)¹² ha incrementado en un 45%, es claro que no todo el aumento corresponderá al BIM sin embargo es uno de los múltiples factores que contribuyen al aumento del PIB, pero es suficiente evidencia para entender que la metodología está diseñada para aumentar la productividad, para hacer mas eficientes los procesos y lograr un repunte en la economía local.

Levels of BIM Adoption in North America

Source: McGraw-Hill Construction, 2012

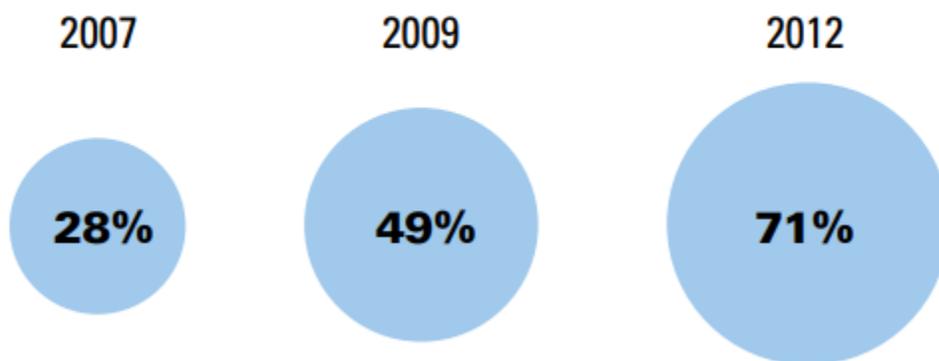


Figura 8. Nivel de adopción BIM en Norte América.

Fuente: (McGraw - Hill, 2012)

¹¹ Información obtenida de: (Data Commons Place Explorer, 2021)

¹² Ibidem.

BIM Adoption by Type and Size of Firm (2009 and 2012)

Source: McGraw-Hill Construction, 2012

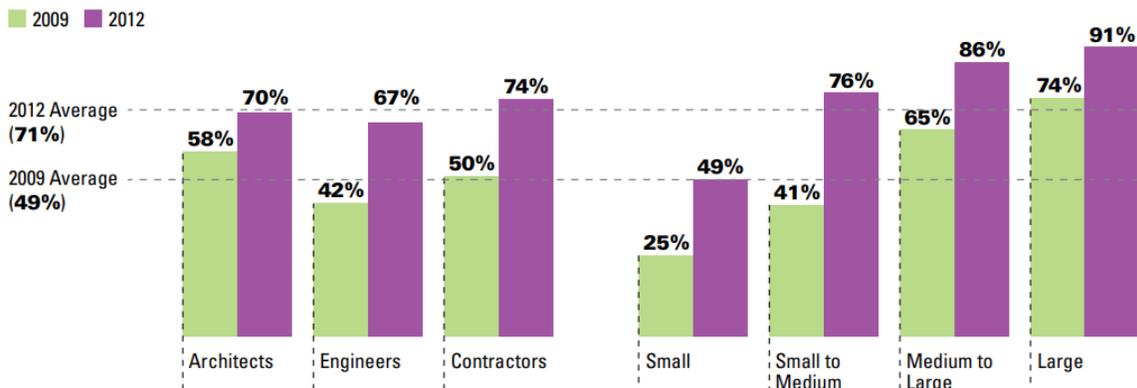


Figura 9. Adopción BIM por profesionales y tamaño de la Empresa.

Fuente: (McGraw - Hill, 2012)

Como es evidente en las figuras 8 y 9, Estados Unidos ha logrado una implementación amplia y ha recorrido un largo camino, pero ha dado sus frutos pues es diciente el salto desde el año 2009 posterior a la obligoriedad al año 2012, en solo 3 años la adopción BIM ha aumentó un 22%. Actualmente la directriz general para Estados Unidos es el “National BIM Standard”. (Anumba, y otros, 2012).

Canadá por su parte, aunque no existe un mandato obligatorio y se planeaba su regulación en el año 2020, si posee algunas guías de implementación, así como una iniciativa para su uso y a nivel regional y local se ha empezado a implementar, mediante la motivación del uso BIM en el sector AEC¹³ a través de herramientas, beneficios y por supuesto buscando la normativa técnica especifica como lo es el National BIM Standard para Estados Unidos. De su totalidad de fuerza empresarial el 31% de las empresas ya hacen uso del BIM de manera regular, planifican, controlan y ejecutan proyectos; el 29% si bien no no hacen de manera regular si hacen uso de algunas herramientas y en momentos específicos logran hacer uso con enfoques integrados; el restante 21% permanece con métodos tradicionales. Para poder incurrir en un cambio amplio en el sector de la construcción algunos industriales sugieren que Canadá deberá trabajar

¹³ Acrónimo de Arquitectura, Ingeniería y Construcción por su traducción al español

puntualmente en 3 aspectos (Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana - Gobierno de España, s.f.):

- Una estrategia BIM nacional
- Estándares específicos “abiertos”
- Un orden BIM que introduzca obligaciones reglamentarias.

5.2.3.2. Latinoamérica.

En contraste con América del Norte, Latinoamérica se encuentra en la retaguardia, pero no todo se podría plasmar en este panorama, pues actualmente países como Chile, Colombia o Perú se han dado pasos agigantados en pro de la estandarización, aplicación y regulación de la metodología BIM, si bien se tenía pronosticado que “...en 2020 el mercado BIM aumentara hasta un 11%...” (EDITECA, 2018). Y la implementación no está siendo homogénea si hay grandes proyectos por resaltar en los que se han dado esos grandes pasos, además se tiene conocimiento del aumento del índice de contratación para profesionales BIM, por otra parte no se puede generalizar del todo pues así como hay unos países dando grandes avances hay otros que van a un paso muy lento, por lo que en este contexto sería mas fácil revisar país por país de manera puntual.

Chile es tal vez el caso mas fuerte y que mas avances presenta en esta región americana, con su estrategia gubernamental CORFO¹⁴, con proyección a 10 años a partir del 2016, llamada PlanBIM cuyo objetivo es “...incrementar la productividad y sustentabilidad – social, económica y ambiental – de la industria de la construcción mediante la incorporación de procesos, metodologías de trabajo y tecnologías de información y comunicaciones que promuevan su modernización a lo largo de todo el ciclo de vida de los proyectos.” (Planbim, 2021). Y dentro de sus metas para el periodo 2020 – 2025 se encuentran: la implementación BIM en el desarrollo y operación de infraestructura pública y privada, desarrollar la estandarización BIM para Proyectos Públicos y aumentar las capacidades digitales y académicas. Es así como a través de esta estrategia PlanBIM se creó y se estableció una guía de aplicabilidad BIM para proyectos públicos y se denominó “ESTÁNDAR BIM PARA PROYECTOS PÚBLICOS” (Planbim, 2019), de acuerdo con las cifras reportadas en su

¹⁴ Corporación de Fomento de la Producción – Chile –, información obtenida de: (CORFO, 2021)

página web PlanBIM reporta un incremento considerable en comparación con el año 2017, de licitaciones de carácter diseño usando la metodología BIM, de 53%¹⁵ y unas valiosas 27.044 descargas de esta guía mencionada anteriormente, registradas en la misma página y uno de los puntos más importantes que claramente se debe considerar es la parte académica y aquí si que Chile saca una ventaja enorme, pues registra que el 90%¹⁶ de sus universidades enseñan BIM con corte al año 2020.

Perú otro gran contendor en Latinoamérica, a pesar de seguir los pasos de Chile, existe una diferencia enorme y a su vez una ventaja y esta reside en el hecho que el gobierno de Perú volvió mandato nacional la adopción del BIM en el sector público. Sin demeritar el grandioso trabajo que ha hecho Chile a nivel nacional, desafortunadamente no se ha vuelto mandato nacional ni de exigencia propuesta pues a hoy Chile simplemente ha creado valiosas guías y formatos, dando a entender que se asuma el BIM como una sugerencia para quienes quieran adoptarla mas no existe una ley que promueva y obligue la migración al BIM. Mientras tanto el gobierno peruano a través del Decreto Supremo No. 237–2019–EF, dio aprobación al Plan Nacional de Competitividad y Productividad que en su medida de política No. 1.2: Plan BIM dicta que:

Ante los persistentes retrasos y sobrecostos en el desarrollo de inversiones en infraestructura, es necesario apuntar a la modernización y digitalización de los sistemas de formulación y evaluación, ejecución y funcionamiento de los proyectos de inversión. Una de las herramientas tecnológicas y digitales a impulsar es la metodología colaborativa de modelamiento digital de la información para la construcción (BIM, por sus siglas en ingles: Building Information Modeling). En efecto, la decimoprimer disposición complementaria final del Texto Único Ordenado de la Ley N°30225, Ley de Contrataciones del Estado (Decreto Supremo N°082-2019-EF) determina que, mediante Decreto Supremo, se establecerán los criterios para la incorporación progresiva de herramientas de modelamiento digital de la información para la ejecución de los proyectos de infraestructura pública, en cualquiera de sus modalidades. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2019)

Recientemente, el 11 de junio del presente año, el MEF¹⁷ publicó el Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM Perú, y es la hoja de ruta que Perú pretende

¹⁵ Información obtenida de (Planbim, 2020)

¹⁶ Información obtenida de: (Planbim, 2020)

¹⁷ Ministerio de Economía y Finanzas

usar para la implementación de la metodología donde se definen los objetivos a corto, mediano y largo plazo esto definitivamente refuerza lo citado por el Decreto Supremo citado anteriormente y demuestra la intención clara que tiene el Estado de alcanzar el uso obligatorio de la metodología BIM para el año 2030. De la mano con lo anterior, el plan de implementación se basa en 4 líneas estratégicas que son: “(1) Establecer el liderazgo público; (2) Construcción de un marco colaborativo; (3) Aumento de la capacidad de la industria; y, (4) Comunicación de la visión.” (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021).



Figura 10. Diagrama del marco estratégico para los planes de implantación.

Fuente: (Ministerio de Economía y Finanzas, 2021)

5.3. Estandarización y normatividad vigente

Como se ha evidenciado en los apartes anteriores el BIM es tan amplio y basto que existen un sin numero de guías, implementaciones, estrategias y planes de adopción por parte de cada país que ha decidido mirar hacia el futuro y buscar la implementación de

una metodología mas eficiente y de mayor control sobre sus proyectos. Sin embargo, existen algunas referencias desde las cuales, o sobre las cuales la mayoría de los países, por no decir todos, se basan para realizar sus guías, implementaciones, estrategias y/o planes de adopción e implementación, si bien es cierto existe una variedad de normatividad internacional, las mas sonadas, usadas y mas conocidas son las normas ISO dentro de las cuales encontramos:

- ISO 19650 – 1: 2018 Organization and digitalization of information about buildings and civil engineering Works, including building information modelling (BIM) – Information mangement using building information modelling – Part 1: Concept and principles. (ISO, 2018). Este documento establece lineamientos y recomendaciones de manera que se logre manejar la información por parte de todos los actores, además cabe recalcar que este documento puede ser aplicado en cualquier momento del proyecto y a cualquier tipo de proyecto.
- ISO 19650 – 2: 2018 Organization and digitalization of information about buildings and civil engineering Works, including building information modelling (BIM) – Information mangement using building information modelling – Part 2: Delivery pase of the assets. (ISO, 2018). Este documento plantea los requerimientos para el manejo de la información, de igual manera este documento puede ser aplicado a cualquier tipo de proyecto.
- ISO 19650 – 3: 2020 Organization and digitalization of information about buildings and civil engineering Works, including building information modelling (BIM) – Information mangement using building information modelling – Part 3: Operational phase of the assets. (ISO, 2020). Este documento plantea como elaborar la información o los estándares de la información necesaria en cada ciclo de vida y la definición de los roles implicados en la gestión de activos, como las 2 partes anteriores, este documento puede ser aplicado a cualquier tipo de proyecto y organización.
- ISO 19650 – 5: 2020 Organization and digitalization of information about buildings and civil engineering Works, including building information modelling (BIM) – Information mangement using building information modelling – Part 5: Security minded approach to information management. (ISO, 2020). Este documento se refiere a los requerimientos recomendados para el manejo de información sensible y de información general de cada proyecto.

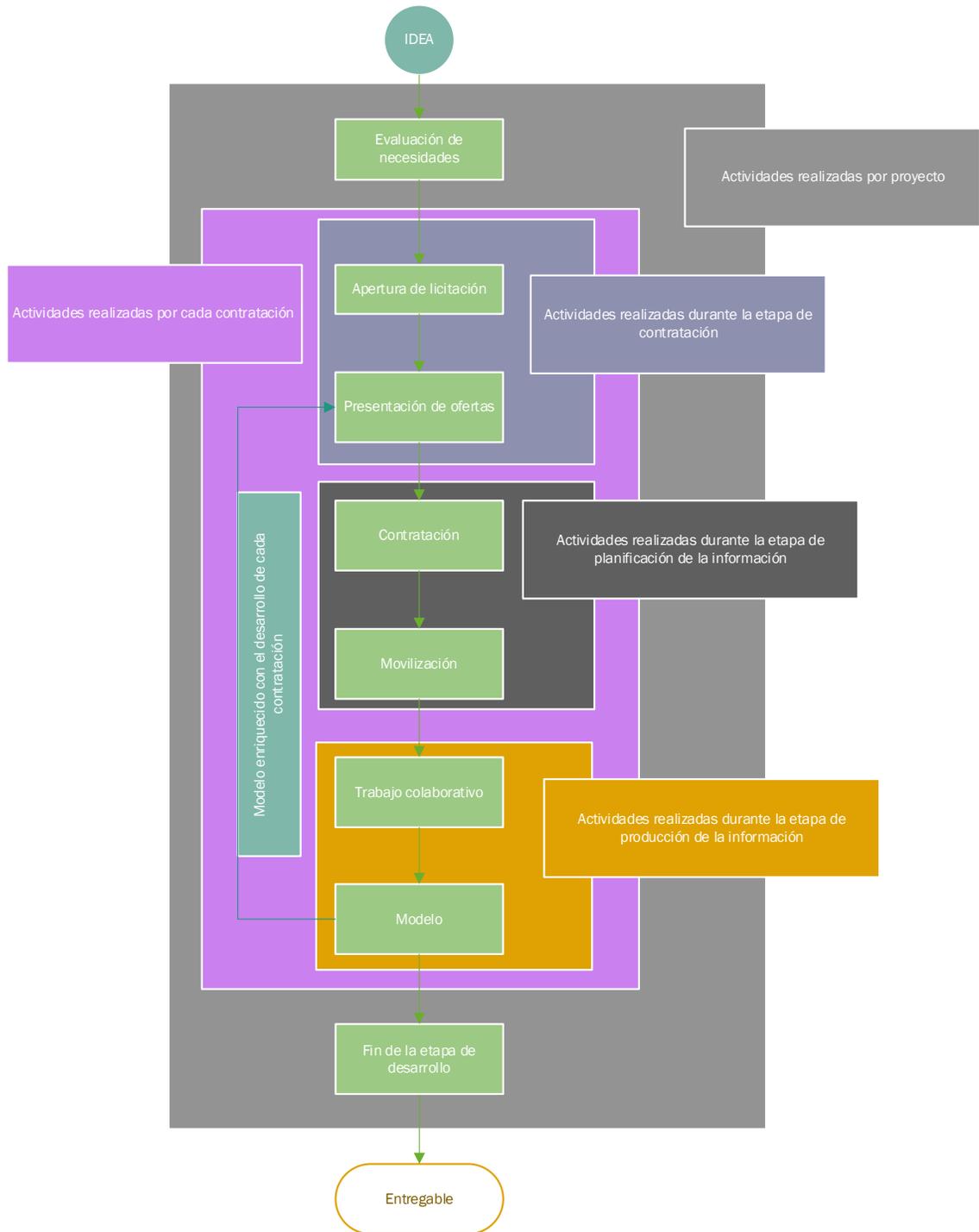


Figura 11. Flujograma propuesto por la ISO 19650-2 para gestión de la información

Fuente: elaboración propia con información de (ESPACIO BIM, 2018)

- ISO 23387: 2020 Building information modelling (BIM) – Data templates for construction objects used in the life cycle of built assets – Concepts and principles. (ISO, 2020). Este documento define la estructura de los bloques con características definidas para los objetos a usar en el modelo, se busca crear una ayuda para los procesos digitales y sobretodo establece el procedimiento para vincular los DT¹⁸ con las clases asignadas en IFC¹⁹.
- ISO 23386: 2020 Building information modelling and other digital processes used in construction – Methodology to describe, author and maintain properties in interconnected data dictionaries. (ISO, 2020). Este documento define las propiedades usadas en construcción, brindando un intercambio digital seguro y fluido.
- ISO 29481 – 1: 2010 Building information modelling – Information delivery manual – Part 1: Methodology and format. (ISO, 2010). Este documento propone una manera de como especificar información, además está orientado a facilitar la interoperabilidad entre los softwares usados para construcción.
- ISO/TS 12911: 2012 Framework for building information modelling (BIM) guidance. (ISO, 2012). Este documento propone un marco que proveen especificaciones para la puesta en marcha del BIM.
- ISO 15686 – 4: 2014 Building Construction – Service Life Planning – Part 4: Service Life Planning using Building Information Modelling. (ISO, 2014). Este documento proporciona una guía para el intercambio de información que funciona para el mantenimiento de edificaciones y proyectos.
- ISO/TS 19166: 2021 Geographic information – BIM to GIS conceptual mapping (B2GM). (ISO, 2021). Este documento establece un marco teórico y mecanismos para obtener información catografica del BIM y llevarla a sistemas de información geográfica (GIS).

¹⁸ Data Templates, se define como una estructura de datos que describe las propiedades de un objeto. (Cobuilder, 2021)

¹⁹ Industry Foundation Classes, se define como formato de datos que permite el intercambio de un modelo sin la pérdida o la distorsión de los datos originales. (ESPACIO BIM, 2020)

- ISO 16757 – 1: 2015 Data structures for electronic product catalogues for building services – Part 1: Concepts, architecture and model. (ISO, 2015). Este documento expone una estructuración de los datos para catálogos electrónicos y que se pueda transmitir automáticamente información en modelos para softwares.
- ISO 16757 – 2: 2016 Data structures for electronic product catalogues for building services – Part 2: Geometry. (ISO, 2016). Este documento describe el modelado del componente geométrico así mismo se encuentra optimizada para el intercambio de información y datos.
- ISO 12006 – 2: 2015 Building construction – Organization of information about construction Works – Part 2: Framework for classification. (ISO, 2015). Este documento establece un marco para el desarrollo de los ambientes de clasificación para edificaciones.
- ISO 12006 – 3: 2007 Building construction – Organization of information about construction Works – Part 3: Framework for object-oriented information. (ISO, 2007). Este documento especifica información, independiente del lenguaje origen, que puede ser usada para crear diccionarios que almacenen o provean información sobre proyectos de construcción.

6. Sección 2 – Colombia y el BIM

Colombia podría considerarse actualmente como el 4 país a nivel Latinoamérica que busca y está fomentando el uso de la metodología BIM, por delante de Colombia en cuanto a avances registrados con guías, metodologías o normativas se encuentran Chile, Perú y México. Si bien es cierto que Colombia no se puede considerar una potencia en BIM en estos momentos, si se puede decir que la intención es clara, el gobierno tiene la determinación y la intención sería de adaptar la metodología BIM a sus políticas, lineamientos y leyes para su implantación, aplicación y uso en proyectos a nivel general.

Para esto el Gobierno nacional ha optado por la adopción de algunas medidas que, si bien están en una etapa muy temprana, es muy válida la intención y formulación de la implementación, por eso desde el año 2019 se formuló "...una política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial". (MINISTERIO DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES, 2019), junto con las recomendaciones sugeridas por La Comisión de Expertos en Infraestructura de Transporte en su informe, busca "Fortalecer la gestión contractual..." (Comisión de Expertos en Infraestructura de Transporte, 2019) de las Alianzas Publico Privadas – APP's – lo que abre una puerta a la integralidad de procesos, colaboración de entidades como la ANI (encargada a de la gestión de las Concesiones en el país), el INVIAS (entidad encargada de la construcción, mantenimiento y gestión de las principales vías, redes terciarias, puertos y canales de acceso no concesionados del país), el IDU (entidad encargada a nivel Bogotá de su gestión en cuanto a espacio público, vías, puentes, etc.), entre otras entidades, quienes lograrían una reglamentación y una regulación de la metodología BIM para sus respectivos proyectos. Y uno de los documentos recientes que más pueden enfocar y establecer esa hoja de ruta hacia el BIM en Colombia está plasmada en la Estrategia Nacional BIM 2020 – 2026; documento colaborativo entre la Embajada Británica, Mott Macdonald, CAMACOL²⁰ y BIM Forum Colombia; en dicha estrategia se refuerza la teoría expuesta en los capítulos anteriores y resalta una frase muy importante "El sector de la construcción necesita un sistema de estandarización a nivel nacional para ayudar con la clara fragmentación que enfrenta Colombia." (Gobierno de Colombia, 2020), además de esta importante frase, el

²⁰ Cámara Colombiana de la Construcción

documento citado expone de manera clara y sencilla sus intenciones y traza el objetivo que a nivel general es lograr establecer un mandato nacional BIM para el año 2026.

Pero es aquí donde uno se preguntaría ¿BIM para qué? Bueno la respuesta se puede establecer de la siguiente manera, debemos traer nuevamente al presente la definición más pura de BIM, que se puede definir como "...metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción." (Building Smart Spain, s.f.), partiendo de esta definición debemos buscar las debilidades, oportunidades de mejora, en la manera como se gestionan actualmente algunos de los proyectos de infraestructura, porque es allí donde el BIM entra a hacer su trabajo y se puede aprovechar la realidad colombiana para reforzar de manera considerable las variadas oportunidades de mejora que existen. Empezaremos con tal vez la ventaja más grande del BIM en el sector público y es que la metodología logra actuar de manera transversal sobre 3 pilares fundamentales; el primero es la transparencia en procesos de evaluación, si bien es cierto Colombia ha venido desarrollando políticas de contratación cada vez más sencillas y generalizadas; tal como son los pliegos tipo; desafortunadamente aún no se logra tener un método adecuado que garantice la facilidad y efectividad y sobre todo confiabilidad en la trazabilidad que exista respecto a los posibles candidatos a ser ganadores de un proceso licitatorio. Aquí es donde se puede buscar en un primer momento la implementación del BIM, ya que al ser una metodología basada en la virtualidad, intercambio libre de información con formatos abiertos y de fácil acceso permitiría el entendimiento preliminar y visualización del futuro del proyecto, dando un ejemplo más claro desde mi experiencia profesional y actual en la Empresa Metro de Bogotá, que detallaré con más profundidad en el Anexo No. 5, la línea 2 que actualmente se encuentra en etapa de factibilidad, debió pasar por una etapa de prefactibilidad y el consultor encargado de esta etapa hizo entrega de un modelo BIM en el que se puede evidenciar sin mayor LOD el trazado general de la línea, los diámetros de los túneles subterráneos, la profundidad, una armonización preliminar con el entorno actual, su unión con la línea 1, entre otros muchos detalles, pero a donde quiero llegar con esto es que actualmente la Empresa Metro se va a basar en este modelo existente y factible para abrir el proceso licitatorio de los diseños definitivos y se le solicitará a quienes deseen participar que hagan entrega de un BEP de oferta garantizando su conocimiento en BIM, su conocimiento sobre el proyecto y que principalmente que tengan claro como llevar a cabo la ejecución del proyecto; es así como para la EMB y la Banca se

les facilitará la evaluación del candidato y al ser de conocimiento “público” el estudio de prefactibilidad se garantiza que todas las entidades deseosas de participar tengan acceso a la misma información dando total transparencia al proceso de selección. Como fue citado según el Apéndice Técnico No. 3 la Primera Línea del Metro de Bogotá se encuentra licitada y fue una exigencia el uso de la metodología BIM, así que actualmente en la etapa de ejecución se puede dar fe que todos los equipos BIM de los actores involucrados en la correcta ejecución de este proyecto se encuentran trabajando de manera colaborativa haciendo las correcciones pertinentes, estableciendo los diseños definitivos y evitando las posibles futuras interferencias, todo esto incluso antes de la primera palada; el segundo de los pilares corresponde a la colaboración entre las distintas entidades que influyen directamente en la implementación y control, a lo largo y ancho de Colombia existen diferentes entidades encargadas cada una de su especialidad a pesar de que se ha buscado una integración y comunicación eficiente entre estas entidades, desafortunadamente no se ha podido vincular lo que en muchas ocasiones generan interferencias, demoras y en casos extremos multas para los contratistas que procuran el correcto desarrollo de un proyecto. El común denominador de estas situaciones puede estar basado más allá de los convenios interinstitucionales que se pueden remitir al tema jurídico, es o era la nula o baja compatibilidad entre los modelos, productos digitales o en algunos casos documento físicos, debido a la no vinculación de softwares compatibles entre sí. Aquí nuevamente el BIM entra exponiendo una gran ventaja y una oportunidad enorme de mejora y es que al aplicar la metodología lograría que se unificara o se buscara exportar los modelos en formato abierto es decir en formato .IFC, permitiendo una interacción más grande entre entidades, nuevamente expongo uno de los ejemplos más útiles y es la PLMB²¹ que ya hace uso de esta metodología ha logrado a través de su contratista y múltiples reuniones con entidades como el IDU²², la EAAB²³, Gas Natural Vanti, entre otras. Realizar armonizaciones exitosas entablando una comunicación fluida entre entidades, permitiendo evidenciar interferencias y planificar desde ya el traslado de redes donde a futuro irá la cimentación del viaducto, realizar la conexión de estaciones de Transmilenio con futuras estaciones Metro, armonización con los proyectos de expansión

²¹ Primera Línea del Metro de Bogotá

²² Instituto de Desarrollo Urbano

²³ Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá

de TransMilenio o de la malla vial; finalmente el tercer pilar correspondiente a la integralidad que prácticamente se puede definir como la generación de ese bien común, es lograr determinar la zona de impacto y evaluar cómo se pretende impactar la zona del proyecto a ejecutar. Aquí el BIM puede proponerse como exponer de manera previa las mejoras que traerán para la zona de influencia, no exponer el proyecto como obras independientes sino el tipo de beneficios que pueden traer a largo plazo, por ejemplo para la PLMB existe el mejoramiento del espacio público alrededor del trazado, la generación de empleo durante su etapa de construcción, la inversión social y la creación de locales en estaciones, generación de corredores verdes y exponer la sostenibilidad que puede verse involucrada con cada uno de los procesos ya que la PLMB será netamente eléctrica producirá beneficios medioambientales enormes, buscando desincentivar el uso indiscriminado de vehículos con combustibles fósiles, puede ser uno de los objetivos a largo plazo de la sostenibilidad.

En el numeral 7.1.2. de la guía, más adelante expuesta, se expondrán de manera sencilla a través de la Figura No. 22 las ventajas aplicables también en el sector público pero más enfocadas hacia las empresas que pretendan evaluar su inclusión en la metodología BIM, sin embargo este aparte puede ser objeto de futuras tesis e investigaciones ya que la vinculación del BIM al interior de una estructura organizativa pre existente tiene muchas aplicaciones, desafortunadamente este tema no hace parte de la presente investigación y se pretende únicamente generar una guía para su la implementación de la metodología.

Actualmente en Colombia existen grandes firmas reconocidas como lo son el caso de INGETEC, Gomez Cajiao, Amarilo, Constructora Bolívar, entre muchas otras firmas que vienen implementando la metodología BIM para sus proyectos, vienen adaptando sus procesos a la misma y han logrado ejecutar grandes proyectos siguiendo el BIM, “desafortunadamente” la mayoría de estas empresas ha centrado el BIM en construcción de edificaciones y les da una ventaja de unos 4 o 5 años respecto a empresas nuevas que decidan ir implementando progresivamente la metodología como propone el Gobierno Nacional, es decir actualmente no hay muchas firmas que se dediquen al BIM en infraestructura vial de tipo APP²⁴ u Obra Pública, y evaluando que muchas de las mega obras que se encuentran en ejecución, próximas a iniciar ejecución o proyectadas

²⁴ Asociación Publico Privada

corresponden a la malla vial en general del país con las autopistas 4G, las nuevas concesiones 5G tal como la Malla Vial del Valle del Cauca recientemente adjudicada, o tal vez la obra mas grande que existe actualmente en el país el Metro de Bogotá, todas estas obras tienen un denominador común y es que no cuentan con participación mayoritaria colombiana, claro que uno de los factores es la capacidad económica, pero tal vez el factor mas trascendental es el desconocimiento, la no aplicación y/o adopción al interior de las empresas y sobre todo los profesionales capacitados y con conocimiento en BIM y este último punto es crítico ya que el país no cuenta con programas especializados de pregrado o posgrado para la enseñanza de la metodología, lo que hace que los pocos profesionales que tengan estos conocimientos, primero hayan sido adquiridos en el exterior y segundo que sean sumamente solicitados por lo que son escasos los profesionales libres.

Una oportunidad enorme que surge para el uso de esta metodología es su implementación por parte de entes de control en las APP's, estas también denominadas concesiones representan fielmente, como si de una sinergia se tratara, las 7 dimensiones de la metodología BIM, muchas empresas extranjeras quienes son los ganadores de los procesos licitatorios hacen uso de esta metodología al interior de sus empresas, sin embargo la entidad supervisora pierde un poco la facilidad de supervisar el contrato ya que actualmente el BIM no es mandato nacional y si bien para las empresas significa una ventaja enorme por temas de eficiencia y ahorros económicos en posibles imprevistos derivados de interferencias que surgen directamente en obra, construcción tradicional, para la entidad contratante no le es fácil, como mencioné, supervisar el contrato porque no se cuenta con las herramientas ni los profesionales necesarios. Es aquí donde el Gobierno busca ponerse a la vanguardia y en este caso de las grandes Mega Obras concesionadas cuya entidad supervisora, usualmente es la ANI, debería vincular la metodología BIM a sus revisiones, si es cierto que el costo de su implementación es elevado a corto plazo, va a permitir una interdisciplinariedad y comunicación efectiva entre el cliente y el proveedor, logrará evidenciar problemas enormes antes de que sucedan y generará eficiencia en la revisión, verificación en campo, ya que otra de las bondades del BIM es su verificación en campo a través de herramientas tecnológicas sin necesidad de internet, toma de decisiones basado en la evidencia de todas las disciplinas y vinculará a todos los actores responsables del proyecto. En este momento la punta de la pirámide y el

proyecto piloto que cumple para exponer las múltiples bondades es la PLMB, este proyecto, el más grande en Colombia actualmente, es resultado de una APP precisamente y aunque, su supervisión no se encuentra a cargo de la ANI si no de la Empresa Metro de Bogotá, si que se está procurando supervisarla bajo algunos lineamientos que recomienda ésta entidad. Un problema que actualmente existe al interior de la EMB es precisamente ¿Cómo se puede dar supervisión a este proyecto? Inicialmente confieso, se pretendía basarse en guías, formatos y manuales de interventoría públicos del IDU, sin embargo, luego de múltiples interpelaciones y comités en los diferentes niveles, se llegó a la conclusión que la entidad de la que se debería amparar es la ANI, entidad con una experiencia más amplia en concesiones y que tiene a cargo todas las concesiones del país, así que en estos momentos se está buscando la articulación con la ANI de manera que se pueda exponer y plantear una metodología de supervisión efectiva y puntual aplicable a cualquier concesión en sus fundamentos pero que se propague y se adapte a las necesidades de cada proyecto, es así como surge la idea de darle mayor protagonismo al BIM, existente contractualmente, pero al ser reciente esta metodología se ha presentado un enorme desafío porque como mencioné anteriormente, el Metro de Bogotá es un piloto en BIM en un proyecto APP y se está buscando la rápida adopción de la metodología con el apoyo de expertos del BID. Así la estrategia preliminarmente es buscar una asesoría en temas de concesiones y supervisión de estas a la ANI y articularlo con el BIM existente, esto permitiría una supervisión adecuada a este tipo de proyectos beneficioso en tiempo real para el cliente y el proveedor.

Afortunadamente en Colombia existe una variedad de empresas que usa la metodología BIM como parte de su *know how*, pero muy pocas aplican el BIM en proyectos de infraestructura longitudinal, con esto dicho expondremos un caso muy puntual nuevamente y es el Metro de Bogotá el cual desde su apertura de pliegos para la licitación en la que “El concesionario deberá hacer uso de la metodología BIM (Building Information Modelling) como parte del proceso de Diseño, Construcción y Operación y Mantenimiento de toda la infraestructura...” (Empresa Metro de Bogotá, S.A., 2018), lo anterior se encuentra suscrito en el Apéndice Técnico 3 que es de dominio público, sin embargo daré un pequeño aporte desde mi experiencia ya que actualmente me encuentro laborando en la Empresa Metro de Bogotá como ingeniero BIM. Dentro de algunas de las funciones específicas que

cumple se deben realizar revisiones a los modelos que entrega el concesionario, aunque no se puede detallar mucha información si se puede decir que el control que existe respecto a una obra ejecutada por el método tradicional es real, afortunadamente he podido contar con ambos tipos de experiencia y el cambio es enorme, se genera más confianza en la manera que se revisa, se controla y se lleva la programación de la ejecución de la obra además que gracias a este modelado a través de BIM es posible anticiparse a posibles inconvenientes que se presentarían en campo, tal es el caso de la interferencia de redes con la cimentación de las pilas para el viaducto, o un sector con una dificultad elevada como lo es el autodenominado “pulpo” de la Av 68 x Av 1 de Mayo, el cual contempla un intercambiador sobre el cual cruzarán 2 viaductos vehiculares, pasa la Línea 1, existen redes matrices de acueducto y alcantarillado, redes matrices de Gas Natural Vanti, líneas de media y alta tensión de CODENSA, entre otros. Sin dar mayores detalles por confidencialidad puedo establecer y dar plena seguridad que lo que se está realizando entre los actores del proyecto promoverá que el diseño final presentado tanto para este punto como para todos los frentes de trabajo pensados, facilitarán la ejecución a el (los) contratista (s) ya que desde una etapa de diseño y temprana se pudieron prever interferencias que puedan alterar el desarrollo normal del proyecto incurriendo en retrasos e incumplimientos. Una muestra clara que pretende vincular el BIM como mencionamos al inicio de este capítulo es generar confiabilidad en la sociedad y credibilidad en que se están implementando controles efectivos para evitar la corrupción y promover la transparencia, es por esto que en la página web de la Empresa Metro de Bogotá existe información abierta donde se pueden observar los avances programados, la ejecución a la fecha y el dinero invertido, esto en un ambiente amigable y cuyos datos provienen del BIM en su 4 dimensión, ya que dentro de los procesos y los flujos de trabajo determinados entre los 4 actores (EMB²⁵, PMO²⁶, Interventoría, ML1²⁷) se logró vincular el trabajo colaborativo que promueve el BIM y a través de la plataforma conjunta en ACONEX de la casa Oracle, se reportan avances, interferencias, avances y registros presupuestales.

Otro caso de mostrar y exponer respecto a iniciativas BIM en Colombia además de la PLMB es el IDU y gracias a una pequeña reunión con algunos de sus funcionarios,

²⁵ Empresa Metro de Bogotá S.A

²⁶ Project Management Office

²⁷ Metro Línea 1, contratista ganador de la licitación.

quienes muy amablemente durante esta reunión autorizaron el uso de información de su dominio para fines académicos y que la misma se cita en el presente documento, se logró determinar y plasmar el estado general del BIM en Colombia para entidades públicas, como he mencionado anteriormente existe el BIM para construcción vertical en un estado de avance considerable, para infraestructura longitudinal desafortunadamente no se tiene un avance tan deseable.

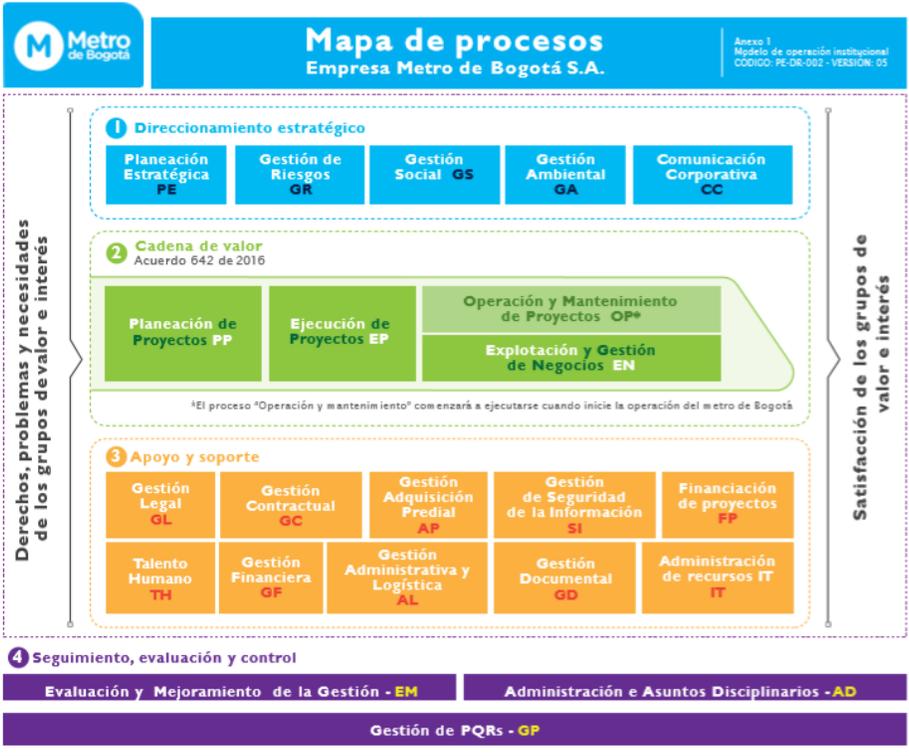


Figura 12. Mapa de procesos EMB.

Imagen extraída de (Metro de Bogotá, 2019)

Dicho lo anterior, el IDU es una de las entidades públicas que al mes de julio de 2021 su curva de aprendizaje va mejorando conforme a su estrategia de implementación de metodología BIM para proyectos va transcurriendo, gracias a la entrevista lograda con el IDU se pudo establecer su avance y cuáles son las metas y su estrategia en cuanto a BIM, resultado de ésta, actualmente el IDU conoce y tiene claro que los imprevistos, o errores durante la etapa de construcción pueden resultar en mayores costos a las

actividades normales de construcción, por esto el IDU al igual que lo expuesto en la teoría tiene en su estrategia la implementación y detección de errores, interferencias en las etapas de Diseño de sus proyectos. Es importante mencionar un poco de la historia del proceso de la adopción del BIM por parte del IDU, así para el año 2019 se empezaron a incluir requerimientos BIM y esta metodología fue aplicada, para el diseño únicamente, de la Avenida 68 y la Avenida Caracas, para el año 2020 gracias a la gestión del ingeniero Diego Sánchez director del IDU, el FDN y el próximo inicio de la PLMB, además de su experiencia en la estructuración de este tipo de proyectos conformó un equipo de trabajo que ha logrado anticipar tiempo en la implementación de la metodología, este equipo ha logrado dar inicio a la política de implementación BIM que se encuentra en estructuración (Ver figura 13), de manera complementaria con el equipo, se gestionaron cláusulas obligatoria para 16 contratos en etapa de pre construcción, estos contratos ascienden a un monto aproximado de 3 Billones de pesos. Así mismo para este año el IDU elaboró la primera versión del Protocolo BIM IDU, durante la entrevista se logró establecer que esta primera versión fue apoyada y basada en los protocolos propuestos por la EDU. Ya para el presente 2021 el IDU prepara su Plan BIM IDU, un documento que expone la estrategia de la entidad basado en 2 líneas de acción: agilizar los procesos que requiere la entidad y la implementación en los procesos de la entidad; esta estrategia en contraste con la Estrategia Nacional BIM (Gobierno de Colombia, 2020), propone una meta superior a los procesos propuestos en la Estrategia Nacional BIM derivado de un mejoramiento en la curva de aprendizaje en todos los procesos y es que el IDU en su proceso de planeación tiene en estrategias acordes con su experiencia con las cuales pretende anticipar la implementación del BIM para el año 2022 en un rango del 40% al 70% y para el año 2023 lograr la implementación en un rango del 70% al 100% logrando una ventaja respecto a lo previsto por las entidades nacionales entre los años 2024 a 2026 como se aprecia en la figura 13.



Figura 13. Estrategia BIM IDU.

Fuente: (IDU, 2021)

Resultado de los procesos de implementación de una etapa temprana de BIM con una racionalidad generada por la implementación en equipo y con una dirección experimentada, son los insumos necesarios para que se logren anticipaciones en protocolos de mejoramiento y esto se observa con el inicio de una segunda versión del Protocolo BIM IDU en la cual se busca la definición de usos y lograr vincular la etapa de construcción ya que a la fecha únicamente se cuenta con implementación de BIM en etapas de pre-construcción, al mismo tiempo que el IDU propone el desarrollo de sus 2 líneas de acción en la implementación BIM, el IDU realizó la solicitud a Colombia Compra Eficiente la inclusión del BIM como factor en calidad y procesos de selección, esto debido a que los denominados Pliegos Tipo no se encuentran vinculantes aún con cláusulas que se relacionen con el BIM; al interior de la entidad se está trabajando en compañía del departamento de Subdirección Técnica de Recursos en la adopción, capacitación y articulación de todo lo que podría abarcar el BIM como plataforma de transformación digital para la mejora en la gestión de proyectos, aprendizaje de la metodología, hardware, capacitaciones y se está trabajando en la modificación de los procesos y procedimientos que sean compatibles con el BIM tanto externos como internos.

Actualmente se está trabajando en la implementación de la metodología bajo el Protocolo BIM IDU, el objetivo final es la coordinación de mínimo 16 usos definidos por el IDU, a lo largo de la implementación se buscará vincular personal como un coordinador general que logre coordinar y vincular las especialidades del IDU y de esta manera establecer que el entregable final se encuentre totalmente coordinado y armonizado con las ESP, este protocolo promueve que la revisión a futuro se logre de los modelos definitivos, cuantificar y presupuestar desde el modelo federado o integrado.

Una vez estructurados los procesos de implementación con base en una regulación interna se irán generando procesos contractuales de obligatoriedad que lograrían medir su gestión con una mejor eficacia en los tiempos de diseño y posterior ejecución e inversión en las obras, de acuerdo con lo expuesto en la figura 22, se podrá exponer la Guía de Maduración de Proyectos, la cual busca establecer los criterios sobre los que serán evaluados los entregables, ésta se logrará vincular al proyecto desde la parte contractual. Una de las mayores inquietudes que podría surgir y que personalmente surgió durante la entrevista y fue ¿El uso de la tecnología será objeto de incremento en el AIU reconocible? A lo que el IDU, respondió que inicialmente el contratista se hará cargo de los softwares y demás tecnología que proponga usar, y esta será contemplada en la propuesta en su respectivo capítulo de Administración, ya que el uso de esta metodología no será para uso exclusivo de un proyecto del IDU, sino que se hará parte del *know how* de cada una de las empresas, por establecer un ejemplo el uso de la suite de Office como Word o Excel. De las conversaciones con los técnicos de las áreas de TI, SGDU y Dirección del IDU se convino la importancia de escribir y resaltar el proceso surtido al interior de la institución como dominio público, es por esto que los documentos mencionados anteriormente serán presentados en el Anexo No. 8 ya que fueron compartidos por parte del IDU para divulgación y fines académicos.

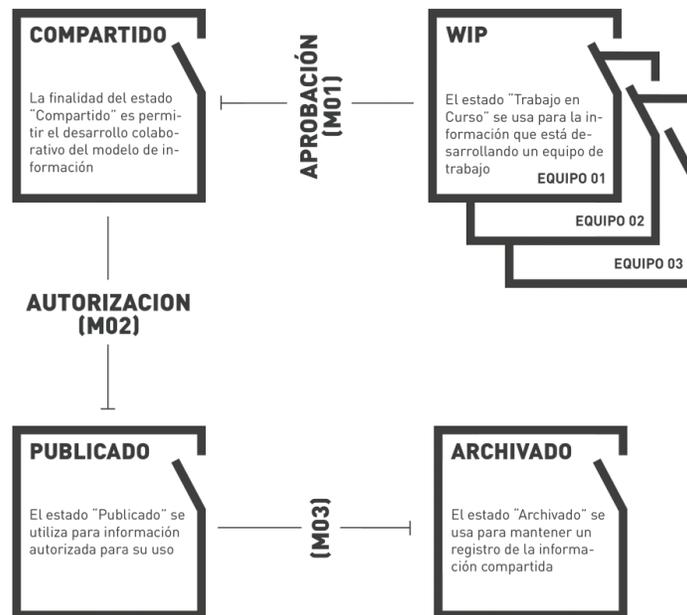


Figura 14. Concepto de CDE aplicado en IDU.

Fuente: (IDU, 2020)

PROYECTO AV CALI
GRUPO 4
IDU-1670-2020

Construcción



Contratista:
CONSORCIO MAHFER.
Interventoría:
CONSORCIO AIRUG 2020

AVENIDA CIUDAD DE CALI

OBJETO	CONSTRUCCION PARA LA ADECUACION AL SISTEMA TRANSMILENIO DE LA TRONCAL AV. CIUDAD DE CALI TRAMO 1 ENTRE LA AV. CIRCUNVALAR DEL SUR Y LA AV. MANUEL CEPEDA VARGAS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS EN BOGOTA D.C. - GRUPO 4 EN LA INTERSECCION DE LA AVENIDA MANUEL CEPEDA VARGAS Y OBRAS COMPLEMENTARIAS
ESTADO	En ejecución

Modelado BIM del proyecto



Figura 15. Casos de éxito IDU.

Fuente: (IDU, 2021)

El EDU²⁸ de la ciudad de Medellín lleva una curva de aprendizaje de aproximadamente 5 años en sus procesos contractuales de inversión de proyectos de obras públicas, contratos de concesión y de obras por precios unitarios que han logrado eficiencias respecto a periodos anteriores, esto ha generado confianza en el mercado y es así que el IDU los llama a realizar alianzas estratégicas y firmar convenios interadministrativos, contribuyendo con la realización del Protocolo BIM IDU.

Cuando se habla de ser una empresa visionaria con procesos de innovación, se debe basar en casos de éxito que lleven a exaltar esta gran cualidad y es que no es para menos pues la EDU recibió 4 nominaciones al premio de Excelencia BIM Colombia otorgado por CAMACOL y BIM Forum Colombia. Los proyectos nominados fueron: diseño de la Doble Calzada Avenida 34, Diseño para Mejoramiento Integral de Barrios, construcción de la Ciudadela Universitaria de Occidente y la construcción del Mejoramiento Integral de Barrios; siendo la primera la galardonada y por la cual el EDU obtuvo el valioso premio de Excelencia BIM Colombia (ver figura 16) y es que “La modelación BIM ... de dichos diseños, una vez coordinados, permitieron un ahorro en costos de aproximadamente \$695 millones y de dos años y medio de trabajo.” (Empresa de Desarrollo Urbano , 2020).



Figura 16. Modelo BIM ganador del premio para el EDU

Fuente: (Empresa de Desarrollo Urbano , 2020)

²⁸ Empresa de Desarrollo Urbano

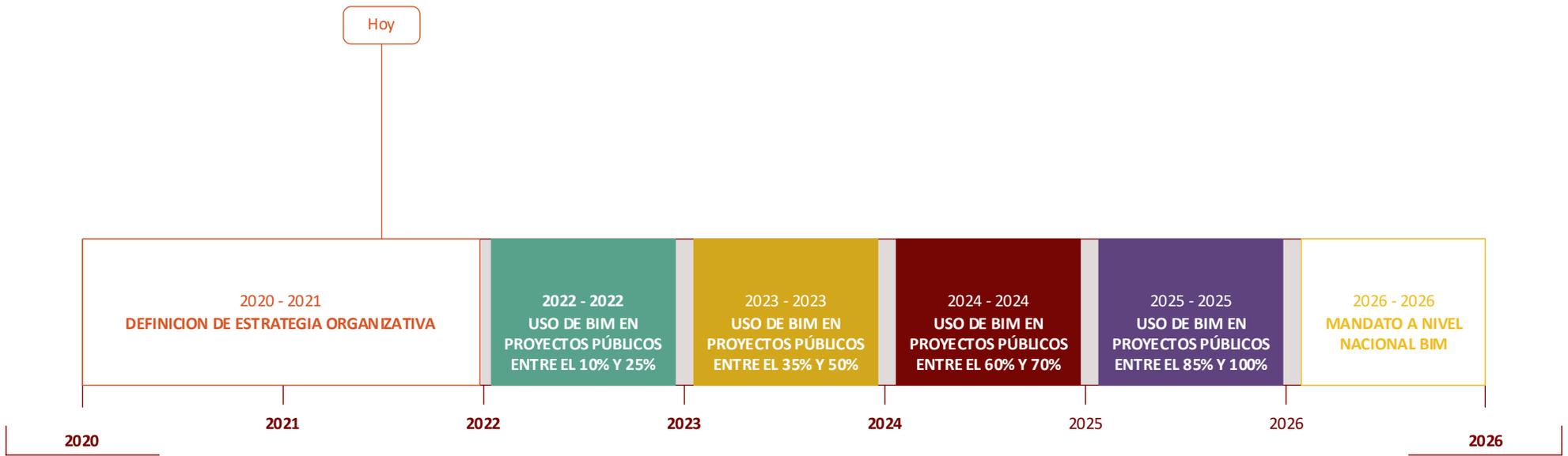


Figura 17. Temporalidad Estrategia Nacional BIM.

Fuente: elaboración propia con información de (Gobierno de Colombia, 2020)

Una de las problemáticas contractuales y de gestión en los procesos de contratación, evidenciado por las empresas y organismos internacionales encargados de la calificación respecto a la gestión administrativa y su deficiencia, se traducen en que Colombia tiene presuntamente una elevada corrupción a nivel mundial, información que fue ampliada en un mejor contexto general en el Anexo 10. Según el reporte del año 2020 elaborado por Transparency International ubica a Colombia en el puesto 92 sobre 180 países que fueron tenidos en cuenta para este estudio. (TRANSPARENCY INTERNATIONAL, 2020). Sin embargo, la posición en la que se encuentra Colombia resta importancia cuando se evidencia un puntaje de 39 sobre 100 lo que deja una visión complicada, este bajo puntaje acompañado de la pandemia de COVID-19 ha ahondado y expuesto de una manera más visible el mal que empaña a la nación tal como cita Transparency International “Una alarmante concentración de poderes en la rama ejecutiva en países como Colombia y El Salvador ha contribuido a una explosión de casos irregulares y de corrupción...” (TRANSPARENCY INTERNATIONAL, 2020).

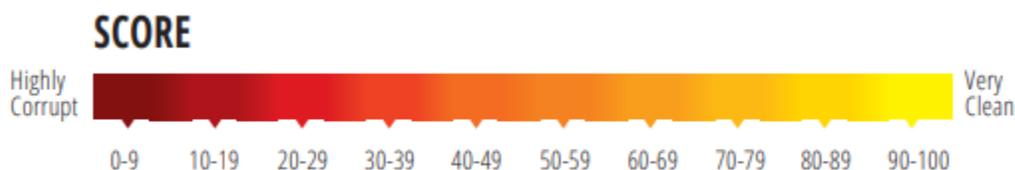


Figura 18. Rangos de medición Transparency International.

Imagen extraída de: (TRANSPARENCY INTERNATIONAL, 2020)

Evidente resulta el contraste entre países que se han adaptado a la metodología BIM y que, se encuentran entre los primeros lugares según este índice, y Colombia. Es importante aclarar que este índice se mide basado en la percepción que tiene la población, así que si se logra mejorar esta percepción los indicadores a su vez mejorarán.

En conjunto con las medidas que se han venido promoviendo por entidades como la SCI, la CIDH, o el Monitor Ciudadano de la Corrupción, se propone la implementación y uso de la metodología BIM como medida adicional, que seguramente no erradicará la corrupción, pero brindará acceso a la información, seguimiento en tiempo real y una eficiente manera de gestionar y gerenciar proyectos, esta metodología aplicable a todos los actores de los proyectos permitirán llevar una supervisión mas certera respecto al correcto desarrollo del

objeto contratado. Todo lo anterior resultará de seguro en un incremento a la percepción de la transparencia ya que como se menciona la información inicial estará siempre de acceso público y a través de la gestión documental que viene implícita con el BIM se permitirá establecer una trazabilidad a los procesos, planos, diseños y procedimientos para el correcto desarrollo de proyectos de infraestructura.

7. Sección 3 – Guía para la implementación de la metodología BIM

El producto final deseado y objetivo principal de los entregables del presente trabajo de grado busca establecer una guía metodológica que pueda ser usada por entidades, o empresas que busquen incurrir en la adopción de la metodología BIM, se pretende hacer entendible la metodología con lineamientos basados en estándares internacionales y nacionales, acompañando la Guía promovida, a través del Anexo No. 5 se establecerá un procedimiento sencillo para lograr federar modelos basado en un caso real ya que se busca que lo expuesto de manera teórica tenga su contraparte práctica. Este documento hará parte del repositorio de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y también se hace con el objetivo de que pueda ser usado como referencia por las entidades estatales para la reglamentación y los mandatos nacionales por venir en cuanto a metodología BIM.

¿Qué son o que es una APP – Asociación Público Privada? Pues bien, esta definición la extraeré de mi curso de concesiones aprobada durante el curso de la maestría y dirigida por el ingeniero Alejandro García Cadena, complementándola con información de la ANI²⁹. Una APP se define como un mecanismo de inversión privada que junto con los recursos públicos tradicionales se obtiene un financiamiento adicional para ejecutar proyectos del sector público con eficiencias y beneficios para el sector privado. En Colombia esta modalidad se ha venido haciendo uso desde hace aproximadamente 20 años y gracias a ésta se han logrado desarrollar Mega Proyectos como las carreteras 4G del país, esta modalidad tiene un procedimiento totalmente distinto a un proceso de contratación con el sector público tradicional, ya que al contar con inversión privada usualmente detrás de esta inversión encontramos a Bancos internacionales, quienes a su vez cuentan con aseguradoras, gestores de riesgo y coordinadores de proyectos; que durante las 3 etapas básicas de un proyecto que son: Etapa de pre-factibilidad, Etapa de Factibilidad y Etapa de Ejecución y control; de este calibre están presente y velando porque los intereses del privado y de quien realiza la inversión logre la recuperación de su capital, sin evadir lo más importante que es cumplir con el objeto principal del proyecto y siempre buscando el desarrollo sostenible de la región, junto con la Banca se cuenta con una Junta directiva elegida de común acuerdo entre los proveedores del capital y el sector

²⁹ Agencia Nacional de Infraestructura.

público para gerenciar y siempre velar por el cumplimiento y el desarrollo eficiente del proyecto propuesto. Para la correcta coordinación y gestión del proyecto la gerencia presidida por la junta directiva usualmente se vincula una PMO³⁰ quienes asesorarán a la gerencia en todos y cada uno de los aspectos pertenecientes al Contrato de Concesión, finalmente encontramos al Contratista y la Interventoría. Para esquematizar de manera más puntual lo descrito anteriormente ver la figura 20. A la hora de hablar de concesiones o APP's se debe considerar su estructuración y sobre todo tener en cuenta los riesgos que son uno de los métodos de control que actualmente se usan para supervisión de proyectos, en el anexo 11 se propone de manera muy sencilla de que se componen comúnmente estos riesgos, como se conforma la matriz de los mismos y alternativas de como el BIM podría influir en la supervisión y control eficiente de los mismos.

Es evidente el control y la supervisión que un proyecto bajo esta modalidad requiere y es precisamente por esto que la metodología BIM representa una ventaja ya que esta supervisión es eficaz y logra gestionar de manera gerencial la información que el cliente y el proveedor requieren en determinado momento. Pero ¿Cómo generar inclusión de requisitos o metodología BIM?, si se tiene en cuenta que tanto las licitaciones públicas como las APP's deben tener los siguientes principios básicos: transparencia, integridad, publicidad, concurrencia, no discriminación, igualdad y eficiencia; y que la metodología BIM de igual manera deberá seguir estos lineamientos, los pliegos o TDR³¹ podrían vincular, haciendo el uso del BIM, cláusulas que favorezcan la transparencia y eficiencia, 2 cualidades que el BIM ha demostrado efectivamente desde su creación, sin embargo podría generarse la resistencia de la vinculación contractual del BIM amparado en que se requieren ciertos software específicos y la contrapropuesta a este fuerte argumento es permitir el uso de cualquier herramienta tecnológica evitando en los términos o licitación exigir una herramienta específica. Colombia podría introducir su mandato BIM bajo el uso del OpenBIM para abrir formatos, y evitar acaparamiento de casas específicas. Una buena guía que se podría seguir para la inclusión de los requisitos del gobierno español se denomina "Guía de apoyo a contrataciones con requisitos BIM" (MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA). En la figura 19 extraída de esta guía se puede evidenciar los diferentes usos BIM que deberían cumplir las entidades licitadoras.

³⁰ Project Management Office

³¹ Términos De Referencia

USO BIM	NOMBRE USO BIM	OBJETIVO ESPERADO	RESPONSABLE
1	Información centralizada	Usar los modelos BIM como fuente única, estandarizada y centralizada de la información producida durante la redacción de proyecto constructivo para su almacenamiento entorno al modelo digital y para una más coherente y uniforme transferencia de información de la fase de redacción a la fase de obra.	Consultor
2	Revisión de diseño	Uso de los modelos BIM potenciando su capacidad para revisar, modificar y complementar información del proyecto constructivo.	Consultor/ FGV
3	Visualización	Usar los modelos BIM para favorecer la visualización del avance de los trabajos de diseño, permitiendo una mejor comprensión de los procesos y una más fácil anticipación en la toma de decisiones. Esto permite también favorecer el sistema de producción de información del proyecto.	Consultor
4	Coordinación 3D	Mejorar la coordinación del proyecto, integrando el uso de los modelos BIM en los procesos de coordinación entre disciplinas, incluso terceros externos al proyecto.	Consultor
5	Obtención de documentación 2D	Obtener la documentación 2D a partir de los modelos BIM, y centralizar la producción de información 2D en los modelos BIM. Esto permite un mayor grado de coherencia en la información contenida en los planos.	Consultor
6	Obtención de mediciones	Usar modelos BIM con información clasificada y estandarizada, para garantizar un mayor grado de trazabilidad para las partidas que componen el presupuesto.	Consultor
7	Generación de infografías	Generación de un informe visual realista y renderizados para uso y promoción de los trabajos realizados.	Consultor
8	Simulaciones constructivas	Uso de los modelos BIM para realizar simulaciones constructivas que permitan reducir riesgos e incertidumbres en la fase de obra y la elección de los sistemas y procesos óptimos y seguros.	Consultor
9	Medio ambiente	Obtención de la huella de carbono de la solución proyectada mediante el uso de los Modelos BIM.	Consultor
10	Análisis de alternativas	En las fases tempranas del proyecto, se usarán los Modelos BIM como herramientas de evaluación de alternativas propuestas, garantizando una mayor visibilidad y capacidad de decisión de la alternativa óptima a desarrollar.	Consultor
11	Gestión RAMS	Uso de los modelos BIM como apoyo para los análisis de riesgos y gestión RAMS.	Consultor

Figura 19. Listado de posibles usos BIM

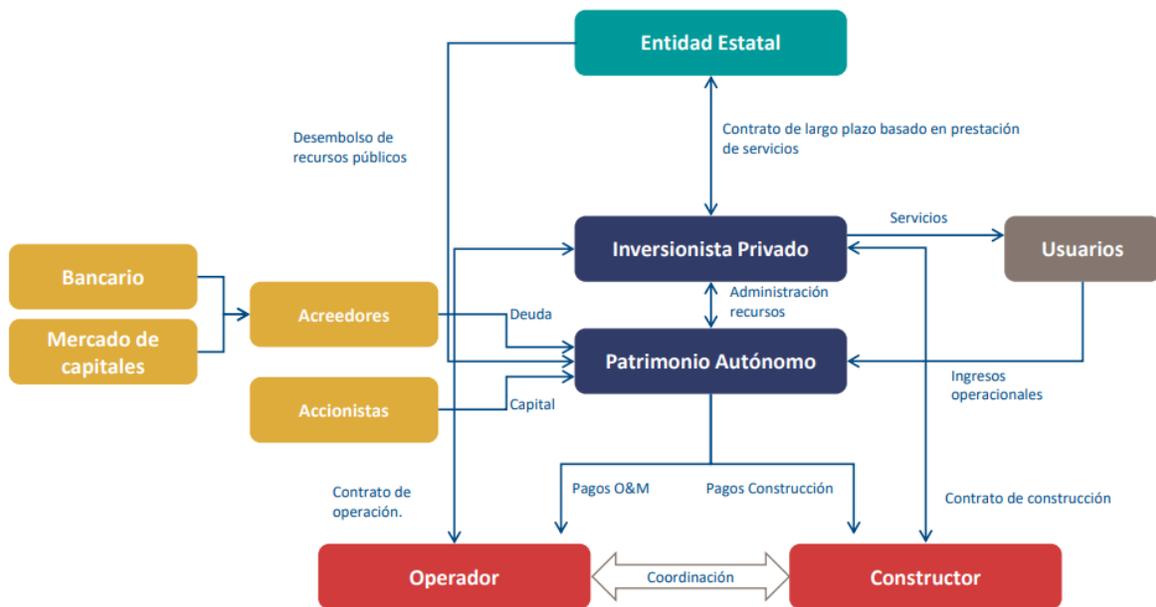


Figura 20. Esquema básico de transacción de una APP.

Fuente: (Departamento Nacional de Planeación, 2021)

Dentro del marco normativo de las APP's encontramos las leyes 80 de 1993 y 1150 de 2007, estas reflejaban en sus apartes esta modalidad, sin embargo, se generó un incremento de aportes provenientes de la nación muy evidente (ver figura 21), en algunos casos sin lograr mayores avances, eso provocó grandes incumplimientos ya que el contratista iba ejecutando a medida que iba recibiendo recursos, esta mala práctica sumado con que el Estado brindaba anticipos independientemente del cumplimiento del servicio llevó a la modificación de estas leyes y se creó la ley 1508 de 2012 en la cual se reguló el aporte del estado y se estableció que el contratista deberá financiar toda la etapa de estudios y diseños y construcción y únicamente percibirá retribuciones hasta tanto garantice el cumplimiento al servicio, el cómo se manejaba y como se maneja un proyecto bajo la modalidad APP se puede evidenciar en el paralelo representado en la figura 21. La normatividad vigente actualmente que rige las APP's se pueden encontrar de manera resumida en el Anexo 9.

Paralelo Ley 80/93 y 1150/07 - Ley 1508/12

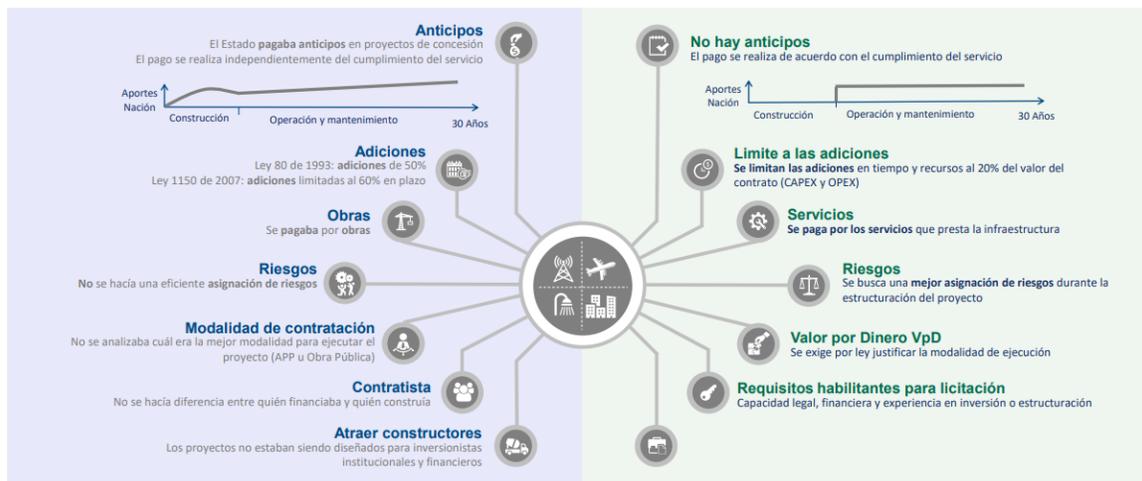


Figura 21. Paralelo metodologías de manejo de proyectos APP.

Fuente: (Departamento Nacional de Planeación, 2021)

Realizando una síntesis de lo que se encuentra establecido en la Ley 1508 de 2012 o Ley APP se proponen 4 ítems agrupados en las particularidades. Inicialmente como disposiciones generales se encuentra que esta ley es de carácter transversal es decir para proyectos regionales o nacionales, por esto mismo las entidades encargadas de los proyectos actualmente registran los siguientes números: ANI – 78, Alcaldía de Bogotá – 39, Gobernación de Magdalena – 12, Alcaldía de Medellín – 10, DADEP – 8, INVIAS – 8, Ministerio de Educación Nacional – 6, IDU – 6, Alcaldía de Cartagena – 6, Alcaldía de Bucaramanga – 6, Secretaría de Movilidad – 5, Departamento Administrativo de Valorización Distrital – 5, Gobernación de Cundinamarca – 5 y la Gobernación de Antioquia – 5 (Departamento Nacional de Planeación, 2021). Se considera APP un proyecto de un monto mínimo de 6.000 SMMLV equivalentes aproximadamente a \$5.451 Millones de pesos, el plazo máximo para su ejecución deberá ser de 30 años, en caso de prorrogas o adiciones no deberán exceder el 20% del valor del contrato y los aportes monetarios nacionales dependerán de la disponibilidad del servicio. Como segundo y tercer ítem se define la clasificación del proyecto conforme si es de iniciativa pública en la que la proveniencia de los recursos son de carácter público, privado o mixto y el proceso de selección se llevará por licitación pública o si es de iniciativa privada en la que la proveniencia de los recursos puede ser 100% por la explotación económica del servicio,

como por ejemplo los peajes en las autovías, y su proceso de selección corresponde a selección abreviada; o si los recursos de la iniciativa privada provienen con dineros del sector público con un tope máximo del 30% del valor del contrato y se complementa con la explotación del servicio su proceso de selección se remitirá nuevamente a la Licitación Pública. El último ítem de estas particularidades establece el manejo de recursos a través de patrimonios autónomos, propone una tipología de vigencias futuras diferentes a los contratos de obra pública en las que se busca asumir compromisos presupuestales y establece la etapa de reversión de la infraestructura. Al revisar el tiempo al que usualmente se proyectan este tipo de contratos, es decir aproximadamente 30 años, la metodología BIM entraría de manera armónica a vincularse con la estructuración y organización de las APP para lograr un incremento eficiente en la gestión y supervisión de proyectos.

7.1. Antecedentes y preliminares

7.1.1. BIM: ¿Qué es?

BIM se establece como una metodología de trabajo colaborativa, desde hace un tiempo alrededor del mundo viene generando renombre por la revolución que plantea en el sector de la construcción, parte del modelado 3D que sería lo usual en las metodologías tradicionales de construcción, su valor adicional se da cuando este modelado 3D se basa en datos, propiedades, definiciones y se vinculan todas las disciplinas que intervienen en cualquier proyecto, de manera que se puede hablar de un modelo “vivo”; su valor sigue incrementando cuando en la ejecución a este modelo 3D ya interdisciplinado se le asigna o se le vincula el tiempo y este pasa a ser medible de esta manera llegamos al 4D; seguimos avanzando por este camino y se encuentra la asignación al modelo 4D el valor, los costos y la rentabilidad económica y entramos al 5D; ambientalmente la construcción se ha volcado hacia la mentalidad de LEED³² Construction es decir la construcción además de rentable y útil para la sociedad se busca que sea ambientalmente sostenible con diferentes prácticas y materiales a usar durante el proceso constructivo y es en el 6D donde se evalúan todas las alternativas y se vinculan al proyecto; finalmente por medio de la 7D es el producto final que surge de la combinación de las dimensiones anteriores y

³² Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por su traducción al español

aquí se obtendrá la versión más fiel que será construida, además de establecer la gestión integrada del ciclo de mantenimiento.

7.1.2. Ventajas del BIM

En el caso puntual de Colombia, el BIM no ha sido ni de cerca explotado, ni se han aprovechado las características que definen esta metodología, o no a nivel general, con algunas excepciones en el mercado actual de firmas constructoras que usan esto para la construcción de edificaciones o viviendas, así que la pregunta a plantearse sería ¿Por qué usar BIM? Bien la respuesta es sencilla, porque se lograría generar una centralización de la información del proyecto, además de la reducción considerable de interferencias o imprevistos durante la ejecución, lograr un control más aproximado y real del proyecto en cuanto a tiempos y costos, aumentando la rentabilidad de quien construye, volviéndose más eficiente si se trabaja colaborativamente y disminuyendo tiempos perdidos en diseños vinculantes. Esta respuesta nos llevaría a otra pregunta importante ¿Si es así de beneficioso y trae tantas ventajas, por qué no aplicarlo en el sector público y sobre todo en la Infraestructura Vial? Bueno esta respuesta es la que se busca responder a través de la guía planteada, pero de manera preliminar, se puede establecer una posición sencilla y es que, si se pretende aplicar, que actualmente existen lineamientos en el país buscando el mandato nacional y existe un Megaproyecto que será el piloto del uso de la metodología BIM, me refiero al Metro de Bogotá, y puede marcar la hoja de ruta para que sea replicado en las diferentes obras del sector público de Infraestructura vial. Pero definitivamente no es nada económico en el corto plazo y se requieren de profesionales muy escasos en el país por la preparación y el conocimiento que el BIM requiere, tal como lo evidencia la figura 22 a continuación de la cual se puede explicar cada una de las líneas allí expuestas de la siguiente manera:

- 1. Línea verde: denota una mayor relación esfuerzo/costo en las etapas de diseño y construcción.
- 2. Línea roja: evidencia que un cambio no planificado o no previsto durante la construcción es mucho más costoso conforme se avanza el proyecto.
- 3. Línea amarilla: expone la metodología tradicional con el sistema CAD y se ve que el impacto más grande surge en la etapa de construcción.

- 4. Línea azul: propone la metodología BIM y expone una gran curva en la etapa de diseño, pero un mayor control y menos sobrecostos en las etapas de construcción y operación.

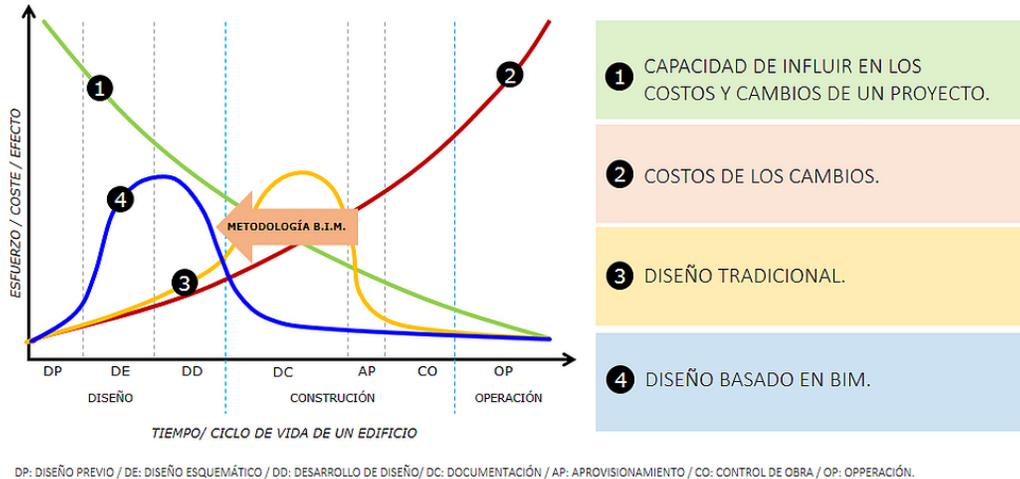


Figura 22. Curva del esfuerzo del proceso constructivo

Imagen obtenida de: (Metrico BIM Consultores, s.f.)

7.1.3. Niveles de madurez

Los BIM Levels o nivel de madurez BIM se define como una escala para determinar de manera sencilla y rápida el estado de la implementación y uso del BIM en un determinado proyecto.

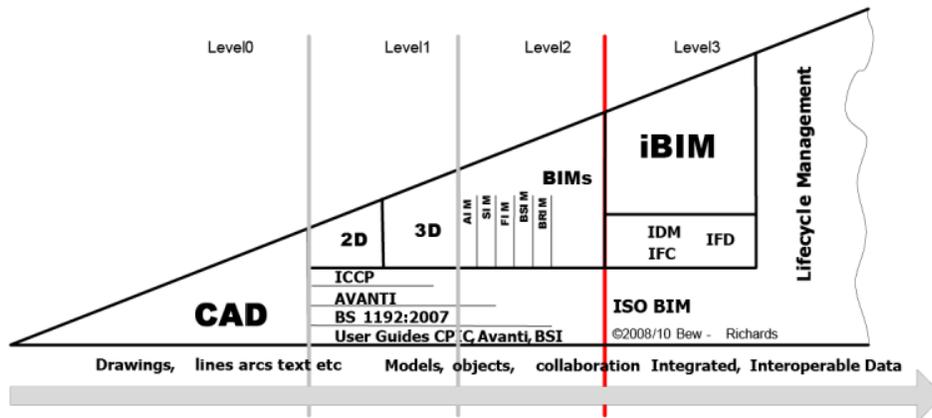


Figura 23. Niveles de madurez BIM de Bew & Richards.

Fuente: (BibLus, 2019)

Tabla 1. Niveles de madurez BIM

Nivel de madurez	Descripción
0 o Pre-BIM	Definición y establecimiento del flujo de trabajo, se incluye información preliminar CAD propuesta por cada disciplina independiente.
1 o Modelamiento	Cada disciplina fabrica su modelo 3D
2 o Trabajo Colaborativo	Se vinculan las disciplinas, conformando un modelo federado, sin detalles diferentes a la 3 Dimensión BIM
3 o Integración de las disciplinas	Se genera un modelo único en formato IFC o formato libre de acceso para todas las disciplinas, es decir se crea un entorno común de datos y allí se trabaja

Fuente: (ESPACIO BIM, 2017)

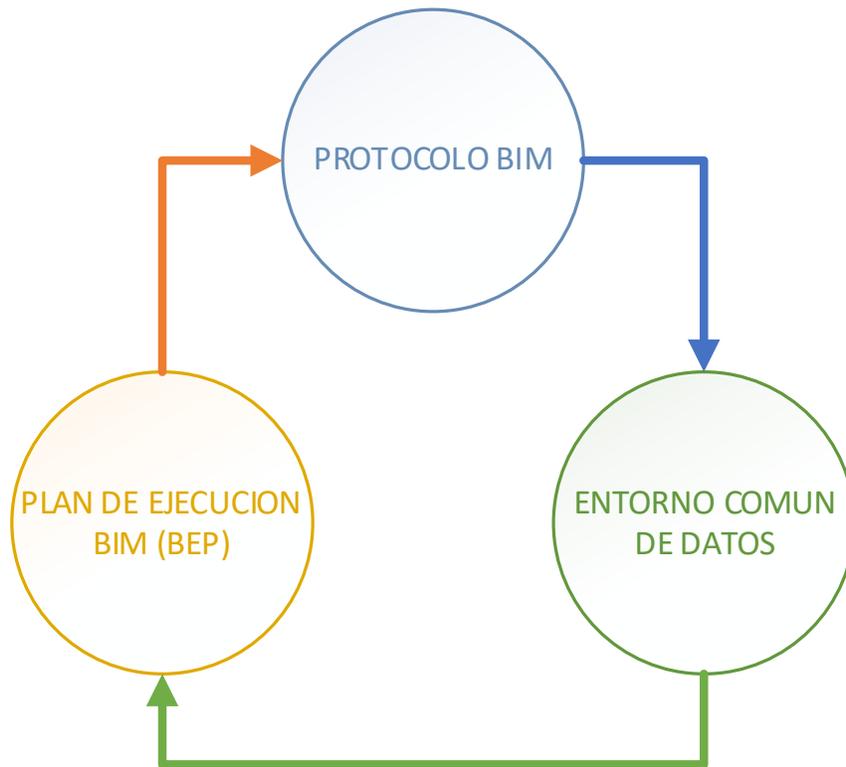


Figura 24. Estandarización de procesos BIM Levels.

Fuente: Elaboración propia.

7.1.4. LOD – Niveles de detalle/desarrollo

Cada modelo BIM es desarrollado según los requerimientos del cliente, de la misma manera es el cliente quien determina que objetivos o cuales son sus necesidades y/o beneficios, son estos quienes al final del ejercicio determinaran el nivel de detalle o desarrollo de los modelos entregados.

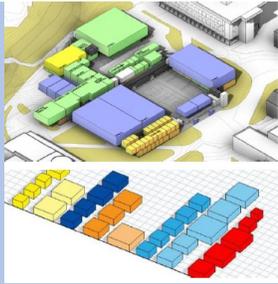
Es muy importante poder determinar que tanto se requiere modelar para las diferentes etapas del proyecto (prefactibilidad, factibilidad y construcción), porque conforme a la correcta planificación BIM se puede asignar al personal y recursos estrictamente necesarios sin llegar a generar sobrecargas en horas de trabajo.

De cara a la calidad del entregable deseable por el cliente es muy importante contar y determinar con el LOD adecuado, pero como está mencionado en el título de este aparte, LOD se puede definir de 2 maneras según (MURALIT, 2019):

- LOD (Level Of Development): define el nivel de desarrollo o madurez de información que posee un elemento del modelado, y éste es la parte de un componente, sistema constructivo o montaje del edificio.
- LOD (Level Of Detail): corresponde a la evolución lineal de cantidad y riqueza de información de un proceso constructivo; siempre aumenta con el tiempo y se refiere al modelo de proyecto, los costes/presupuestos y la planificación temporal.

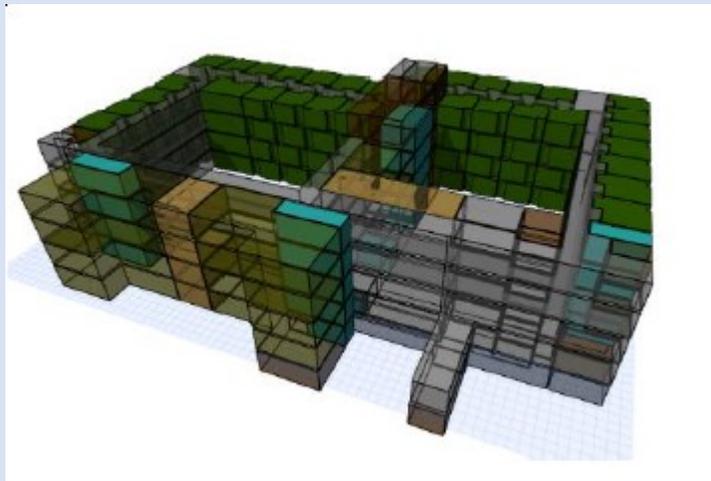
Tabla 2. Definición de LOD

LOD	Descripción
100	No corresponde a representaciones geométricas, se basa mas en conceptos visuales, es decir representa su apariencia física, mas no su forma, tamaño o ubicación precisa.



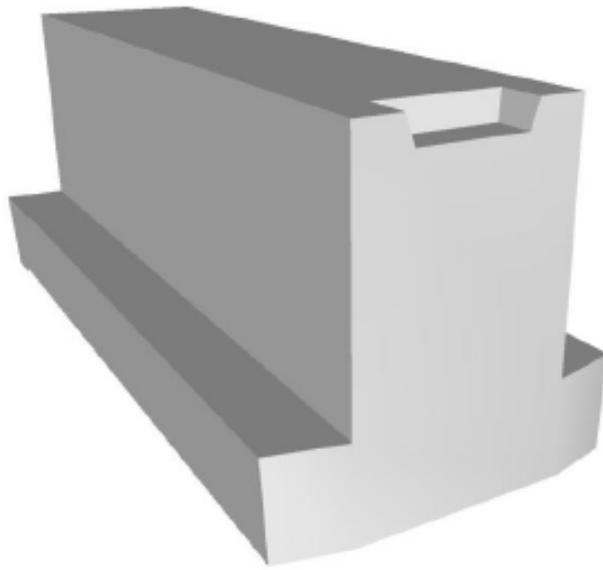
200

Se tiene un diseño esquemático, el objeto posee una dimensión geométrica parametrizada, se puede interpretar de mejor manera el objeto que pretenden representar.



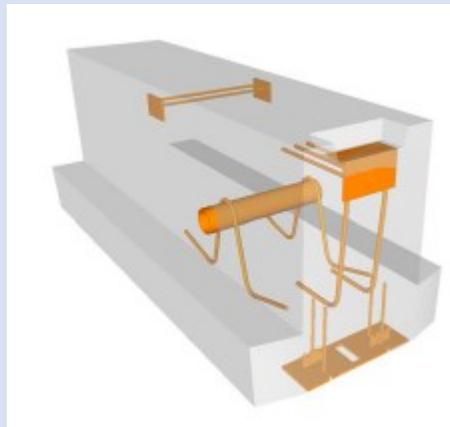
300

Se tiene un diseño más específico, el objeto cuenta con cantidades, forma, tamaño, ubicación y orientación, en este nivel resulta fácil poder realizar mediciones desde el modelo sin recurrir a las memorias de cálculo, se tiene ubicación precisa del objeto.



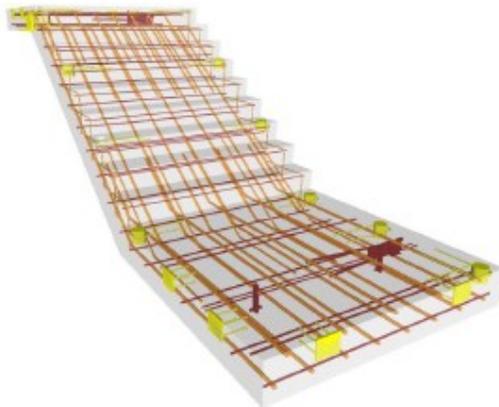
350

Adicional al LOD 300, se puede establecer coordinación e interferencias, y permite la conexión con otros sistemas constructivos.



400

El modelo presenta suficiente detalle y precisión para ser construido o fabricado, adicionalmente a lo llegado en el LOD 350



500

Conocido como modelo As-Built, corresponde al modelo que es estrictamente fiel a la realidad construida, coincide con todas las medidas y los posibles errores fueron subsanados.



Fuente: (BIM FORUM, 2020)

7.1.5. Roles

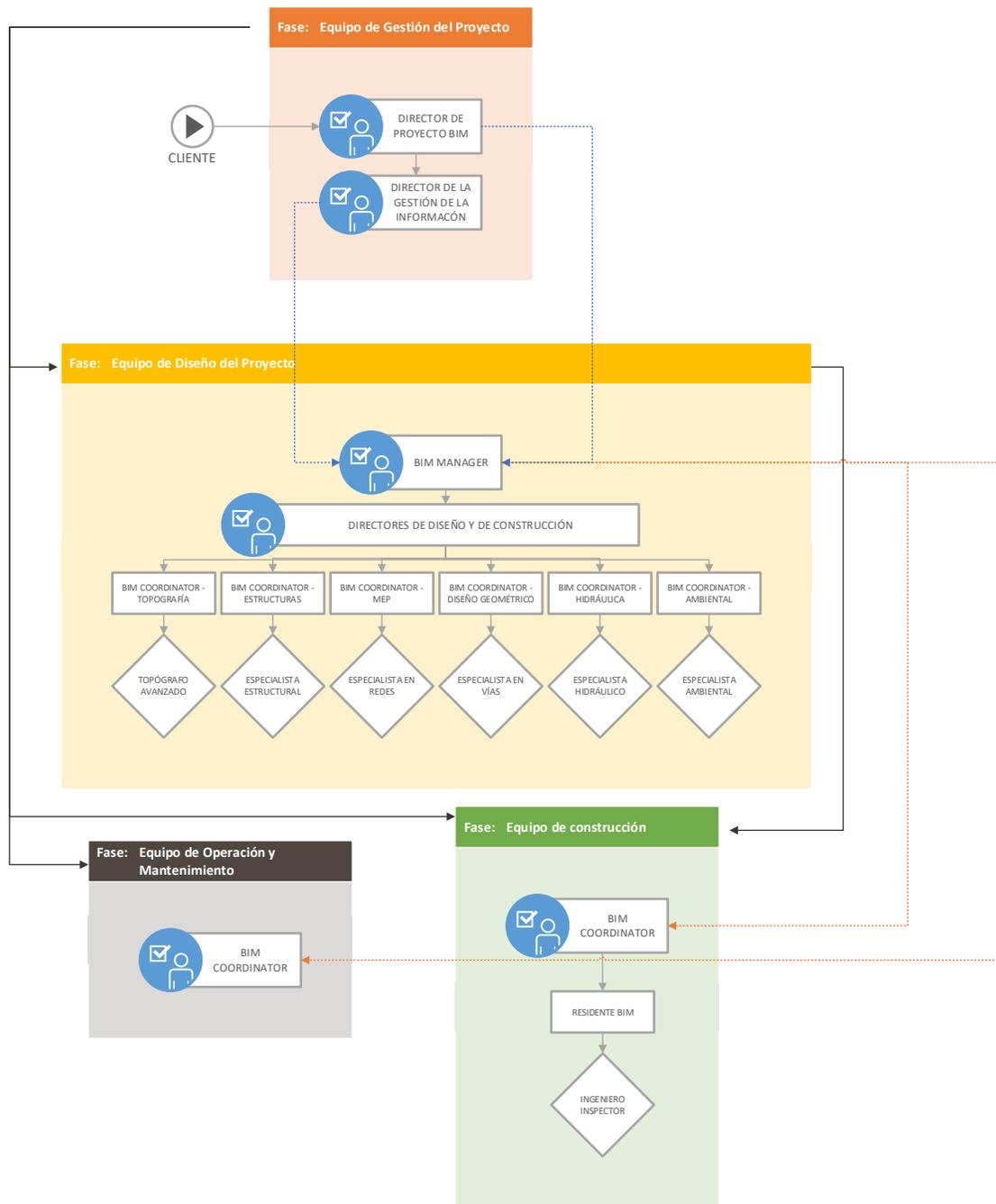


Figura 25. Definición de Roles en BIM.

Fuente: elaboración propia

7.1.6. Software

Muchas personas definen el BIM como una herramienta o software, mas no como una metodología, aunque están muy equivocados en el concepto aciertan en algo y es que efectivamente para que tengamos BIM se deben contar con herramientas tecnológicas y programas especializados según la disciplina que incurra en el proyecto, pues a saber no todas las disciplinas existentes conviven en un mismo proyecto o es muy específico el proyecto en el que confluyesen todas éstas, como fuese a continuación se hará un breve repaso por las herramientas más reconocidas y usadas, para la elaboración de modelos, la coordinación de modelos, planificación, costos y algunos visores que existen, esto entre otras múltiples herramientas existentes. En el Anexo No. 5 se evaluará la herramienta usada para el caso práctico en cada una de las dimensiones que propone la metodología BIM.

Con el pasar del tiempo han surgido herramientas específicas para diferentes estructuras y una de las soluciones en el campo BIM que ha surgido para la construcción específica de puentes se denomina Allplan Bridge y tal como lo exponen en su página web “Con Allplan Bridge, se ha creado una plataforma totalmente nueva diseñada para simplificar las tareas y hacer que los flujos de trabajo sean eficientes.” (ALLPLAN, 2021), es por herramientas como la mencionada anteriormente que a hoy se han logrado simplificar procesos y se busca la posibilidad de que este tipo de herramientas sean vinculantes con las demás y se genere un proceso altamente colaborativo. Para observar con mas detalle los beneficios y cómo se verían los proyectos en este software, los invito a seguir el siguiente link: <https://www.allplan.com/es/productos/bridge/#noreferrer/4/>.

La casa tal vez mas conocida y que por sus diferentes programas y familiarización con los arquitectos e ingenieros, es la primera de la lista que abarca si no todo, la mayoría del mercado de herramientas para BIM y todos sus componentes, así es me refiero a la casa de Autodesk® y otra de las casas no tan conocida en este lado del mundo pero muy usada en Europa, sin lograr alcanzar los números de Autodesk® es la casa Bentley.

7.1.6.1. *Arquitectura e ingeniería de la construcción.*

De acuerdo con la página oficial de Autodesk, dentro de este módulo podemos encontrar a Revit, FormIt Pro, 3ds Max y AutoCAD; estas como las más conocidas y usadas

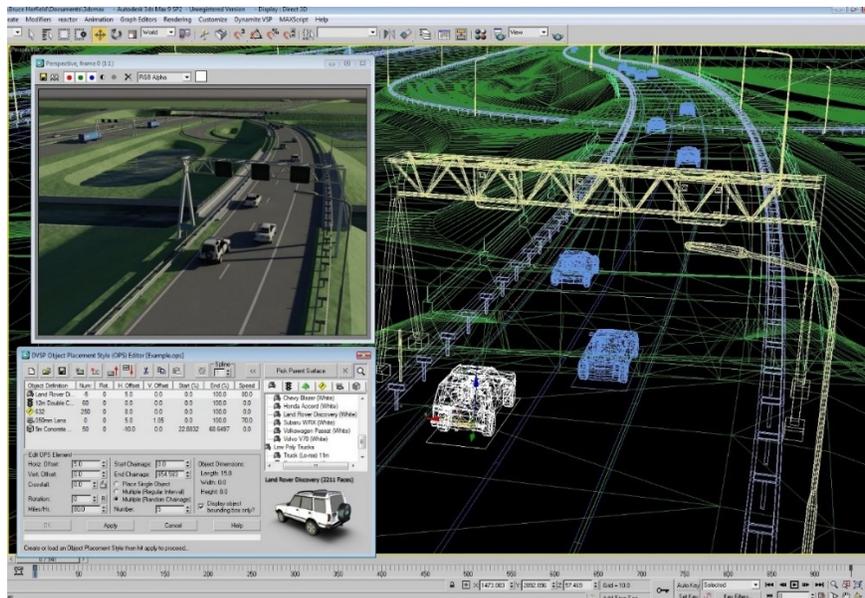


Figura 27. Funcionamiento de InRoads de la casa Bentley.

Fuente: (Bentley, 2021)

7.1.6.3. Planificación 4D.

Referenciando nuevamente la casa más reconocida, encontramos a Navisworks Manage que permite vincular dentro de sus funciones las típicas programaciones de Microsoft Project, o incluso de Primavera de la casa Oracle. Por otra parte, podremos encontrar en el mercado el programa Synchro Pro, Navigator o iTwo de diferentes casas. Ver figura 28.

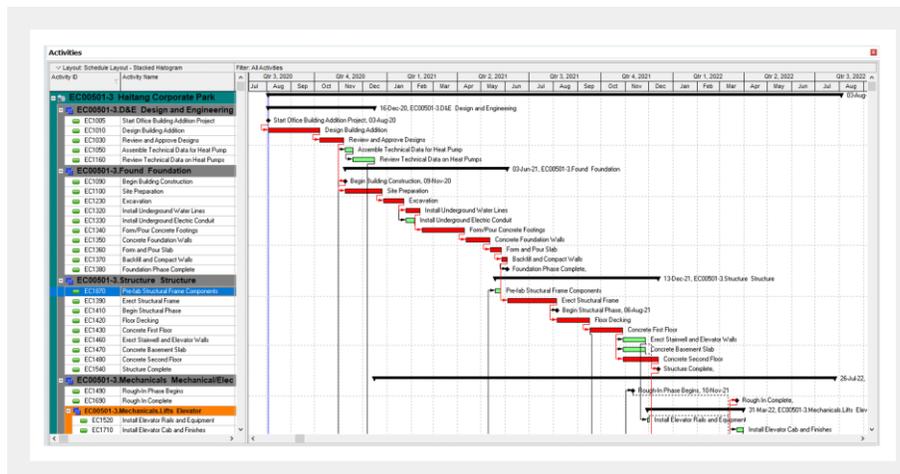


Figura 28. Primavera P6

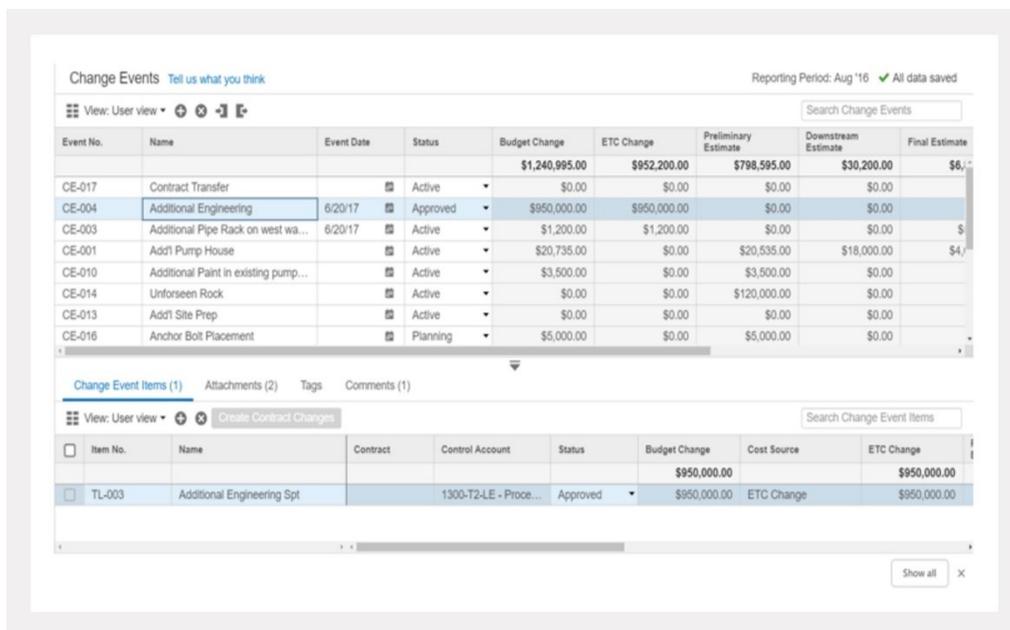
Fuente: (ORACLE, 2021)

7.1.6.4. Control de costos 5D.

Para esta dimensión desafortunadamente la casa Autodesk no posee algún software para poder dar la pelea, sin embargo, encontramos variedad de programas como lo son Presto de RIB, Construcontrol de LEGIS, Aconex Cost de Oracle o Vico Office de Trimble. Ver figura 29.

7.1.6.5. Visores de modelos

Como ha sido el común denominador, el programa más reconocido proviene de la casa Autodesk, nuevamente, esta casa nos entrega el programa BIM 360 como visualizador, aunque también existen Solibri, Aconex BIM, Synchro o Tekla. Valdría la pena resaltar que para la gestión de modelos el visualizador BIM de Aconex ha desarrollado un plug-in que vincula la gestión y reporte de interferencias con el programa Navisworks Manage. Ver figura 30.



The screenshot displays the Aconex Cost software interface. At the top, it shows 'Change Events' with a reporting period of 'Aug '16' and a status of 'All data saved'. Below this is a table of Change Events with columns for Event No., Name, Event Date, Status, Budget Change, ETC Change, Preliminary Estimate, Downstream Estimate, and Final Estimate. The table lists several events, including 'Contract Transfer', 'Additional Engineering', 'Additional Pipe Rack on west wa...', 'Add'l Pump House', 'Additional Paint in existing pump...', 'Unforeseen Rock', 'Add'l Site Prep', and 'Anchor Bolt Placement'. Below the Change Events table is a section for 'Change Event Items (1)' with columns for Item No., Name, Contract, Control Account, Status, Budget Change, Cost Source, and ETC Change. This section shows one item: 'TL-003 Additional Engineering Spt' with a budget change of \$950,000.00 and an ETC change of \$950,000.00. The interface includes search bars, view options, and a 'Show all' button.

Event No.	Name	Event Date	Status	Budget Change	ETC Change	Preliminary Estimate	Downstream Estimate	Final Estimate
				\$1,240,995.00	\$952,200.00	\$798,595.00	\$30,200.00	\$6,...
CE-017	Contract Transfer		Active	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	
CE-004	Additional Engineering	6/20/17	Approved	\$950,000.00	\$950,000.00	\$0.00	\$0.00	
CE-003	Additional Pipe Rack on west wa...	6/20/17	Active	\$1,200.00	\$1,200.00	\$0.00	\$0.00	\$
CE-001	Add'l Pump House		Active	\$20,735.00	\$0.00	\$20,535.00	\$18,000.00	\$4,
CE-010	Additional Paint in existing pump...		Active	\$3,500.00	\$0.00	\$3,500.00	\$0.00	
CE-014	Unforeseen Rock		Active	\$0.00	\$0.00	\$120,000.00	\$0.00	
CE-013	Add'l Site Prep		Active	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	
CE-016	Anchor Bolt Placement		Planning	\$5,000.00	\$0.00	\$5,000.00	\$0.00	

Item No.	Name	Contract	Control Account	Status	Budget Change	Cost Source	ETC Change
TL-003	Additional Engineering Spt		1300-T2-LE - Proc...	Approved	\$950,000.00	ETC Change	\$950,000.00

Figura 29. Aconex Cost.

Fuente: (ORACLE, 2021)

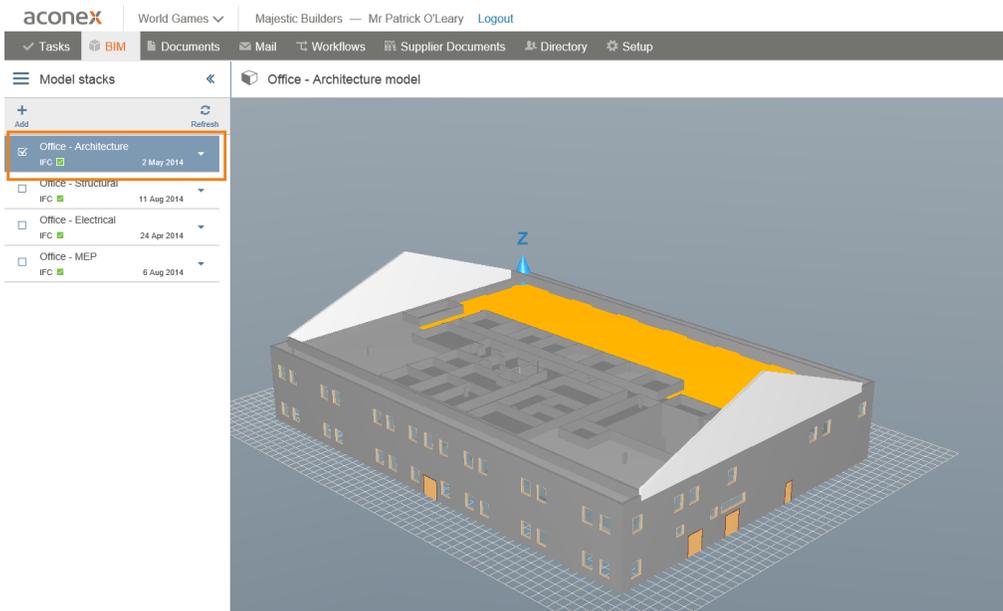


Figura 30. Visualizador Aconex BIM

Fuente: (ORACLE, 2021)

7.1.6.6. **Gestión documental y CDE³³.**

Destaca nuevamente la casa Autodesk con su entorno BIM 360 Docs y A360, no menos importante encontramos Project Wise de Bentley, o Aconex Documental de Oracle. Ver figura 31.

³³ Entorno de Datos Común por su traducción al español

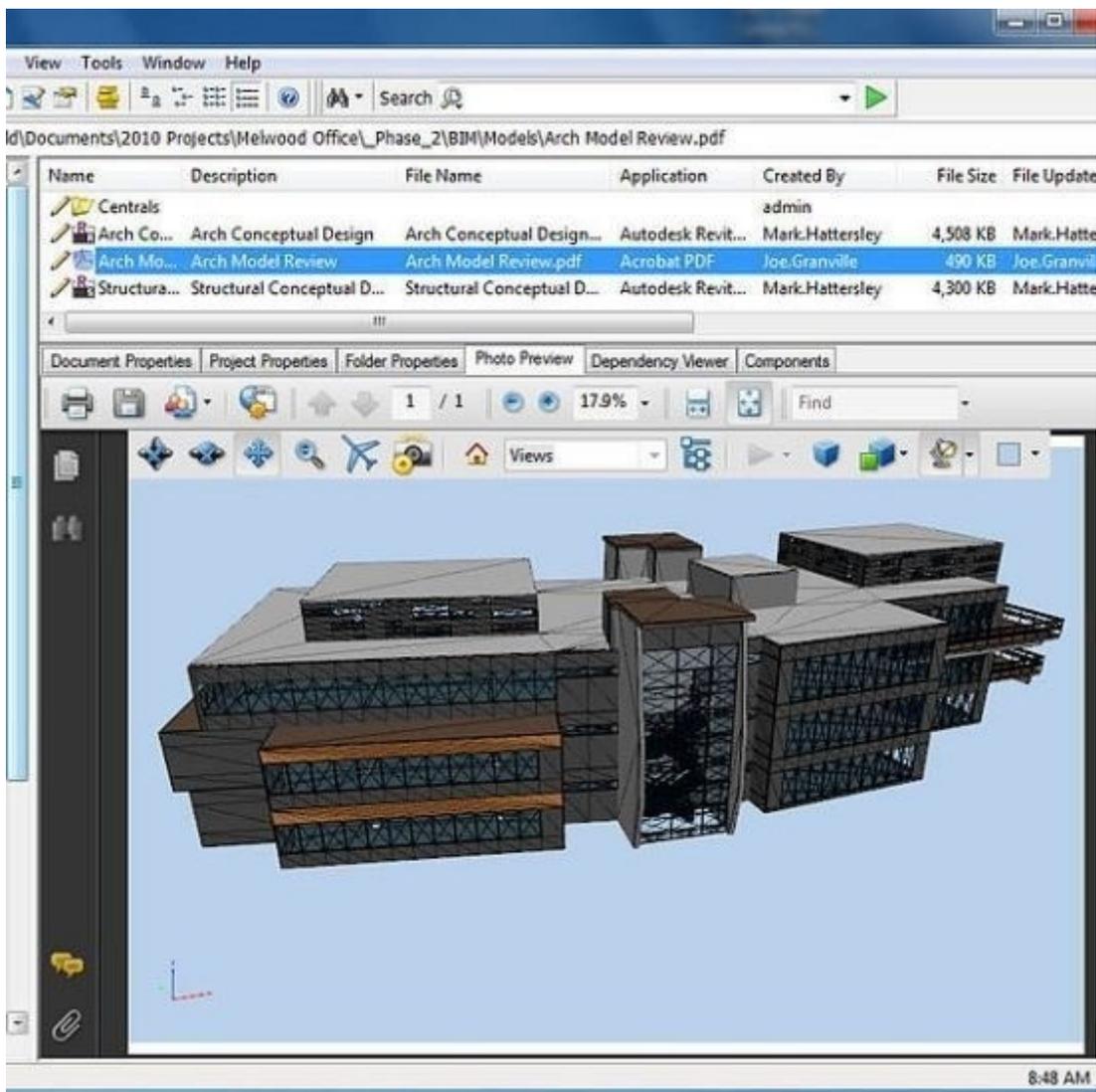


Figura 31. Project Wise.

Fuente: (Bentley, 2021).

7.2. Procedimiento

En el presente numeral se propone una metodología o un paso a paso de manera general en el cual se busca enmarcar el procedimiento o los pasos a seguir para lograr implementar con éxito la metodología BIM en un proyecto de Infraestructura longitudinal, se presenta de manera general ya que cada proyecto es único y tiene especificaciones únicas. Es de suma importancia sin importar el tipo de proyecto contar con un sistema de codificación y documentación; la Gestión de Documentos se puede definir como “...

sistema utilizado para gestionar documentos, cualquiera sea el formato en que se encuentren sistematizados, según la NC-ISO 9000:2005, 3.7.2: Es información (datos que poseen significado) y su medio de soporte...” (Tec AEC, 2021); eficiente y puntual para todos los documentos, archivos, planos etc. Este sistema podrá ser definido por cada estructura organizativa, pero si vale la pena enfatizar en que este sistema permitirá la identificación y la fácil conexión entre documentos y fichas con planos y modelos BIM, se vuelve vinculante al establecerlo en la medida que se genera una trazabilidad interna y externa tanto para el usuario como para el cliente.

De manera preliminar se debe establecer el grupo de trabajo que será el encargado o que tendrá responsabilidad alguna con el ciclo de vida del proyecto, este equipo deberá estar conformado mínimo por el gestor del contrato y el (los) ejecutor (es) de cada etapa del proyecto desde la conceptualización inicial (prefactibilidad y factibilidad), pasando por su realización (construcción, puesta en marcha y operación) finalizando con la continuidad (mantenimiento). Debería procurarse vincular al mismo tiempo a los profesionales de cada una de estas etapas, pero se debe contar con condiciones contractuales aptas, presupuesto de inversión y con el equipamiento necesario; el objetivo principal de este equipo BIM será definir todos y cada uno de los requisitos, especificaciones, formatos, contenidos y procesos que busquen cumplir con la idea planteada, es decir, el proyecto propuesto. Además, deberá crear un proceso colaborativo para intercambio de información eficiente y precisa en cada fase, vinculando a todos los actores implicados.

Tal como lo plasma el ingeniero Alberto Canahuate en su conversatorio “5 pasos para aplicar BIM en un proyecto vial” y tomando de guía su recomendación estableceremos de manera general la guía para ser aplicable.

7.2.1. Objetivos

Entre el gestor del proyecto y el ejecutor se deberán definir los objetivos BIM necesarios para obtener con la metodología BIM la vinculación a la documentación contractual del contrato. Dentro de los cuales se deben tener siempre en el horizonte las siguientes consideraciones:

- Condiciones existentes de la zona de trabajo.
- Requerimientos del proyecto.
- Presupuesto estimado.

- Normatividad aplicable para el diseño y construcción.
- Medios informáticos y tecnológicos.

Tras concertar y determinar los objetivos, por parte de un participante del equipo BIM, se procederá con la elaboración del BEP³⁴ que será el documento de control en el que se establecerán todas las normativas BIM a seguir, se determinará la calidad de los entregables, los procedimientos a seguir, los flujos de trabajo, entre otros. A manera de resumen el entregable de estos Objetivos será el BEP, que establecerá toda la hoja de ruta en cuanto a BIM para el proyecto.

Sin ahondar en detalles se entrega el Anexo 1. Plantilla para elaboración del BEP, obtenida del repositorio de la página web de la iniciativa chilena Planbim (Planbim, 2021), esta representa una guía de fácil uso y está alineada con los estándares internacionales y que puede ser usada en cualquier tipo de proyecto, sin embargo, a manera general el BEP se compone de los siguientes capítulos, tomando como referencia el BEP presentado por el concesionario ML1³⁵ a la EMB³⁶:

- Prólogo o introducción
- Información general del proyecto – donde se exponen los actores, las definiciones generales de los términos usados, los objetivos y los hitos.
- Información requerida por EIR³⁷ - donde se definen los entregables, se hace seguimiento al plan de cumplimiento, el proceso para detección de conflictos y se establece el flujo de trabajo
- Gerencial y Comercial – donde se explican y definen los roles, las responsabilidades de cada actor, referencias para información y se marca la estrategia de entrega del modelo
- Planeación y documentación – donde se define el Entorno Común de Datos, flujo de trabajo en el mismo, estructuración y codificación para la documentación, formatos y software usado.

³⁴ Plan de Ejecución BIM por su traducción al español.

³⁵ Metro Línea 1, contratista ganador de la licitación para la ejecución de la Línea 1 del Metro de Bogotá.

³⁶ Empresa Metro de Bogotá S.A.

³⁷ Requisitos de Información del empleador por su traducción al español.

- Gestión de modelos – donde se presentan los MIDP³⁸, TIDP³⁹ y el MPDT⁴⁰. Básicamente representan de información resumida la cantidad de modelos, el orden y los LOD⁴¹.
- Estándares – donde se define y se expone la normatividad usada, las unidades, nomenclaturas, etc. Básicamente vincula el documento a una norma o estandarización vigente.

7.2.2. Generación de modelos

A partir de lo expuesto en el BEP, que de ahora en adelante será la normativa del proyecto en metodología BIM, cada una de las disciplinas que intervengan en el proyecto deberán elaborar en su respectivo software un modelo cumpliendo todas las normativas exigidas; es de suma importancia aclarar que independiente del tipo de software usado, debe ser compatible con BIM para poder hacer uso de la metodología de manera correcta, el formato que se usa de común denominador es el IFC; una vez se tenga el o los modelos deberá pasar por un proceso de calidad interna definida por cada productor de modelos y quien será el encargado de hacer esta revisión y dar aprobación será el BIM Coordinator.

7.2.3. Revisión y coordinación

Una vez recibida la aprobación de cada uno de los coordinadores BIM por disciplina, el BIM Manager se encargará de federar, unir, los modelos de las disciplinas en un único modelo; usualmente el software para realizar este modelo federado es Navisworks que recibe todos los modelos entregados en formato IFC, si se hace uso de la casa Autodesk existe un plug-in llamado Navisworks Exporters lo que hace que softwares como AutoCAD o Civil 3D se ejecute el comando “NWCOUT” y exporte de manera inmediata el modelo a extensión “.nwc”, de esta manera Navisworks los vincula a un único modelo federado – valga la redundancia – y el producto de salida de Navisworks se puede expresar en 2 formatos: “.nwf” - Federated y “.nwd” - Deattached. el primero de estos hace referencia a un modelo federado pero irá vinculado a los datos de entrada usados para la generación

³⁸ Plan Maestro de Entrega de Información por su traducción al español.

³⁹ Plan de Entrega de Información de Tareas relevantes por su traducción al español

⁴⁰ Tabla de Entrega de Producción de Modelos por su traducción al español

⁴¹ Nivel de Detalle o Desarrollo por su traducción al español.

del modelos, es ideal para manejo al interior de la organización, pero no es recomendable para realizar entregables; mientras que el segundo formato hace referencia a un formato entregable sin vínculos con referencias y es el producto que la mayoría o todos los visualizadores permitirá abrir sin solicitar referencias externas ni bases de datos.

Teniendo el modelo federado, la etapa de revisión y coordinación se encargará de elaborar y registrar un reporte de interferencias, esto expondrá posibles errores de ubicación o interferencias entre las diferentes disciplinas que actúan en el proyecto y se podrá corregir antes del entregable final, esta tarea de aceptar o rechazar este federado analizando las interferencias será del BIM Manager y en caso de rechazar o no obtener un modelo “limpio” asignará las correcciones necesarias a los coordinadores BIM de la disciplina involucrada. Esto proveerá un seguimiento para las siguientes versiones del primer modelo y a determinar si se cumplió o no con la calidad propuesta en el BEP.

7.2.4. Entregables

El producto final de este proceso será la entrega al cliente modelos para visualización en 3D, planos récord en software nativo para corroborar lo expuesto en el modelo 3D con el esquema 2D, con este mismo modelo se procederá a la vinculación de la programación y costos, mostrando un avance en tiempo y dinero del modelo 3D, esto claramente permitirá un enorme control a la ejecución y una validación en tiempo real de lo ejecutado, si se está o no incurriendo en atrasos por parte del contratista y si al final de la etapa de construcción y operación será el encargado del mantenimiento, de igual manera desde el momento 0 se pueden asignar estos tiempos y costos, totalmente distintos, de la etapa de construcción y operación, logrando así evaluar y contemplar desde “hoy” el ciclo completo del proyecto cumpliendo con las 7D propuestas en la filosofía de la metodología BIM.

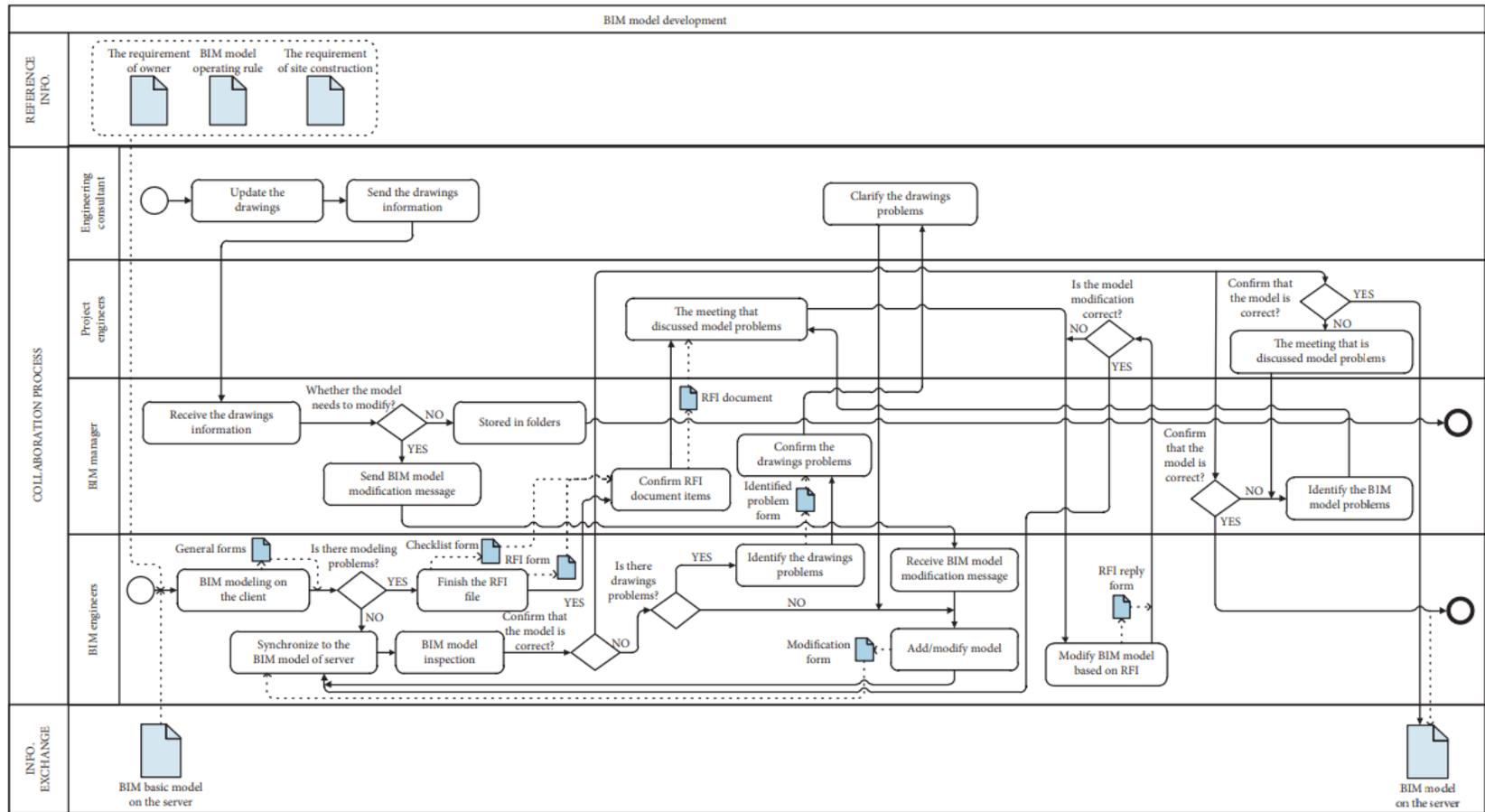


Figura 32. Flujo de desarrollo e implementación de metodología BIM.

Fuente: (Lin, Lo, Hu, & Hsu, 2020)

8. Sección 4 – Conclusiones y recomendaciones

Colombia definitivamente es un estado maravilloso y goza de grandes bondades como la calidad de su gente, sus paisajes y todo lo que se puede explotar en cuanto a capacidades profesionales, hablando de ingeniería es uno de los países más desafiantes para la ejecución de proyectos de infraestructura vial por su topografía accidentada, por sus ríos, valles y océanos. Colombia pone a punto las posibles soluciones que los ingenieros deben plantear para lograr establecer un sistema de transporte terrestre de pasajeros y de carga eficiente, evitando sobrecostos y elevados tiempos.

Se encuentra en una etapa muy temprana la elaboración del mandato nacional, pero el Gobierno tiene trazadas rutas muy claras y específicas para su total regulación en todos los proyectos a nivel nacional y esto contribuye a que la gente decida incurrir en el uso del BIM, tener la garantía que en un futuro se podrá evaluar, diseñar y construir proyectos desde la idea misma hasta su materialización y seguirlo detenidamente en cualquier instante de su desarrollo inspira y promueve el uso de nuevas tecnologías.

Alrededor del mundo la metodología BIM se ha explorado y adoptado en distintos proyectos, lo que le genera a Colombia extensos referentes de casos de éxito, que pueden adaptarse a la realidad del país, si bien es cierto en el país la metodología BIM no se encuentra consolidada para la infraestructura vial, la idea de procurar un piloto de gran magnitud como el Metro de Bogotá, va a marcar la ruta a seguir en megaproyectos y APP más que en obras públicas.

Actualmente existen una variedad enorme de software específico para el BIM y es que muchas de las casas de software conocidas han entendido que el futuro de la construcción reposa en la metodología BIM y han optado por adaptar sus softwares a un formato abierto denominado IFC, que permite la interoperabilidad y abre el mercado de opciones para que el cliente o quien decida adaptarse al BIM pueda decidir entre varias ofertas la que más le beneficie.

Existen grandes desafíos en la implementación de la metodología BIM a proyectos de infraestructura longitudinal, dentro de los que se encuentra la coordinación y supervisión a este tipo de proyectos bajo la modalidad APP, ya que no se tiene un estándar para revisión de proyectos concesionados con metodología BIM, así que actualmente a través

del Metro de Bogotá siendo pionero en esta metodología para todos los actores, se busca dar solución a este desafío.

Entidades como el IDU o el EDU, son precursoras del sector público que han ido adaptando y adoptando la metodología BIM, casos de éxito como los diseños de la Avenida 68 en la ciudad de Bogotá o el Premio Excelencia BIM Colombia obtenido por el EDU para el diseño de la Doble Calzada Avenida 34 en Medellín, son fieles reflejos de que el BIM ya se encuentra presente en el país, que se está buscando la regulación y reglamentación y que existe una estrategia, por lo menos para el caso del IDU es más incisiva que la Estrategia Nacional BIM y es más ambiciosa, en el sentido que busca la implementación del BIM al 100% de sus proyectos para el año 2023. Así mismo, actualmente el IDU se encuentra con 16 proyectos de pre-construcción bajo esta metodología y con la estrategia BIM IDU se pretende gestionar los proyectos en etapa también de construcción bajo el BIM.

Aunque la propuesta de inclusión de la metodología BIM en la contratación pública proviene del gobierno, se hace necesario reiterar en la capacitación de personal presente en las entidades para lograr vincular de manera armoniosa y que sea consecuente el mandato, la implementación, la aplicabilidad y supervisión. Es aquí donde se debe vincular a la academia para fortalecer el vínculo entre los profesionales y la metodología.

Las empresas que han logrado adoptar la metodología BIM podrían ser referentes para las pequeñas empresas que se encuentran surgiendo y brindar apoyo, transferencia de conocimiento, sin incurrir en romper confidencialidad, estableciendo una guía más profunda de su proceso y contar su experiencia de los desafíos surgidos, como solucionarlos y que oportunidad de mejora ofrecen constantemente.

La figura 22 es concluyente al brindar información visual sobre la economía y ahorro en costos para las empresas y los proyectos ya que la etapa de diseño es la más idónea para resolver interferencias, conflictos y diferencias de conceptos de diseño, esto lleva a que en la etapa de ejecución se preverán si no todas, la mayoría de posibles imprevistos.

Existe un gran arraigo tradicionalista a la construcción longitudinal debido a los flujos establecidos, a las guías y normatividades vigentes y aplicables. Sin embargo, teniendo el espejo del sector más avanzado que corresponde a la construcción vertical se debe buscar romper estos esquemas e incurrir en la adopción de una metodología que

evidentemente es un incremento en la eficiencia y una mejora en los procedimientos ya establecidos. Se debe romper el miedo de lo tradicional y avanzar hacia el futuro.

Partiendo de la definición de que es una Asociación Público Privada – APP – y entendiendo su concepto, lo complejo que puede ser su estructura organizativa y sobre todo la manera y metodología que actualmente se aplica para la supervisión y control de proyectos en esta modalidad, se puede concluir que la metodología BIM es la más acertada logrando una mejor eficiencia en la gestión de este tipo de proyectos, facilitando la supervisión, control y evaluación de los mismos. Además, la concepción en sí y el ciclo de vida de un proyecto bajo esta modalidad, similar a la filosofía que expone la metodología BIM, le permite convertirse en el escenario ideal, más que las obras públicas, sobre las cuales el Gobierno puede basarse para establecer una metodología de adopción y supervisión a proyectos respetando siempre los 3 pilares fundamentales. Esto debido a que una APP en su ciclo de vida se asemeja a las 7 dimensiones de la metodología BIM, así que enfocarse en su aplicación y su respectiva supervisión dará un espectro más amplio para su aplicabilidad a cualquier proyecto de infraestructura longitudinal.

Considerando lo complejo de una APP, la metodología PMI es comúnmente usada en este tipo de proyectos por el control sobre todas las etapas por las que atraviesa el mismo, puede ser vinculante con la metodología BIM y lograría establecer una manera de gerenciar proyectos más efectiva y transversal ya que ambas metodologías apuntan al mismo objetivo general que es, gestionar y gerenciar los proyectos de la manera más eficiente posible, lo que permitiría en líneas generales aportar el BIM al PMI es la visualización digital y el CDE que se genere. Esta vinculación puede ser objeto de una investigación e incluso podría ser llevado a la elaboración de una tesis.

Se proponen basado en casos prácticos realizados durante el curso de la maestría, la vinculación de la metodología BIM con una de las etapas mas importantes de la definición de una APP, la matriz de riesgos, estas propuestas sencillas corresponden a ideas que a futuro podrían ser desarrolladas y podrían hacer parte o ser un trabajo de tesis completo. Las propuestas surgen de la necesidad constante de mejorar la curva de aprendizaje y el BIM propone una metodología permeable en todas las áreas de un proyecto.

La vinculación entre las metodologías BIM y PMI generará a futuro una manera eficiente y práctica de poder realizar la gestión de proyectos de modalidad APP principalmente en infraestructura longitudinal podría ser necesaria ya que lograría evitar problemas en las etapas tempranas de construcción tal como demoras, sobrecostos y faltas derivadas de la insuficiente planeación.

De la revisión de la literatura y de las entrevistas realizadas, se concluye que los factores críticos para realizar una asociación vinculante con BIM son: la colaboración y la confianza mutua entre actores; influencia del BIM colaborativamente; influencia del beneficio económico mutuo y la transparencia.

La PLMB al ser el proyecto piloto netamente aplicando la metodología BIM expondrá los desafíos de la implementación de dicha metodología en una APP, actualmente el desafío que se presenta es la manera en que se realizará la supervisión del proyecto y como se hará ese trabajo colaborativo entre actores que supone el BIM.

Se logró explorar la metodología, respondiendo interrogantes como ¿Qué es el BIM? ¿Cuáles son sus ventajas? ¿Cómo vuelve eficiente un proyecto? Entre otros interrogantes, dejando muy claras las bondades de éste. Si bien es cierto que el BIM es un tema muy vasto y amplio, en el documento se acaparan sus fundamentos y sus razones de ser, así como exposiciones de casos a nivel mundial de éxito, estandarización regulaciones y normatividades vigentes.

En primer lugar se mencionó la aplicación de BIM en distintos países y su estado general a nivel mundial buscando dar a conocer la implementación y características, sin embargo, se encontró que Colombia no cuenta con información suficiente al respecto, mostrando una falta de literatura específica al caso Colombia respecto a su implementación.

También se encontró que la implementación de BIM cuenta con grandes beneficios, en Colombia se han guiado mas hacia las herramientas tecnologías, las cuales deben ser vinculantes con la metodología y su enseñanza, buscando evidenciar la totalidad de las bondades del BIM para los proyectos a corto y largo plazo.

Se realizó basado en la investigación y en reportes de varios estudios la elaboración de una guía metodológica que funcione como base para que quienes decidan incurrir en la adopción del BIM lo logren de una manera un poco sencilla, entendiendo de manera

resumida las ventajas y sus aplicaciones. Esta guía se elaboró bajo información de países que han logrado la adopción de la metodología BIM a un adecuado nivel y cuentan con mandatos, guías o recomendaciones de aplicabilidad.

De manera anexa se expone un caso real donde se evidencia a nivel general y de forma muy sencilla la aplicabilidad de la metodología en el modelado 3D, para este caso se usó la información provista por el contratista UNIÓN TEMPORAL PUENTES DEL VALLE y su proyecto denominado “Estudios, Diseños y Construcción de un Puente de Cuatro Carriles con sus Accesos Sobre el Río Cauca en el Corregimiento de Juanchito, en el Departamento del Valle del Cauca”. Se ejemplifica una interferencia encontrada por uno de los softwares de coordinación del BIM y se muestra el modelo vinculando la información obtenida. Aunque inicialmente se planteaba la exposición de un caso real de mayor envergadura y de un proyecto perteneciente a una APP como en algún momento se llegó a considerar la modelación del denominado “Pulpo” en la intersección de la Av. Cra 68 X Av. 1 de Mayo, en Bogotá, los trámites administrativos complicaron este caso para la exposición, sin embargo, desde mi posición actual como trabajador de la Empresa Metro de Bogotá, hago parte del equipo encargado de la revisión, gestión, modelamiento y planteamiento de soluciones al desafío que propone esta intersección especial. No se logró la elaboración para fines educativos sin embargo se logrará a nivel profesional la ejecución de éste.

Desafortunadamente, la corrupción incrementa los sobrecostos a la vida del colombiano promedio, evitando gozar de excelentes obras de infraestructura en tiempos considerados como decentes, proyectos con demoras de hasta 30 años en ejecutarse no son de enorgullecerse. Sin embargo, aún puede haber una salvación para lograr un control más certero y efectivo en este tipo de obras públicas y es la metodología BIM, que se ha implementado en países que gozan de excelentes bondades económicas, representan un avance productivo y han significado mejora en la percepción de su población respecto a la transparencia con la que se miden los proyectos, pues el BIM ha demostrado en diferentes proyectos a lo largo y ancho del mundo que su metodología es muy efectiva, es más eficiente, limpia y permite un mayor acceso a la información por parte del público en general. Es así como podemos responder la pregunta planteada como objetivo general y es que si, efectivamente la implementación del BIM en Colombia es una herramienta que funcionará y apoyará de manera significativa al control en las etapas de prefactibilidad,

ejecución y operación de proyectos bajo la modalidad Asociación Público Privada – APP – u obra pública para infraestructura longitudinal, ya que la filosofía misma de la metodología pretende ser vinculante con todos los actores y en el momento que se desee.

Se recomienda a quien decida hacer uso del presente documento como base para la adopción de la metodología BIM, que sea cauto al momento de elegir la adopción pues la consecución del software especializado tiene un costo elevado, en una de las casas más reconocidas como Autodesk® la colección que tal vez más completa que se encuentra en el mercado ronda un valor aproximado por licencia de USD \$ 3.115 / año, adicionalmente este valor no incluye la gestión documental que si se optara por la misma casa, BIM360 es su producto, ni las herramientas para la gestión 4D como Synchro o Primavera. En conclusión, la metodología BIM es eficiente y economiza costos en el largo plazo, sin embargo, para su adopción e implementación se debe incurrir en un elevado costo a corto plazo. Lo anterior claramente sin contar con la consecución del personal idóneo para estos cargos, que actualmente en el país son muy escasos.

Otra recomendación dirigida a la academia en general es procurar la generación de programas académicos que tengan que ver con BIM, el campo de acción es muy diverso y tiene variadas aplicaciones, considerando que a nivel nacional el país va rumbo a la estandarización y reglamentación del BIM, las obras en un futuro a mediano plazo serán ejecutadas en esta modalidad e invito a los estudiantes que busquen como capacitarse, conocer y explorar este mundo, que estoy seguro beneficiarán su futuro y tendrán mayores oportunidades en el campo laboral cuando las empresas migren al BIM, pues deberán requerir profesionales con aptitudes en las variadas áreas de BIM. Acompañando esta recomendación es importante en lo que se logran abrir cursos académicos completos en las instituciones educativas del país, se sugiere buscar y realizar cursos cortos de manejo de herramientas tales como Revit, AutoCAD, Civil 3D, Presto o Synchro, entre otros. Muchos de estos cursos se pueden encontrar de manera gratuita online, en otros casos empresas como Zigurat, Editeca o instituciones educativas internacionales como la EADIC promueven cursos accesibles que vinculan el uso de herramientas con el aprendizaje de la metodología, a manera de ejemplo se presenta el temario del curso online promovido por EDITECA “Planificación BIM 4D SYNCHRO PRO 2020” (EDITECA, 2021).

9. Bibliografía

- ALLPLAN. (Julio de 2021). *ALLPLAN BRIDGE*. Obtenido de <https://www.allplan.com/es/productos/bridge/>
- Anumba, C., Butler, R. M., Bjørkhaug, L., Ceton, G., Dubler, C., East, B., . . . Zikic, N. (2012). *National BIM Standard - United States V3*. Washington DC: National Institute of Building Sciences buildingSMART alliance.
- AUTODESK. (18 de Octubre de 2017). *Elea iC utiliza BIM para ampliar el túnel de Karavanke*. Obtenido de <https://www.autodesk.es/customer-stories/karvanke-tunnel-elea-ic>
- Autodesk (Dirección). (2018). *What Is Building Information Modeling (BIM)?* [Película].
- Bentley. (2021). *OpenRoads Designer*. Obtenido de <https://www.bentley.com/es/products/product-line/civil-design-software/openroads-designer>
- Bentley. (2021). *ProjectWise Design Integration*. Obtenido de <https://www.bentley.com/es/products/product-line/project-delivery-software/projectwise-design-integration>
- Bentley. (2021). *ProStructures 3D: idear, dibujar y detallar*. Obtenido de <https://www.bentley.com/es/products/product-line/structural-detailing-software/prostructures>
- BibLus. (8 de Octubre de 2019). *De 0 a 3 ¿Qué son los niveles de madurez BIM?* Obtenido de <https://biblus.accasoftware.com/es/de-0-a-3-que-son-los-niveles-de-madurez-bim/>
- BibLus. (s.f.). *BIM en el mundo, en los países escandinavos es una práctica consolidada el uso del BIM en la construcción*. Obtenido de <https://biblus.accasoftware.com/es/bim-en-el-mundo-en-los-paises-escandinavos-es-una-practica-consolidada-el-uso-del-bim-en-la-construccion/>
- BibLus. (s.f.). *BIM en el Reino Unido: un nuevo estudio demuestra que las pequeñas empresas tienen mas ventajas*. Obtenido de

<https://biblus.accasoftware.com/es/bim-en-el-reino-unido-un-nuevo-estudio-demuestra-que-las-pequenas-empresas-tienen-mas-ventajas/>

BibLus. (s.f.). *IFC ¿Qué es, a que sirve y cual es su relación con el BIM?* Obtenido de <https://biblus.accasoftware.com/es/ifc-que-es-y-relacion-con-el-bim/>

BIM FORUM. (2020). LOD Spec 2020 For Building Information Models. *LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION PART 1 & COMMENTARY, 272.*

Building Smart Spain. (s.f.). *¿Qué es BIM?* Obtenido de <https://www.buildingsmart.es/bim/>

CÁMARA COLOMBIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. (2019). *DE BIM A LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL DE LA INDUSTRIA.* Obtenido de https://camacol.co/sites/default/files/documentosbim/DE%20BIM%20A%20LA%20TRANSFORMACIO%CC%81N%20DIGITAL%20DE%20LA%20INDUSTRIA_0.pdf

CIVILJU. (2021). *BIM.* Obtenido de <https://www.civilju.com.co/bim/>

Cobuilder. (9 de Junio de 2021). *What Is A Data Template (DT)?* Obtenido de <https://cobuilder.com/en/what-is-a-data-template/>

Comisión de Expertos en Infraestructura de Transporte. (2019). *INFORME DE LA COMISION DE EXPERTO EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE.* Bogotá.

Concepto y definición. (20 de abril de 2020). Obtenido de <https://conceptodefinicion.net/vieja-escuela/>

CORFO. (2021). *Sobre Corfo.* Obtenido de <https://www.corfo.cl/sites/cpp/movil/sobrecorfo>

Data Commons Place Explorer. (2021). *Estados Unidos.* Obtenido de https://datacommons.org/place/country/USA?utm_medium=explore&mprop=amount&popt=EconomicActivity&cpv=activitySource%2CGrossDomesticProduction&hl=es

Departamento Nacional de Planeación. (Abril de 2021). *Asociaciones Público Privadas - APP- en Infraestructura en Colombia.* Obtenido de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Participacin%20privada%20en%20proyectos%20de%20infraestructu/Oficial%20Abril%202021.pdf><https://colaboracion.dnp.gov.c>

o/CDT/Participacin%20privada%20en%20proyectos%20de%20infraestructu/Oficial%20Abril%202021.pdf

EDITECA. (2018). *El BIM en Latinoamérica*. Obtenido de <https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/>

EDITECA. (2021). Planificación BIM 4D SYNCHRO PRO 2020. 6.

El Economista. (30 de Noviembre de 2020). *La construcción es una industria que está en retroceso y necesita ganar productividad*.

El faro de Málaga. (19 de junio de 2020). *BIM en el mundo*. Obtenido de https://www.elfarodemalaga.es/index.php?id=ampliada&tx_ttnews%5Btt_news%5D=47396&cHash=1a6f0003b1360cca1a67513a82ca2af4

El Orden Mundial. (8 de Septiembre de 2020). *¿Cómo llamar al norte de Europa?* Obtenido de Países escandinavos vs. nórdicos: <https://elordenmundial.com/mapas/diferencia-entre-paises-nordicos-paises-escandinavos/>

Empresa de Desarrollo Urbano . (7 de Noviembre de 2020). *Medellín es premiada por incorporación de tecnologías 3D en diseño de la Avenida 34*. Obtenido de <http://www.edu.gov.co/noticias/item/180-medellin-es-premiada-por-incorporacion-de-tecnologias-3d-en-diseno-de-la-avenida-34>

Empresa Metro de Bogotá, S.A. (2018). Apéndice Técnico 3 - Gestión de las Fases Previa, de Construcción, de Pruebas, Certificación y Puesta en marcha. Bogotá.

ESPACIO BIM. (22 de Junio de 2017). *MADUREZ EN ENTORNO BIM: LEVEL 0/1/2/3*. Obtenido de <https://www.espaciobim.com/madurez-bim-level-0-1-2-3>

ESPACIO BIM. (Diciembre de 2018). *ISO 19650*. Obtenido de <https://www.espaciobim.com/iso-19650>

ESPACIO BIM. (9 de Agosto de 2020). *IFC, UN FORMATO DE INTERCAMBIO EN OPEN BIM*. Obtenido de <https://www.espaciobim.com/ifc>

- Facultad de Arquitectura y Diseño de la UAEMéx. (13 de Marzo de 2019). *Revolución BIM*. Obtenido de <https://emprendedor.faduaemex.org.mx/2019/03/13/revolucion-bim-2/>
- Fernández, L. B. (7 de Mayo de 2019). "Contratación pública, un punto álgido de la corrupción": *Transparencia por Colombia*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2019, de <https://www.elespectador.com/noticias/judicial/contratacion-publica-un-punto-algido-de-la-corrupcion-transparencia-por-colombia-articulo-854128>
- German Tunneling Committee (ITA-AITES). (2021). Diseño, construcción y operación digital de estructuras subterráneas. *BIM en túneles*, 49.
- Gobierno de Colombia. (2020). Estrategia Nacional BIM 2020-2026. 6.
- IDU. (2020). Protocolo BIM IDU. 27.
- IDU. (2021). PLAN BIM IDU 2020 - 2023. 11.
- IDU. (16 de Julio de 2021). TRANSFORMACIÓN DIGITAL - EL CAMINO A LA MODERNIZACIÓN EN INFRAESTRUCTURA. Bogotá, Colombia.
- Instituto de Estudios Constitucionales del Estado de Querétaro. (2018). *IMPACTO DE LA CORRUPCIÓN EN LOS DERECHOS HUMANOS*. Querétaro.
- ISO. (Abril de 2007). *ISO 12006-3:2007*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/38706.html>
- ISO. (Mayo de 2010). *ISO 29481-1:2020*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/45501.html>
- ISO. (Septiembre de 2012). *ISO/TS 12911:2012*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/52155.html>
- ISO. (Septiembre de 2012). *ISO/TS 12911:2012*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/52155.html>
- ISO. (Enero de 2014). *ISO 15686-4:2014*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/59150.html>

ISO. (Mayo de 2015). *ISO 12006-2:2015*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/61753.html>

ISO. (Febrero de 2015). *ISO 16757-1:2015*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/57613.html>

ISO. (Noviembre de 2016). *ISO 16757-2:2016*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/62080.html>

ISO. (Diciembre de 2018). *ISO 19650-1:2018*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/68078.html>

ISO. (Diciembre de 2018). *ISO 19650-2:2018*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/68080.html>

ISO. (Julio de 2020). *ISO 19650-3:2020*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/75109.html>

ISO. (Junio de 2020). *ISO 19650-5:2020*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/74206.html>

ISO. (Marzo de 2020). *ISO 23386:2020*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/75401.html>

ISO. (Julio de 2020). *ISO 23387:2020*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/75403.html>

ISO. (Mayo de 2021). *ISO/TS 19166:2021*. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/78899.html>

Lin, Y.-C., Lo, N.-H., Hu, H.-T., & Hsu, Y.-T. (2020). Collaboration-Based BIM Model Development Management System for General COntrollers in Infrastructure Projects. *Journal of Advanced Transportation*, 16.

McGraw - Hill. (2012). *The business Value of BIM in North America Multi-Year Trend Analysis and User Ratings (2007 - 2012)*. Bedford: McGraw-Hill Construction.

Mendigaño, D. F. (2019). Metodología BIM aplicada a la fase de prefactibilidad de un proyecto vial de tercer orden en Colombia.

Metrico BIM Consultores. (s.f.). *¿Por qué implementar BIM en tus proyectos?* Obtenido de <https://www.metricobim.com/bim>

Metro de Bogotá. (2019). Obtenido de Mapa de Procesos: <https://www.metrodebogota.gov.co/?q=content/mapa-procesos>

Ministerio de Economía y Finanzas. (2019). Decreto Supremo N°237-2019-EF. *PLAN NACIONAL DE COMPETITIVIDAD Y PRODUCTIVIDAD*, 52.

Ministerio de Economía y Finanzas. (19 de Junio de 2021). *MEF publica el Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM Perú*. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/index.php/?option=com_content&view=article&id=7076&Itemid=101108&lang=es

Ministerio de Economía y Finanzas. (2021). Plan de Implementación y Hoja de Ruta del Plan BIM Perú. *Plan BIM Perú*, 37.

MINISTERIO DE TECNOLOGIAS DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES. (2019). Política nacional para la transformación digital e inteligencia artificial. Bogotá.

Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana - Gobierno de España. (s.f.). *BIM en el mundo, Canadá*. Obtenido de <https://cbim.mitma.es/bim-en-el-mundo/canada>

MINISTERIO DE TRANSPORTES, MOVILIDAD Y AGENDA URBANA. (s.f.). Guía de apoyo a contrataciones con requisitos BIM. En C. d. Públicas. Madrid.

MONITOR CIUDADANO DE LA CORRUPCIÓN. (2019). *ASÍ SE MUEVE LA CORRUPCIÓN*. Bogotá D.C: Corporación Transparencia por Colombia.

MURALIT. (25 de Julio de 2019). *LOD. DE PROYECTO BÁSICO A PROYECTO DE EJECUCIÓN*. Obtenido de <https://muralit.es/lod-nivel-de-desarrollo/>

ORACLE. (2021). *ACONEX Visualización de modelos*. Obtenido de <https://help.aconex.com/es/aconex/our-main-application/using-aconex/using-models/models-explore/viewing-models>

- ORACLE. (2021). *Oracle Aconex - Software para controles de proyectos de construcción*.
Obtenido de <https://www.oracle.com/co/industries/construction-engineering/aconex-project-controls/>
- ORACLE. (2021). *Primavera P6 Enterprise Project Management*. Obtenido de <https://www.oracle.com/co/industries/construction-engineering/primavera-p6/>
- Papamichael, K., LaPorta, J., Chauvet, H., Collins, D., Trzcinski, T., Thorpe, J., & Selkowitz, S. (1 de Noviembre de 1996). *The Building Design Advisor*. Tucson, Arizona, Estados Unidos.
- Planbim. (Junio de 2019). *ESTÁNDAR BIM PARA PROYECTOS PÚBLICOS - Intercambio de Información entre Solicitante y Proveedores*. Santiago, Chile.
- Planbim. (2020). *PLANBIM UNA INICIATIVA A 10 AÑOS*. Obtenido de <https://planbim.cl/>
- Planbim. (2021). *CONSTRUYENDO LAS BASES DE LA IMPLEMENTACIÓN EN CHILE*. Obtenido de <https://planbim.cl/que-es-planbim/>
- Planbim. (2021). *DOCUMENTOS*. Obtenido de <https://planbim.cl/biblioteca/documentos-peb/>
- ProBIM (Dirección). (2019). *5 pasos para aplicar BIM en un proyecto vial* [Película]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=5EZJpC5vwvs>
- Sociedad Colombiana de Ingenieros. (8 de Octubre de 2018). *CONTRATAR MEJOR CIERRA PUERTAS A LA CORRUPCIÓN*. Obtenido de <https://sci.org.co/contratar-mejor-cierra-puertas-a-la-corrupcion/>
- Soto, R. (2003). LA CORRUPCIÓN DESDE UNA PERSPECTIVA ECONÓMICA. *Estudios públicos*, 40.
- Tec AEC. (16 de Junio de 2021). *Inversión BIM 0 - Estándares internos - Organización Documental*. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/inversi%25C3%25B3n-bim-0-est%25C3%25A1ndares-internos-organizaci%25C3%25B3n-documental-tec-aec/>

The Government of the Hong Kong Special Administrative Region. (1 de Diciembre de 2017). Adoption of Building Information Modelling for Capital Works Projects in Hong Kong. Tamar, Hong Kong, Hong Kong.

Transparency International. (2019). *ÍNDICE DE PERCEPCION DE LA CORRUPCIÓN 2018*. Berlin.

TRANSPARENCY INTERNATIONAL. (2020). CORRUPTION PERCEPTION INDEX 2020. 34.

Villamizar, A. (15 de Abril de 2021). *Adopción del BIM en el mundo*. Obtenido de <https://idesie.com/blog/2021/04/15/adopcion-del-bim-en-el-mundo/>

ZIGURAT GLOBAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. (22 de Junio de 2020). *The current state of BIM implementation in Asia*. Obtenido de <https://www.e-zigurat.com/blog/en/how-is-bim-implementation-asia/>

10. Anexos

Anexo 1. Plantilla para la elaboración del BEP: el anexo 1 hace referencia a la plantilla aplicable a cualquier proyecto y se puede diligenciar a manera de guía para la correcta elaboración del Plan de Ejecución BIM.

Anexo 2. Planos Juanchito: el anexo 2 posee los planos y la información recibida para la ejecución del caso práctico, gracias al contratista encargado de dicho proyecto.

Anexo 3. Carta de autorización: el anexo 3 expone la carta de intenciones con fines meramente académicos para que el contratista accediera a compartir la información de algunos diseños.

Anexo 4. Modelo Federado: el anexo 4 posee los archivos del anexo 2 en software nativo a extensión "-nwc", así como el modelo federado en formatos ".nwf" y ".nwd".

Anexo 5. Procedimiento federación de modelos: el anexo 5 hace referencia al paso a paso seguido en el caso práctico para vincular los modelos de su software nativo al modelo federado disponible en BIM.

Anexo 6. Flujo de información Federación de modelos: el anexo 6 traduce el anexo 5 en un flujo de información.

Anexo 7. Glosario: se extraen los conceptos clave y se definen para un mejor entendimiento de la guía y del documento.

Anexo 8. BIM IDU: Se anexan los documentos compartidos por el IDU producto de una entrevista sobre su implementación y adopción del BIM.

Anexo 9. Nomograma general del sistema de asociación público privado nacional y territoriales: Se citan las principales normativas y decretos vigentes que regulan las APP en el territorio colombiano.

Anexo 10. Transparencia en Colombia y el BIM: Se hace un repaso general por uno de los principales problemas de Colombia, la corrupción, sus incidencias y se sugieren medidas que buscan contrarrestar la incidencia de esta en los proyectos de infraestructura.