

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

Propuesta para la implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública de Costa Rica

Trabajo de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Mauricio Carmona Zúñiga

Director (a) de Proyecto de Graduación:

Ing. Erick Mata Abdelnour, PhD.

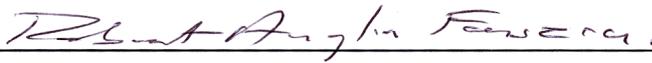
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio



Director del Proyecto: Ing. Erick Mata Abdelnour



Asesor: Ing. Luis Gustavo Ruiz Cano



Asesor: Ing. Robert Anglin Fonseca



Estudiante: Mauricio Carmona Zúñiga

Derechos de Autor

Fecha: 2019,Junio,

El suscrito, **Mauricio Carmona Zúñiga**, cedula 1-1605-0017, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **B31443**, manifiesta que es autor del Proyecto Final de Graduación **Propuesta para la implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública de Costa Rica**, bajo la dirección del **PhD. Ing. Erick Mata Abdelnour**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre el resultado de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de Autor y Derechos Conexos Nº 6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

Dedicatoria

En memoria de mis abuelos Célino y Flor, quienes formaron parte fundamental en mi desarrollo como persona. Así como a mis padres y hermano que han estado conmigo a lo largo de todo el camino, tendiéndome la mano y creyendo en mí.

Agradecimientos

A mis padres por su apoyo incondicional, por enseñarme a tener ambiciones, a no rendirme y perseverar ante las dificultades que surjan en la vida.

A mi hermano, por el apoyo y acompañarme siempre, dándome aliento a seguir adelante y siendo ejemplo de esfuerzo y superación ante las adversidades.

A mi tío Marco consejero y apoyo en los buenos y malos momentos.

A mi director Erick Mata por impulsarme a desarrollar este proyecto y ser una guía fundamental, brindándome sus conocimientos y experiencias para alcanzar el mayor provecho posible, al igual que a mis asesores Gustavo Ruiz y Robert Anglin, por apoyarme y dar su aporte para cumplir con los objetivos propuestos.

A todos los profesionales que colaboraron para lograr obtener toda la información necesaria para desarrollar esta investigación, sin su apoyo no se hubieran alcanzado todos los resultados que se lograron obtener.

A Francinee por esta siempre a mi lado desde el inicio de la carrera.

A Alfonso y Roy por el compañerismo, apoyo y amistad, las experiencias y momentos inolvidables que hemos pasado juntos hicieron de todos estos años una etapa inolvidable en mi vida.

Al Programa de Liderazgo y a la Unidad de Puentes del LanammeUCR por ser dos lugares en donde tuve amplias experiencias y un gran desarrollo personal y profesional, donde conocí amigos y personas excepcionales, quienes contribuyeron con mi formación.

A Adriana como amiga y apoyo, compartiendo su conocimiento y su amabilidad durante toda la carrera, así como a todos mis amigos con los que compartí buenos y malos momentos y formaron parte de mi desarrollo integral como persona.

Tabla de contenido

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Justificación	1
1.1.1. El problema específico	1
1.1.2. Importancia	2
1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos	4
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. General	6
1.2.2. Específicos	6
1.3. Hipótesis.....	6
1.4. Delimitación del problema.....	6
1.4.1. Alcance	6
1.4.2. Limitaciones.....	7
1.5. Marco Metodológico.....	8
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Introducción a los conceptos de la modelación de la información para la construcción. 11	11
2.1.1. Definición del BIM y su aporte al sector de la construcción.	11
2.1.2. Historia de la metodología BIM y su desarrollo a nivel mundial.....	16
2.1.3. Usos y beneficios de la metodología BIM en el sector de la construcción	25
2.1.4. Desarrollo de modelos BIM según sus alcances y requerimientos.....	27
2.1.5. Roles BIM	31
2.1.6. Software como herramienta de la metodología BIM	32
2.1.7. Plan de Ejecución BIM (BEP).....	34
2.2. BIM dentro del contexto de Tecnologías de la Información.....	35
2.2.1. Modelo del punto de adopción	37
2.2.2. Implementación del BIM.....	38

2.2.3. Difusión del BIM.....	39
2.2.4. Marco de referencia.....	40
2.2.5. Modelo complementario de componentes de macro-madurez para la adopción en el sector público.	51
2.3. Situación actual de la Obra Pública en Costa Rica.....	53
CAPITULO 3. Diagnóstico del uso de la metodología BIM en el sector de la construcción costarricense	65
3.1. Estado actual del uso de la metodología BIM en el sector académico.	65
3.2. Breve descripción de las capacidades actuales en el uso de la metodología BIM del sector privado.....	71
3.3. Estado actual de la implementación de la metodología BIM en el sector público.....	83
3.4. Perspectiva general de la implementación de la metodología BIM en proyectos de obra pública.	89
CAPITULO 4. Estrategia para la implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública	96
4.1. Descripción del modelo propuesto para elaborar la hoja de ruta	96
4.2. Aplicación del modelo al proceso de implementación en el sector público.....	100
4.2.1. Listado de tareas para desarrollar el campo de las tecnologías.....	101
4.2.2. Listado de tareas para desarrollar el campo de los procesos.....	105
4.2.3. Listado de tareas para desarrollar el campo de las políticas	111
4.3. Mapa de ruta para la implementación de la metodología BIM.....	120
4.4. Actores recomendados dentro del proceso de la implementación BIM.....	124
4.5. Validación de la hoja de ruta con la ayuda de un comité de expertos.....	129
CAPITULO 5. Conclusiones y recomendaciones	133
5.1. Conclusiones.....	133
5.2. Recomendaciones	135
6. Referencias bibliográficas	137
7. ANEXOS	144

7.1. Herramientas de diagnóstico para el sector público y el sector privado.	144
7.2. Herramienta de diagnóstico para el sector académico.....	162
7.3. Matrices de madurez presentadas por el marco de referencia utilizado para realizar el diagnóstico y la propuesta de la investigación.	166
7.4. Listado de proyectos que se plantean dentro del Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública entre los años 2019 y 2022.	171
7.5. Herramienta de evaluación utilizada por el comité de validación para valorar la propuesta elaborada.	173
7.6. Sesión de validación realizada el 15 de mayo del 2019	177

Tabla de Figuras

Figura 1. Esquema metodológico para la elaboración de una propuesta de implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura pública.....	8
Figura 2. Concepto de la metodología BIM dentro de un proyecto de construcción.....	12
Figura 3. Beneficios del BIM en el ciclo de vida de los proyectos de construcción.	14
Figura 4. Fases del ciclo de vida de un proyecto.....	15
Figura 5. Comportamiento de la incertidumbre y los costos dentro de la vida útil de un Proyecto.	15
Figura 6. Curva de Mac Leamy	16
Figura 7. Desarrollo de la metodología BIM a nivel mundial.	17
Figura 8. Desarrollo de la metodología BIM en diferentes países alrededor del mundo	18
Figura 9: Miembros participantes del ISO/TC 59/SC13.....	20
Figura 10. Hoja de ruta elaborada por el Planbim Chile para la implementación de la metodología BIM en el 2016.....	24
Figura 11. Dimensiones de la información dentro de la metodología BIM	28
Figura 12. Representación gráfica de los LOD	30
Figura 13. Roles BIM dentro del ciclo de vida del proyecto	32
Figura 14. Ejemplos de Software utilizados dentro de la metodología BIM según su uso	33
<i>Figura 15. Modelo de Gran Bretaña para la Implementación de la metodología BIM.....</i>	<i>36</i>
Figura 16. Representación gráfica del modelo del PoA.....	38
Figura 17. Dimensiones del marco de referencia BIM.....	40
Figura 18. Actores dentro de los campos de trabajo dentro de la metodología BIM	42
Figura 19. Diagrama de flujo de las etapas de capacidad BIM	43
Figura 20. Ciclo de vida del Proyecto en la primera etapa de capacidades BIM	45
Figura 21. Ciclo de vida de un Proyecto al alcanzar la segunda etapa de capacidades BIM.....	46
Figura 22. Ciclo de vida de un Proyecto para al alcanzar la tercera etapa de capacidades BIM	46
Figura 23. Crecimiento de la madurez BIM para la primera etapa de capacidades BIM.....	49
Figura 24. Tipos de proyecto de obra pública considerados por el MIDEPLAN	54
Figura 25. Participación de las instituciones reguladoras en el ciclo de vida de los proyectos de inversión pública.	56
Figura 26. Inversión en infraestructura como porcentaje del PIB 2009-2015.....	57
Figura 27. Distribución de la inversión en infraestructura.	62

Figura 28. Proyección de inversiones en obra pública para las nuevas construcciones en el año 2019.	64
Figura 29. Cantidad de instituciones académicas que tienen convenios o alianzas con el sector privado o público.....	66
Figura 30. Porcentaje de escuelas universitarias que cuentan con un programa establecido para el desarrollo de la metodología BIM	67
Figura 31. Porcentaje de las unidades académicas que están realizando modificaciones en el plan de estudio.....	68
Figura 32. Tipo de cursos en los que se utilizan herramientas BIM dentro de las instituciones académicas.....	68
Figura 33. Tipo de software utilizado en los diferentes cursos de las unidades académicas.....	69
Figura 34. Cantidad de trabajos de investigaciones realizadas entre las diferentes unidades académicas.....	70
Figura 35. Recursos que se buscan dentro de las unidades académicas para apoyar la generación de capital humano dentro de la metodología BIM.....	70
Figura 36. Distribución del tipo de empresas entrevistadas del sector privado.	72
Figura 37. Calificación de las capacidades obtenidas para cada una de las empresas dentro de las diferentes etapas de capacidad.	73
Figura 38. Porcentajes de las empresas que se pueden desarrollar los distintos niveles de madurez para las etapas de capacidad.....	75
Figura 39. Resultado del modelo del punto de adopción para el sector privado.....	75
Figura 40. Distribución de las empresas por nivel de madurez en el campo de la tecnología....	77
Figura 41. Porcentajes de las empresas que se pueden desarrollar los distintos niveles de madurez en las diferentes áreas del campo tecnológico.....	78
Figura 42. Distribución de las empresas por nivel de madurez en el campo de los procesos. ...	79
Figura 43. Porcentajes de las empresas que se pueden desarrollar los distintos niveles de madurez en las diferentes áreas del campo de los procesos.....	79
Figura 44. Distribución de las empresas por nivel de madurez en el campo las políticas.....	80
Figura 45. Porcentajes de las empresas que se pueden desarrollar los distintos niveles de madurez en las diferentes áreas del campo de las políticas.	81
Figura 46. Resumen de las características que presentan los campos que impactan en la implementación del BIM del sector privado.	82

Figura 47. Uso de herramientas de modelación dentro de las instituciones públicas dentro de proyectos.....	86
Figura 48. Instituciones con algún tipo de estrategia en desarrollo para la implementación de la metodología BIM.	86
Figura 49. Resultado del modelo del punto de adopción para el sector público.	87
Figura 50. Resumen de las características que presentan los campos que impactan en la implementación del BIM del sector privado.....	88
Figura 51. Percepción de las fortalezas propuestas a los entrevistados.....	89
Figura 52. Percepción de las oportunidades propuestas a los entrevistados	91
Figura 53. Percepción de las debilidades propuestas a los entrevistados	92
Figura 54. Percepción de las amenazas propuestas a los entrevistados	93
Figura 55. Conocimientos de centros de formación a nivel nacional en BIM	94
Figura 56. Institución que debe guiar la implementación de la metodología BIM en proyectos de obra pública.....	95
<i>Figura 57. Dimensiones en las que se desarrollan las hojas de ruta.....</i>	<i>97</i>
Figura 58. Simbología de la hoja de ruta representada mediante un diagrama de etapas concéntricas.	121
Figura 59. Hoja de ruta para la implementación de la metodología BIM en Costa Rica representada mediante un diagrama Gantt.....	122
Figura 60. Hoja de ruta para la implementación de la metodología BIM en Costa Rica representada mediante un diagrama de etapas concéntricas.....	123
Figura 61. Actores recomendados dentro de la estrategia para la implementación de la metodología BIM.....	125
Figura 62. Estructura organizacional del Comité BIM.	128
Figura 63. Resultados de la validación realizada al comité experto.....	130
Figura 64. Comité de validación que participó en la sesión del 15 de mayo del 2019.....	177
Figura 65. Proceso de conversación para analizar y evacuar dudas de la propuesta elaborada.	177
Figura 66. Exposición de la propuesta de implementación BIM al comité de validación.	178
Figura 67. Aplicación de la herramienta de validación para obtener la evaluación del comité experto.	178

Tabla de Cuadros

Cuadro 1. Fases y subfases del ciclo de vida de un proyecto dentro del marco de referencia BIM	43
Cuadro 2. Posición internacional en cuanto a la calidad de las carreteras	58
Cuadro 3. Comparación entre los sistemas tradicionales y las APP	60
Cuadro 4. Desafíos en el gerenciamiento de la inversión pública.....	63
Cuadro 5. Resumen del código de referencia para identificar los niveles de madurez.	65
Cuadro 6. Relación entre los grupos de actores recomendados y las tareas de la hoja de ruta propuesta.	127
Cuadro 7. Roles de los sectores dentro del proceso de implementación.....	129
Cuadro 8. Matriz de madurez BIM para la escala organizacional.....	166
Cuadro 9. Matriz con los componentes de Macro Madurez.....	170
Cuadro 10. Proyectos del Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2022	171

Carmona Zúñiga, Mauricio

Propuesta para la implementación de la metodología BIM en proyectos de obra pública de Costa Rica.

Proyecto de Graduación-Ingeniería Civil- San José, C.R.:

M. Carmona Z., 2019

xiii, 144, [34]h; ils. col. -77 refs

Resumen

En los últimos años han surgido rezagos importantes en proyectos de obra pública que generan grandes necesidades de inversión en infraestructura. A su vez, la metodología del Modelado de la Información de la Construcción (BIM, por sus siglas en inglés) ha tomado la vanguardia en el manejo de la información para los proyectos de la construcción. El principal objetivo de esta investigación es proponer un proceso de adopción u hoja de ruta para la incorporación de la metodología BIM durante las fases de planificación, diseño, construcción y operación de la obra pública en Costa Rica como herramienta para mejorar la gestión de los proyectos constructivos.

Para esto, se realizó una investigación donde se obtuvo un marco de referencia, desarrollado por Bilal Succar y Mohamad Kassem, el cual se utilizó para generar 2 herramientas de evaluación. Estas se aplicaron mediante entrevistas a 41 profesionales del sector público, el sector privado y la academia que tuvieran relación con las áreas de la arquitectura e ingeniería civil. Posteriormente, se procedió a identificar las capacidades de los tres sectores en el uso de la metodología y determinar el nivel de madurez como insumo para determinar el punto inicial del proceso de adopción. Luego, se generó una estrategia aplicable a la realidad costarricense la cual fue evaluada por un comité de validación conformado por 8 expertos que indicaron un grado de aceptación de 9.22 sobre la propuesta desarrollada y aportaron comentarios sobre los aspectos más importantes que se pueden mejorar.

El resultado fue una propuesta validada por el comité de expertos que se puede utilizar como base para desarrollar una estrategia a nivel nacional para la implementación de la metodología BIM en Costa Rica. Además, se evidenció que el sector privado es el que tiene un mayor nivel de madurez en proyectos de construcción, mientras que el sector público y la academia aún están en sus fases iniciales. MCZ

Palabras clave: construcción, BIM, implementación, hoja de ruta, matriz de madurez.

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

1.1.1. *El problema específico*

La industria de la construcción costarricense se ha caracterizado por un rezago en el desarrollo de obra pública, lo que ha generado la necesidad de una gran inversión en temas de infraestructura vial, educación, hospitales, entre otros. (Villalobos, 2017). Sumado a esto, la construcción es la única actividad económica que ha decrecido en -3,4 % y -2,1 % según la tasa de variación anual, durante el 2016 y 2017 respectivamente, si bien en el 2018 creció un 6,6%, apunta a un menor crecimiento para los años 2019 y 2020. (Banco Central de Costa Rica, 2019). Una de las posibles razones son los retrasos y la lenta ejecución de los proyectos que terminan causando pérdidas económicas al país por el pago de las comisiones de compromiso. (Vargas, 2015)

En la búsqueda de soluciones para estos problemas relacionados con la administración de la obra pública se podría pensar en un cambio en la forma en que se manejan los proyectos de construcción con el uso de nuevas tecnologías. El reto en la actualidad sería buscar la incorporación de nuevas metodologías basadas en manejo eficiente de la información que puedan facilitar todos los procesos de un proyecto de construcción, tomando en cuenta la resistencia natural al cambio que surge por la necesidad de realizar esfuerzos adicionales y salir de la zona de confort para aplicar los nuevos conceptos de manera eficiente. (Aca, 2017)

En el campo internacional, la metodología para la modelación de la información en construcción o BIM (Building Information Modeling, por su nombre en inglés), se ha puesto a la vanguardia contribuyendo a facilitar el manejo y la transmisión de la información; esto ha tomado gran importancia y muchos países han iniciado planes para adoptarla. La adopción de nuevas metodologías ha sido incipiente en Costa Rica, principalmente por la falta de incentivos en el mercado para abandonar las formas tradicionales de realizar las labores dentro de la construcción y por la resistencia natural al cambio.

Además, la falta de difusión de información y comportamientos colaborativos respecto al tema dentro de los involucrados en la construcción en el país ha generado ideas erróneas de lo que significa la metodología BIM, al punto en el que se asocia esta metodología a un solo

programa que es utilizado como herramienta y se pierde el verdadero potencial que tiene para mejorar la eficiencia e impulsar el crecimiento del sector construcción.

Dentro de los avances que ha tenido esta metodología en Costa Rica, los más relevantes se han logrado por parte del sector privado en donde algunas empresas constructoras han generado modelos para reducir la incertidumbre dentro de la planificación y los diseñadores han empezado a producir sus modelos para crear, de una manera más eficiente, planos que se utilizarán para dicho fin. Sin embargo, estos intentos se han realizado de manera aislada y carentes de una verdadera comunicación entre todas las partes involucradas en el proceso de planificación, construcción, operación y mantenimiento de la obra pública (Murillo, 2018). Uno de los objetivos de BIM es que las etapas del proyecto se desarrollen en forma integral. Al tener una menor cooperación entre los involucrados se pierde la idea original de la metodología, generando que su implementación no sea la óptima, ya que, si no se desarrolla adecuadamente, los costos pueden ser mayores y por tanto con una baja rentabilidad.

La propuesta de este proyecto fue generar una hoja de ruta que contribuya con la difusión de las nuevas tecnologías en construcción para aprovechar sus ventajas y aminorar costos sobre los recursos de los costarricenses, aprovechando la importancia que tienen los proyectos de infraestructura pública. Se requiere promover el liderazgo de las instituciones estatales en esta área para que el mercado de la construcción acelere su proceso de transición dentro de la revolución tecnológica.

1.1.2. Importancia

La importancia de este trabajo radica en la presentación de una propuesta de valor, la cual inicie con una amplia definición de la metodología BIM. Para ello se evacuaron las dudas existentes sobre todos los conceptos de esta nueva forma de trabajo con el fin de nivelar el conocimiento y el entendimiento dentro del campo BIM y facilitar el desarrollo del proyecto, así como la aplicabilidad de los entregables que se generan.

Posteriormente, se presentó el potencial y el valor en el uso de la metodología BIM dentro de los proyectos de construcción, basados en las experiencias internacionales y en los proyectos de investigación que se han generado. Entre los temas que se evaluaron, se pueden destacar los aportes y las soluciones a temas de interés que han surgido en los proyectos de obra pública a nivel nacional. Dentro de los aportes que se resaltan están:

- La reducción de los costos y tiempos en los procesos constructivos.
- Disminución en el nivel de incertidumbre en los proyectos y un menor desperdicio en la construcción.
- Mejor comprensión de los involucrados que no tienen experiencia en construcción.
- Facilitar el mantenimiento a la infraestructura entre otros beneficios que ofrece esta metodología.

Lo anterior, es posible al reducir la ambigüedad y la incertidumbre de los proyectos, dándole la capacidad a los diseñadores y propietarios de realizar cambios en el momento adecuado. A su vez, facilitará el trabajo relacionados con la estimación de los costos, su planificación y la ejecución dentro del proceso constructivo. El análisis realizado muestra como en otros países la implementación de esta tecnología genera ahorros y beneficios en los proyectos, favoreciendo a todos los involucrados: propietarios, diseñadores, constructores y operadores. Es de esperar que en nuestro país la utilización de la metodología genere un impacto similar para los proyectos de obra pública.

Con dicho sistema se genera una mayor transparencia y trazabilidad en el manejo y almacenamiento de la información la cual, al poder ser consultada constantemente, favorecerá las inspecciones y desestimulará la generación de conflictos de interés. De esta manera, se pueden generar beneficios sociales y medioambientales en el país, gracias a la creación y el manejo de los servicios públicos mediante procesos constructivos eficientes y eficaces, así como una buena comunicación y coordinación entre los mecanismos involucrados.

De forma complementaria, se evidencia la importancia de llevar un liderazgo dentro del proceso de implementación de la metodología BIM por parte de las instituciones involucradas en los proyectos de obra pública. Inclusive, el grupo de trabajo sobre BIM de la Unión Europea ha recomendado utilizar políticas gubernamentales y el uso de los procesos de contratación pública para impulsar esta nueva tecnología de la información y llevar una transformación controlada en el sector. (EUBIM TaskGroup, 2018)

Generar un liderazgo por parte del gobierno, para impulsar el cambio hacia la metodología BIM de manera gradual, le podría dar la oportunidad al mercado costarricense de una mayor coordinación de los involucrados en el proceso de construcción.

El hecho de que los proyectos gubernamentales impulsen el uso de las nuevas formas de trabajo facilitaría la adaptación de las empresas ofreciendo mayor confianza a los involucrados, este es el caso de Chile, el cual será expuesto más adelante.

Finalmente, otro aspecto importante dentro de este proyecto fue el desarrollo de un Mapa de Ruta. Este último pretende ser una base para iniciar un proceso de transición que culmine con la correcta aplicación de la metodología BIM impulsando, a su vez, los proyectos de obra pública en Costa Rica. Adicionalmente, se presentarán recomendaciones de forma general para tomar en consideración durante la implementación de BIM.

1.1.3. Antecedentes teóricos y prácticos

El uso de la metodología BIM en el país ha venido creciendo de manera gradual en el sector de la construcción. En el 2017 se conformó el "BIM Forum Costa Rica" que es una comisión de la Cámara Costarricense de la Construcción que busca promover la utilización de los procesos BIM en el país. Esta comisión tiene como propósito difundir el crecimiento del uso de herramientas BIM a nivel internacional.

Las investigaciones sobre este tema, en el campo académico, se han desarrollado en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con énfasis en la fase de pre-construcción. Entre los primeros trabajos, se buscó la detección temprana de interferencias con el uso de herramientas BIM. (Vargas, 2015) Posteriormente, las investigaciones continuaron con la cuantificación, de manera automática, de los diferentes elementos de diseño propuestos por parte de todos los diseñadores involucrados en un proyecto habitacional. (Gonzalez, 2015). Y, como un tercer proyecto, se buscó implementar la tecnología BIM para mejorar la planificación de un proyecto constructivo. (Chonkan, 2016)

La tecnología BIM a nivel mundial ha avanzado con mayor amplitud. En Europa, países como: Inglaterra, España, Alemania, Francia, Italia, Escocia, Suecia, entre otros; ya han desarrollado una gran cantidad de información sobre el tema. Incluso, han generado el "*Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo*", el cual fue elaborado por un grupo de trabajo sobre BIM de la Unión Europea y busca apoyar con conocimientos para que el sector público lidere la implementación de BIM en Europa. De las lecturas hechas hasta el momento se logra concluir que, en la mayoría de los países de Europa y América, ha sido a través del sector público que se ha dado el primer impulso al uso de BIM.

De la misma forma, otros países han iniciado un proceso de adaptación como lo es el caso de Japón, Canadá, Estados Unidos y Corea del Sur. En Latinoamérica, los países que han empezado a trabajar en el tema son: Chile, Brasil, México, Argentina, Uruguay y Perú, siendo Chile el principal promotor de BIM en la región, en donde han desarrollado el “plan BIM” que inició como un programa a 10 años. Una de sus metas es la utilización de la metodología BIM para el desarrollo y operación de proyectos de edificación e infraestructura pública (BIMCommunity, 2016).

La evolución de esta plataforma se ha dado principalmente a través del “BIM Forum Chile” en el cual se busca compartir información para apoyar el desarrollo y la difusión de la tecnología dentro de la industria de la construcción. En esta plataforma se encuentran gran cantidad de investigaciones sobre la implementación de BIM. Estas investigaciones revelan cuáles son los factores más importantes en la implementación de la metodología BIM. Por ejemplo, en el trabajo de Saldía Silva (2010) “Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM”, se analizaron proyectos ya construidos con los métodos tradicionales, permitiendo determinar los beneficios que se hubieran obtenido utilizando la tecnología BIM, con lo cual se demostró la eficiencia de la metodología BIM.

De esta forma, uno de los principales objetivos de BIM es la búsqueda de la cooperación. Con el impulso de la Unión Europea, han surgido grupos como “BIM Community” y “buildingSMART” los cuales buscan apoyar los esfuerzos de los diferentes países para el uso de un diseño colaborativo, al transmitir información sobre las investigaciones realizadas, las normativas generales utilizadas para su control y los procedimientos para llevar a cabo su desarrollo.

BIM Excellence Initiative, entidad desarrolladora de cambios tecnológicos en Australia, desarrolló la “Matriz de Madurez BIM” en el año 2016, la cual es un enfoque para evaluar el desempeño de la implementación de BIM basado en las investigaciones de los profesionales y de las organizaciones. Esta tecnología se está empezando a desarrollar en otros países y ha tenido acogida por los buenos resultados y economías que se han presentado en los proyectos de construcción, por lo que esta investigación contribuirá con el estudio para introducirla en el país.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Establecer un proceso de adopción u hoja de ruta para la incorporación de la metodología BIM durante las fases de planificación, diseño, construcción y operación de la obra pública en Costa Rica como herramienta para mejorar la gestión de los proyectos constructivos.

1.2.2. Específicos

- a) Determinar el nivel de madurez que posee Costa Rica en el uso de la metodología BIM.
- b) Formular un mapa de ruta para la implementación de la metodología BIM, partiendo del nivel de madurez encontrado en Costa Rica.²
- c) Describir brevemente la situación actual de la obra pública en Costa Rica a partir de una búsqueda bibliográfica e información obtenida del MIDEPLAN.
- d) Realizar una verificación de la hoja de ruta propuesta para la implementación de la metodología BIM en proyectos de obra público mediante un comité de expertos.

1.3. Hipótesis

Dada la conformación actual del sector público en Costa Rica y sus articulaciones con los sectores privado y académico, es posible proponer una hoja de ruta que facilite la visualización de la metodología BIM en los proyectos de obra pública.

1.4. Delimitación del problema

1.4.1. Alcance

Se exponen los conceptos fundamentales de BIM para entender su alcance y aplicación en los proyectos de construcción, además de mostrar las diferencias con respecto a la aplicación de la metodología tradicional en Costa Rica (CAD).

El estudio enmarca solamente el desarrollo de obra pública, a través del BIM. Los procesos de diseño, contratación y construcción de la obra privada, a pesar de que son similares, no son objeto del estudio.

Se contempla los procesos de aplicación de esta tecnología por parte de otros países que la han implementado, entre ellos los que integran el grupo de EUBIM y BIM LATAM. Dando énfasis al proceso realizado por Chile y su proyecto de desarrollo "Plan BIM".

Incluye la revisión de los estándares básicos que se han generado a partir de las experiencias internacionales por medio de las facilidades suministradas en grupos como "buildingSMART" y "BIM Community".

Se propone una matriz de madurez que se adapte mejor a la realidad del país en el tema de BIM.

1.4.2. Limitaciones

Destacan la falta de experiencia y de personal capacitado en materia BIM lo cual ha impedido la correcta aplicación de dicha metodología en los proyectos de obra pública dentro del sector de la construcción del país. Para evitar que esto sea un obstáculo, se buscará coordinar reuniones con anticipación y ampliar la base de opciones de los profesionales que cuenten con conocimiento en el tema.

Asimismo, es importante considerar la dificultad para la selección y clasificación de la información relevante y no comercial en internet, además del acceso a documentos físicos que puedan requerirse de algunas organizaciones. Como medida para esta limitación, se establecerá una lista de criterios para la aceptación de fuentes.

Otro punto importante de señalar es la escasa investigación desarrollada a nivel nacional que muestre el impacto del uso de la metodología BIM en los proyectos de construcción en Costa Rica. Como contramedida, se utilizarán las investigaciones realizadas por países de la región latinoamericana, especialmente en Chile.

Finalmente, cabe mencionar como limitación la obsolescencia de la información de las instituciones encargadas de los proyectos de obra pública y la comunicación ineficaz entre los departamentos que conforman dichas instituciones. Para solucionar este aspecto se clasificará la información de manera que se emplee la más reciente, reconociendo los puntos faltantes y complementándolos con la experiencia de otros países.

1.5. Marco Metodológico

La metodología que se utilizó para elaborar el proyecto final de graduación es de tipo descriptiva-cualitativa y se muestra en la Figura 1.

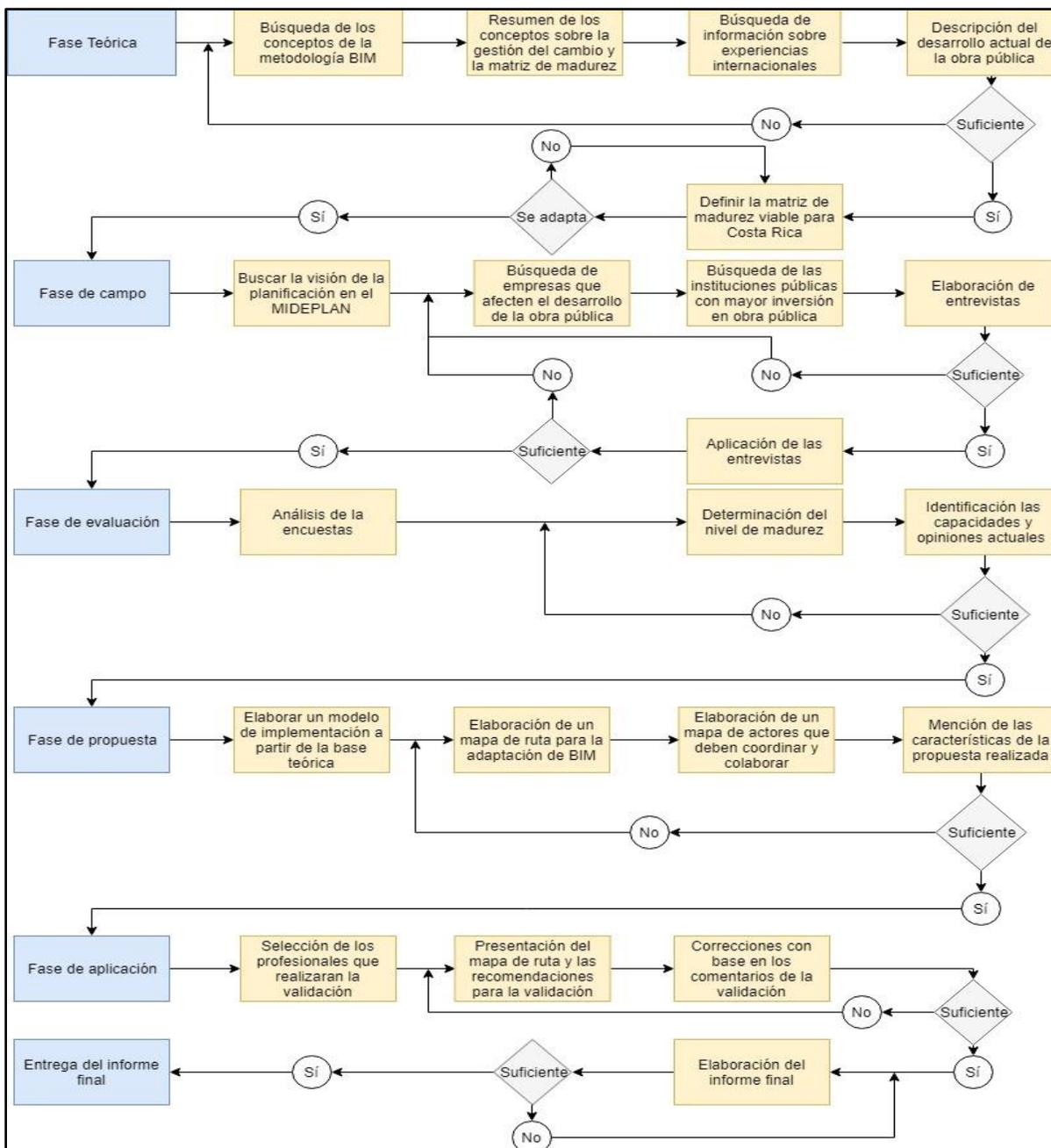


Figura 1. Esquema metodológico para la elaboración de una propuesta de implementación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura pública

La primera parte de esta investigación consiste en la síntesis de los conceptos que comprenden la metodología BIM, para tener una idea clara sobre los beneficios y las diferencias

que este tiene sobre las metodologías tradicionales. De manera complementaria, se exponen los conceptos de un marco de referencia sobre una metodología que estudia la implementación del BIM y la matriz de madurez. Dicha matriz consiste en un conjunto de áreas de proceso, establecidas con base en el estudio previo de la metodología BIM y las experiencias internacionales, esto define un conjunto de objetivos que deben cumplirse según cada nivel de madurez. Se da una breve descripción de los acontecimientos en los diferentes países para tener una idea del panorama a nivel mundial.

Paralelo a la búsqueda de los conceptos relacionados con la metodología BIM, se expone la forma en la que se llevan a cabo los proyectos de obra pública, observando sus circunstancias y características generales. Con base en ambas líneas de investigación, se elaboran dos herramientas de medición que permitan identificar las capacidades, la madurez y las opiniones de distintos actores dentro del sector público, el sector privado y la academia. Para abordar las opiniones sobre los riesgos y los beneficios del uso de esta metodología en los proyectos de obra pública, se realiza un análisis FODA en el cual los parámetros a considerar son: los recursos humanos, materiales, tecnológicos y económicos, entre otros. La herramienta utilizada para obtener la información del sector público y el sector privado se presenta en la sección 7.1 y en la sección 7.2 para el sector académico.

En una segunda etapa, se presenta información sobre la planificación de las instituciones gubernamentales en materia de obra pública, específicamente los pertenecientes al Ministerio de Planificación Nacional y Políticas Económicas (MIDEPLAN) para tener una mirada al futuro. Seguidamente, se realizan entrevistas semiestructuradas, de manera personal, previamente definidas con las herramientas de medición que apoyen el cumplimiento de los objetivos de la investigación. Se toman como unidades de análisis, en el caso de las instituciones públicas, las áreas involucradas del desarrollo de obra pública. De igual forma, para el sector privado se consideran los profesionales que hayan participado en proyectos donde se aplicaron conceptos de la metodología BIM. Las personas a las que se les aplica la entrevista cuentan con una serie de características previamente establecidas, la muestra es de tipo no probabilística y es escogida por conveniencia de la investigación, las instituciones públicas que se son las que tienen mayor peso dentro de las inversiones en infraestructura, basándose en la cantidad de proyectos que realizan y el costo de estos, o por su interés en relación al tema de la metodología BIM. En el caso de las empresas privadas, su selección se base en el reconocimiento que tienen dentro del sector por sus avances dentro del uso de la metodología BIM. En el caso de las unidades

académicas, se hará énfasis en aquellas que formen profesionales en el campo de la construcción como lo son Ingenieros Civiles y Arquitectos.

Las guías de preguntas que se emplean para las entrevistas estan basadas en la metodología del punto de adopción, la cual se explica en el marco teórico de este documento. Con base en las respuestas recolectadas con dicho instrumento se detallan los niveles de madurez de cada una de las organizaciones, además para obtener las capacidades de cada uno de los sectores, tanto del privado como público, se procederá a emplear los resultados más frecuentes del muestreo.

Seguidamente, se entra en una fase de evaluación, donde se procesan y analizan los resultados de las encuestas. Para procesar las entrevistas, se utiliza una guía estructurada que facilita la forma de abordar las mismas y poderlas homologar, independientemente de las personas a las que se le realicen las entrevistas. El resultado es una base de información que permite determinar el nivel de madurez en el uso de las metodologías BIM para el sector público y el sector privado. Dicho nivel de madurez depende de una serie de indicadores relacionados con los recursos humanos, tecnológicos y técnicos que obedecen a una serie de objetivos que se deben cumplir, según las características de todos los niveles que componen la matriz.

En la fase de propuesta, se formula un mapa de ruta que consiste en el desarrollo de las actividades generales para impulsar la generación de las capacidades dentro de los flujos de trabajo BIM, con el fin de alcanzar el nivel de madurez deseado. Para la formulación del mapa de ruta se proponen los principales actores que deberían coordinar y colaborar para la implementación y adopción de la metodología BIM en los proyectos de obra pública.

Finalmente, se busca el análisis del mapa de ruta mediante la selección de un grupo de profesionales con experiencia en proyectos de obra pública y en materia de BIM. Este grupo de profesionales representan al sector académico, empresa privada y a las instituciones gubernamentales, de tal manera que se tenga una mezcla adecuada de criterios en la evaluación. Con base en los comentarios que surjan del análisis, se realizan las correcciones necesarias y se elabora el informe final de la investigación. En este informe se muestran los resultados obtenidos de la investigación, el análisis de la información recolectada, el proceso que se llevó a cabo para obtener los resultados y el aporte suministrado por la investigación, relacionado con los objetivos propuestos.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción a los conceptos de la modelación de la información para la construcción.

2.1.1. Definición del BIM y su aporte al sector de la construcción.

Con el paso del tiempo y el crecimiento de la sociedad, la necesidad de desarrollar una mayor infraestructura y mejorar la eficiencia en su construcción se vuelve cada vez más importante. Es con la ayuda de la construcción que se puede crear la infraestructura, generando una gran cantidad de empleos y siendo una fuente clave para la generación de oportunidades en lugares desarrollados y no desarrollados, estimulando la economía. (Arreola, 2018)

Sin embargo, la productividad laboral en el sector ha tenido un rezago con respecto a las otras industrias a nivel mundial. Se estima que en los últimos 20 años el sector de la construcción ha crecido apenas un 1%, mientras que los otros sectores de la economía global han crecido un 2,8%. Esto se refleja en la gran cantidad de proyectos que sufren retrasos y sobrecostos todos los días, estos retrasos generan una disminución en la competitividad y un aumento en los riesgos y los desperdicios a lo largo de la vida útil de los proyectos constructivos. (Barbosa, y otros, 2017)

El aumento en la necesidad de nuevas estructuras más eficientes genera a su vez un ambiente ideal para realizar cambios en el sector de la construcción, de manera conjunta, para solucionar los problemas de productividad. Se estima que la productividad puede aumentar hasta en un 60% si se trabaja en áreas como: la contratación, los procesos de diseño, gestión en la cadena de suministros, ejecución in situ, regulaciones, automatización avanzada, capacitación del personal y el uso de nuevas tecnologías. Esto implica una gestión que necesita trabajar de manera colaborativa entre todos los involucrados en los proyectos, donde se tiene que tener clara la necesidad del cambio y la inminente disrupción en el sector de la construcción que puede desarrollarse en el futuro. (Mischke & BaveyStock, 2017)

Este cambio debe ser generalizado en todo el proceso de planificación y gestión de los proyectos de la construcción, donde genere un sistema más colaborativo y se utilicen nuevos métodos que faciliten el control de los proyectos y su mantenimiento. Actualmente, el proceso para desarrollar un proyecto se encuentra fragmentado y está basado en una comunicación basada en el uso de planos donde surgen muchos problemas por interpretación u omisión que causan retrasos y sobrecostos. Esto puede generar conflictos entre todos los interesados del proyecto, lo que puede afectar la toma de decisiones de manera oportuna y causar la pérdida de

rentabilidad para los propietarios. Esto puede mejorarse con un sistema que facilite la comunicación, permitiendo un almacenamiento de la información más simple donde se puedan incorporar parámetros como el impacto ambiental y la información necesaria para realizar el mantenimiento. (Eastman, Teicholz, Liston, & Sacks, 2008)

A partir de la necesidad de mejorar la productividad y la facilidad con la que se desarrollan los procesos constructivos surge la metodología del Modelado de la Información para la Construcción o BIM, por sus siglas en inglés. Es importante destacar que con el paso de los años se ha cambiado por el modelado por un mejor manejo de la información en la construcción, esto debido a la redefinición del alcance que ha tenido la metodología con los nuevos avances que surgen constantemente. El BIM se puede definir como una metodología que incorpora formas de trabajo, tecnologías y estándares que permite generar una preconstrucción virtual de edificaciones o infraestructura de forma colaborativa (Planbim, s.f). En la Figura 2, se puede observar gráficamente el entorno de trabajo de la metodología BIM, donde se puede ver que se trata de una forma de trabajo donde los diferentes actores trabajan juntos, intercambian información de una manera más eficiente y colaboran para optimizar el proceso constructivo, con el fin de obtener un producto fácil de operar, más barato y con menos desperdicios. (Beague, y otros, 2015)

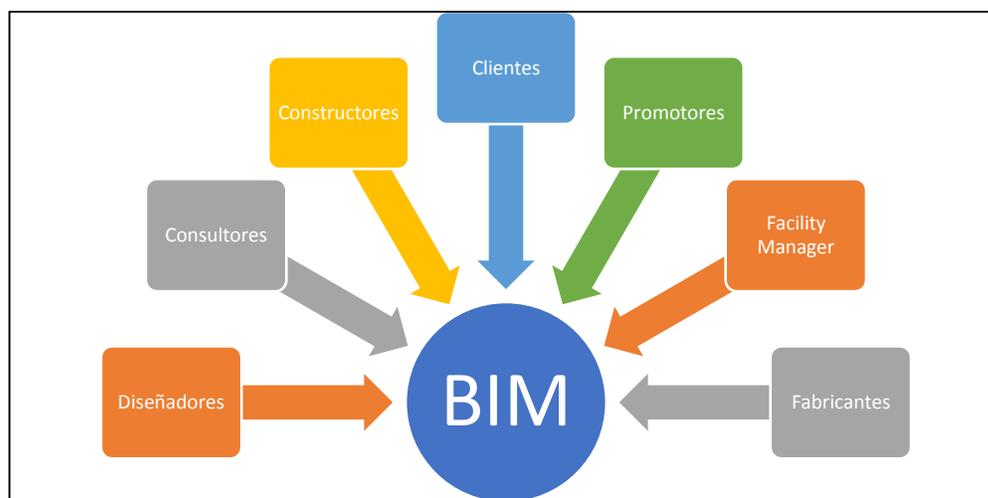


Figura 2. Concepto de la metodología BIM dentro de un proyecto de construcción.

Fuente: (Beague, y otros, 2015)

Modificado por autor

En otras palabras, la modelación de la información para la construcción o Building Information Modeling (BIM) es una de las metodologías más importantes que se han desarrollado en las industrias de arquitectura, ingeniería y construcción. La tecnología BIM, busca construir

digitalmente un modelo de construcción virtual preciso que sustituya el uso de los sistemas tradicionales como los planos en 2D. (Eastman, Teicholz, Liston, & Sacks, 2008)

La metodología BIM, también puede ser vista como el uso de una plataforma de software que reúne a los involucrados en el proyecto para desarrollar un modelo tridimensional que se basa en la generación de elementos que contienen toda la información necesaria para su fabricación y colocación. Cada objeto debe permitir obtener información de su geometría y sus propiedades, el cual va a estar identificado por un identificador único. (Beague, y otros, 2015)

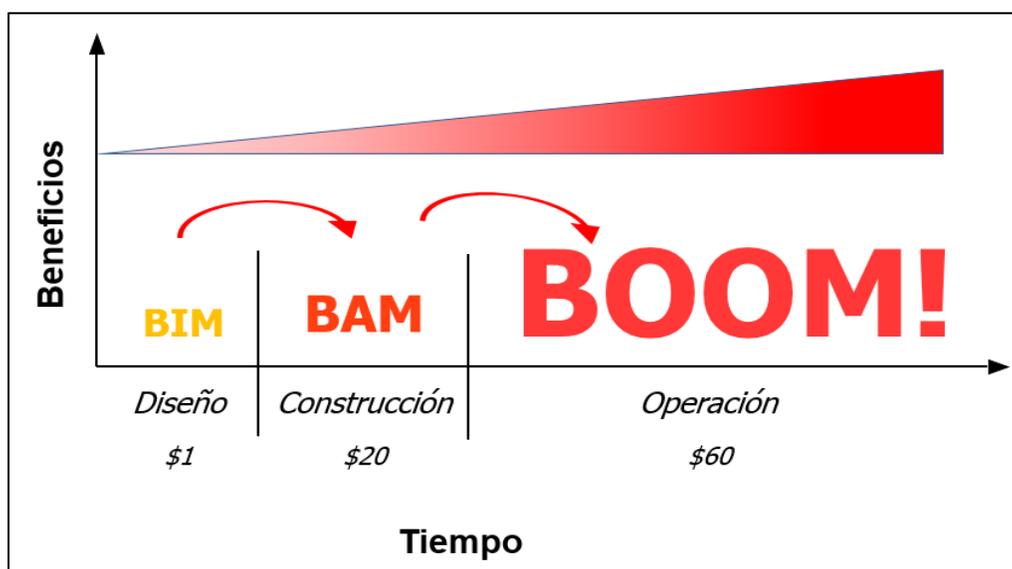
El uso de la metodología BIM brinda la oportunidad de manejar una mayor cantidad de información a lo largo de toda la vida útil del proyecto. No solo corresponden a la etapa de diseño, sino que también son utilizados en las etapas de ejecución y operación, abarcando toda la vida útil del proyecto. Con los beneficios del uso de BIM en los proyectos de construcción ha surgido un acrónimo conocido como "BIM BAM BUM", propuesto por el arquitecto Patrick MacLeamy, que hace referencia a cada una de las etapas del ciclo de vida de los proyectos. BIM se refiere a "Building Information Modeling" que es la etapa de diseño, BAM que significa "Building Assembly Modeling" refiriéndose al proceso de construcción del proyecto y por último el BOOM que es el "Building Operation Optimization Model" que se enfoca más en la etapa de operación, uso y mantenimiento de la estructura (Thomas, Amhoff, & Beech, 2018).

En la Figura 3, pueden encontrar una representación gráfica de los beneficios de la metodología BIM basados en la división propuesta por MacLeamy. Este gráfico indica que por \$1 que se utilice en la fase de diseño se gastan \$20 en la fase de construcción y \$60 en la operación y el mantenimiento, esto quiere decir que los mayores costos de un proyecto de construcción se desarrollan en la etapa de operación a lo largo de toda la vida útil. Se estima que, con el uso de esta forma de trabajo, se puedan reducir los costos hasta en un 30%. (Quintanilla, s.f.)

Es importantes que, para la aplicación de estas metodologías, todas las partes sigan un mismo estándar en el uso de las herramientas y los procesos para garantizar que el proceso colaborativo no se vea obstruido por problemas en la coordinación y sincronización de la información (Beague, y otros, 2015). Algunas de las utilidades que se le puede dar a la metodología BIM son:

- Apoyar en el proceso de la toma de decisiones.
- Presentar de una manera más clara la información del proyecto para que todas las partes entiendan el objetivo de este y así generar una coordinación adecuada entre las partes interesadas.

- Asistir en los diseños de las estructuras y facilitar la coordinación entre los diseños de tal forma que se eviten conflictos futuros en la etapa de construcción.
- Asegurar la calidad del proceso constructivo y del producto final, al permitir procesos de diseño y construcción más eficientes.
- Apoyar en los procesos de presupuestación y control de los costos a lo largo del ciclo de vida de las estructuras.
- Permitir un manejo y almacenamiento de la información del proyecto durante todas las etapas de su ciclo de vida.



*Figura 3. Beneficios del BIM en el ciclo de vida de los proyectos de construcción.
Fuente: (Calcagno, 2018)
Modificado por autor*

El ciclo de vida de un proyecto está compuesto por las fases desde que es concebido hasta su cierre o rehabilitación para extender su vida útil. Estas fases describen un proceso secuencial que se limitan en el tiempo, pueden ser definidas por puntos de control y su documentación puede desarrollarse dentro de una metodología. En la Figura 4, se muestra un gráfico que contiene las etapas generales de todo proyecto en general, así como cuál es la necesidad de recursos dentro de las diferentes etapas de un proyecto. (Project Management Institute, Inc., 2013). Se observa que las necesidades y los costos de los proyectos aumentan conforme se avanza entre las diferentes etapas; por lo tanto, es en las fases iniciales donde se deben tomar decisiones, para que no deban realizarse cambios que impliquen mayores costos en las siguientes.



Figura 4. Fases del ciclo de vida de un proyecto
Fuente: Project Management Institute, Inc., 2013

Dentro del ciclo de vida de los proyectos, existen riesgos e incertidumbre a lo largo del tiempo y las decisiones que se tomen pueden generar cambios que impacten la rentabilidad del proyecto. En la Figura 5, se puede observar que al inicio de un proyecto no se cuenta con gran cantidad de información, por lo que los diseños que se van a generar requieren de más información para evitar altos riesgos para el proyecto. Por otro lado, los costos relacionados con los cambios que se realizan dentro del proyecto son pequeños al inicio, pero conforme avanzan las etapas, hacer cambios implicaría un sobretrabajo, algunos de los entregables ya fueron realizados generándose mayores costos por no haberlo planificado adecuadamente. (Project Management Institute, Inc., 2013), como se revela en la figura 5.

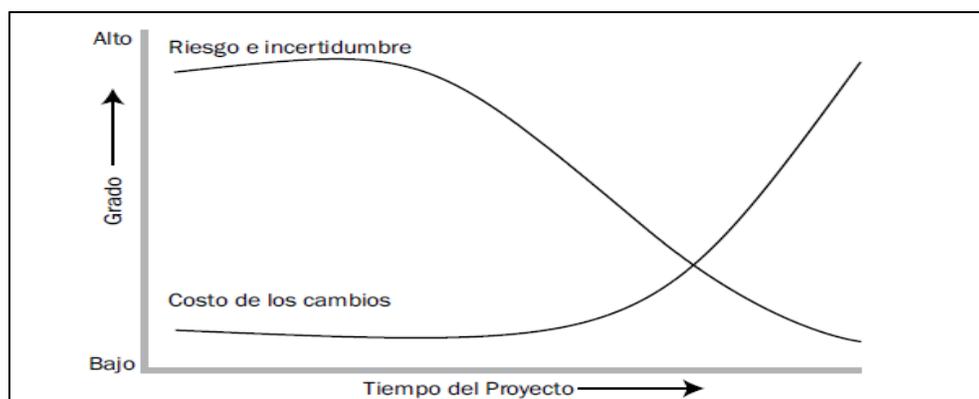


Figura 5. Comportamiento de la incertidumbre y los costos dentro de la vida útil de un Proyecto.
Fuente: Project Management Institute, Inc., 2013

En la Figura 6 se muestra que es necesario generar un ambiente para reducir la incertidumbre al inicio de los proyectos y así evitar cambios dentro de los procesos de ejecución que pueden representar un alto costo dentro del proyecto. La metodología BIM se enfoca en la generación información al inicio para mejorar la productividad y que esta pueda utilizarse en todo el ciclo de vida del proyecto. En la Figura 6 se da una comparación del proceso de un proyecto utilizando la metodología BIM y otro usando los métodos tradicionales, se puede observar que se desplaza a la izquierda, donde la mayor cantidad de esfuerzo y costos del trabajo se dan en las etapas tempranas del proyecto. Por lo tanto, realizar un modelo construible, donde el personal implicado en el diseño, la construcción y la operación se involucran de manera proactiva, puede solucionar problemas importantes a futuro y así ahorrar los costos al propietario. (Garrido, Torres, & Rodríguez, 2016)

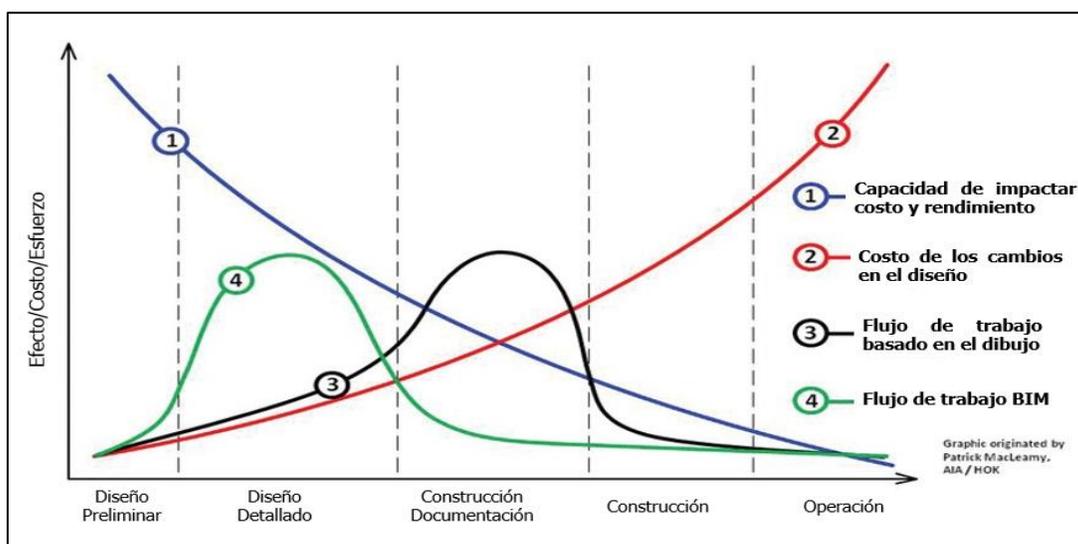


Figura 6. Curva de Mac Leamy
Fuente: (Cardenas, 2015)
Modificado por autor

2.1.2. Historia de la metodología BIM y su desarrollo a nivel mundial

Para entender mejor el concepto de lo que realmente es BIM, sus beneficios y la necesidad de cambiar la forma en cómo se desarrollan los procesos de construcción; se debe entender de donde surgió esta nueva metodología y como se ha desarrollado en los otros países. En la Figura 7, se puede apreciar un mapa con puntos importantes que representan los esfuerzos de los diferentes países para implementar el BIM y elaborar normativa al respecto.

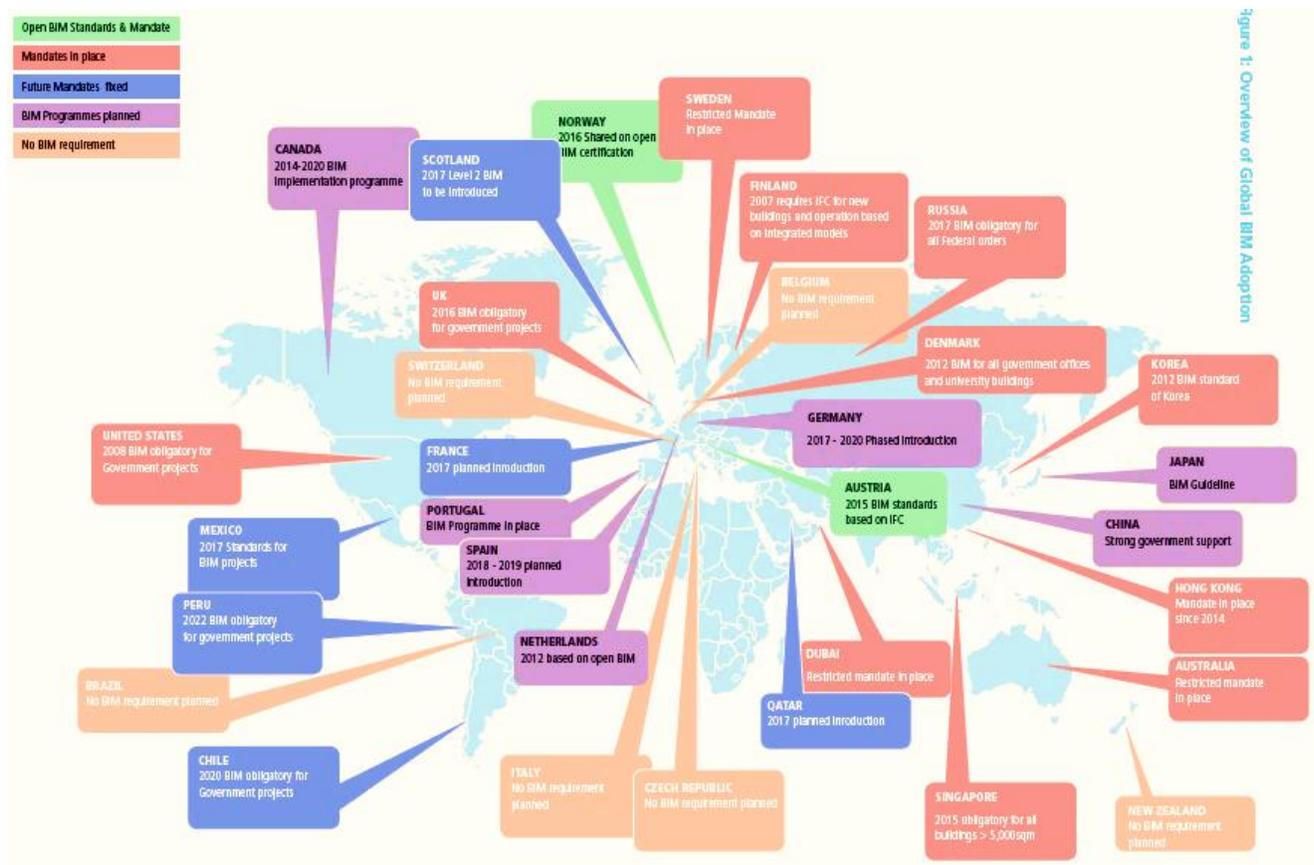


Figure 1: Overview of Global BIM Adoption

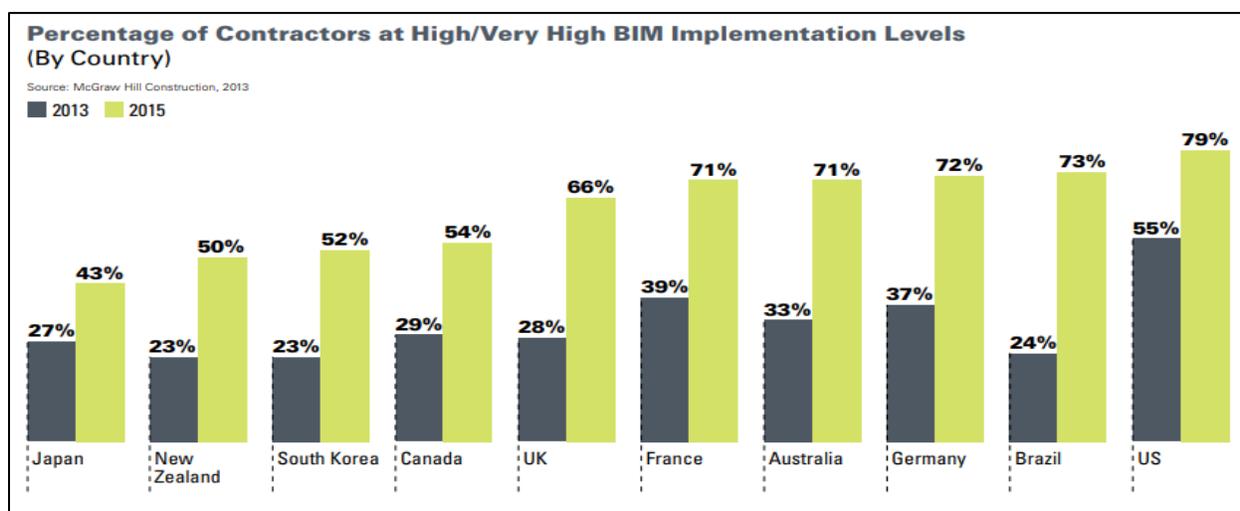
Figura 7. Desarrollo de la metodología BIM a nivel mundial.
Fuente: (Hore, McAuley, & West, 2017)

El concepto de modelado de la información fue propuesto durante el desarrollo de los primeros softwares para el diseño de edificios, durante la década de los 70s. El avance de esta tecnología se vio afectada por la necesidad de utilizar equipos con gran capacidad de procesamiento, lo que conllevaba a que la implementación del BIM tuviera un costo muy elevado. Posteriormente, en la década de los 80s surgió la tecnología del Diseño Asistido por Computadora (CAD, por sus siglas en inglés), en donde se crearon programas de dibujo que ofrecían grandes beneficios en el proceso de documentación de los proyectos, lo que conllevó a una adaptación generalizada en el sector de la construcción. (Eastman, Teicholz, Liston, & Sacks, 2008)

A pesar de que la metodología BIM tenía altos costos, la mejora de las herramientas y software relacionados siguió desarrollándose, y fue hasta la década de 1990 que se establecieron las bases para el modelado de elementos orientados a objetos. Esto último se dio con la ayuda de las investigaciones sobre el modelado 3D con características paramétricas, así como el desarrollo de software para sectores específicos del mercado. Estas bases se han desarrollado a

lo largo de los años, lo que ha generado cambios en los flujos de trabajo. (Eastman, Teicholz, Liston, & Sacks, 2008)

A lo largo de los años, a nivel mundial, el alcance de la metodología BIM no se ha restringido exclusivamente a edificios, sino que se puede desarrollar para poder tener un mayor control y un proceso más eficiente en cualquier obra de ingeniería. Sin embargo, la transición al BIM no es un proceso simple desde las herramientas tradicionales CAD, éste implica un cambio de paradigma del dibujo al modelado, que considera los procesos de desarrollo de modelos. Para esto se debe tener en cuenta el estado actual de la metodología a nivel mundial y cómo se ha ido desarrollando. En la Figura 8, se muestra como se ha incorporado la metodología en los sectores de la construcción para el 2013 y para el 2015.



*Figura 8. Desarrollo de la metodología BIM en diferentes países alrededor del mundo
 Fuente: (McGraw Hill Construction, 2014)*

La expansión en el uso de la metodología BIM a nivel mundial ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos años. Esto se debe al surgimiento del interés en países como EE. UU, Canadá, Reino Unido, Alemania o Francia. Las estimaciones muestran que la evolución del BIM seguirá creciendo y que para el 2020, el mercado BIM crecerá hasta un 12% en Norte América, 13% en Europa y Asia, y 11% en el resto del mundo según un estudio de mercado. (BIMCommunity, 2016)

Uno de los primeros países en los que se empezó a implementar la metodología BIM fue en los Estados Unidos. El inicio de su adopción y difusión fue en el 2002, cuando la compañía Autodesk compró la compañía Revit Technology Corporation. Para el 2003, el Servicio General para la Administración (GSA) estableció un programa para promover las políticas sobre la adopción del BIM para todos los proyectos públicos llamado "National 3D-4D-BIM Program". (De Cicco, 2018).

Como este fue uno de los primeros países en que se inició la adopción del BIM, el proceso ha sido muy lento y en algunos casos se han tenido muchas dificultades. Sin embargo, se ha logrado generar soluciones que logran vencer cualquier obstáculo y continuar con el desarrollo. Este lento crecimiento permitió que muchos países que iniciaron el proceso de adopción al BIM después que los EE. UU. ahora se encuentren al mismo nivel o incluso los hayan superado. (ZIGURAT GLOBAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2017)

En cuanto a la adopción de la metodología BIM en EE. UU., se estima que para el 2007 solo el 28% del sector de la construcción utilizaba BIM en sus proyectos. No obstante, para el 2012 esta cifra creció hasta el 71% del sector. También se ve una desigualdad en el tamaño de las empresas que realizan el cambio al BIM, en donde 90% de las grandes empresas constructoras ya han empezado el cambio mientras que solo el 49% de las pequeñas empresas iniciaron el proceso de adaptación. Además, para este mismo año, ya no eran los arquitectos ni los ingenieros los que trabajaban con mayor frecuencia dentro de la metodología BIM, sino que son los contratistas los que se han interesado más en las nuevas formas de trabajo con la ayuda del desarrollo tecnológico. (McGraw-Hill Construction, 2012)

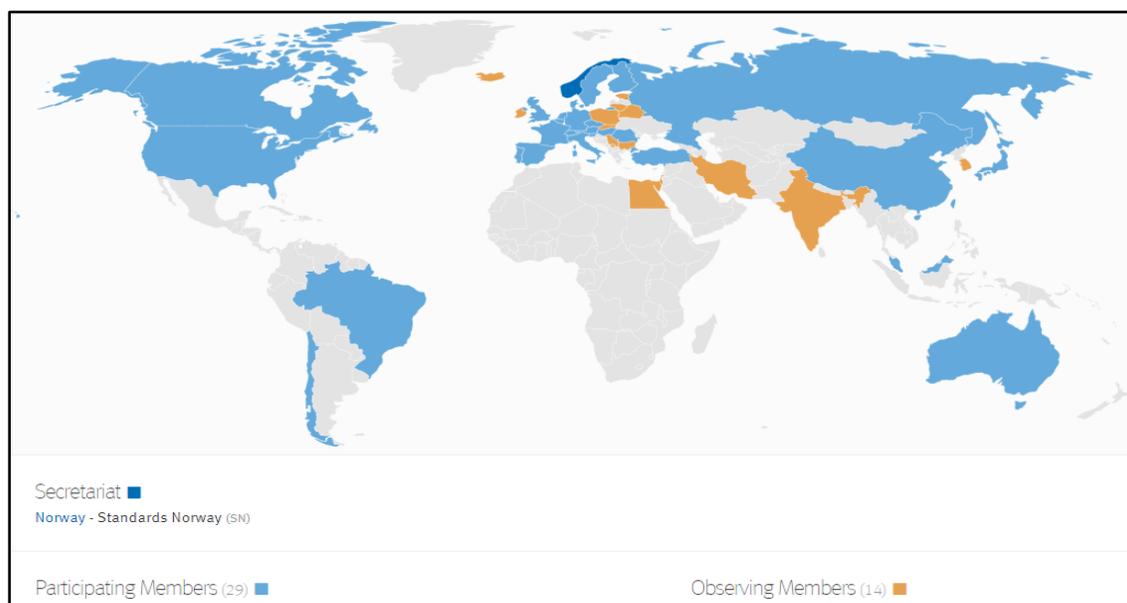
En Europa, uno de los países que más ha desarrollado su proceso de implementación BIM es el Reino Unido. Para el 2011, se dio a conocer un plan conocido como "BIM Level 2" que forma parte de la estrategia de construcción del gobierno Reino Unido. En esta se establece que todos los proyectos debían realizarse mediante un sistema de BIM colaborativo para el 2016. Algunos de los objetivos del plan consistían en desarrollar un proceso transformador de 5 años, donde se buscaba mejorar la comunicación entre las industrias y el ámbito académico; desarrollando herramientas y normas con el fin de mejorar la capacidad de los clientes públicos (EUBIM TaskGroup, 2018).

En junio del 2018 se anunció el lanzamiento de estándares internacionales sobre el uso de la metodología BIM denominadas BS EN ISO 19650: Organización de la Información sobre los Trabajos de Construcción – manejo de la información utilizando Building Information Modeling. Este estándar será dividido en varias partes, las primeras dos que son "Conceptos y Principios" y "Fases de entrega de los activos", que fueron publicadas en febrero del 2019. Estas van a remplazar las BS 1192 y PAS 1192 parte 2 que son los estándares británicos utilizados en el uso del BIM (The British Standard Institute, 2018).

Adicionalmente, para el 2020 se espera que se publiquen la parte 3 (Fase operacional de los activos) y la parte 5 (Especificación para modelado de información de construcción orientado

a la seguridad, entornos digitales construidos y gestión inteligente de activos) que remplazarían las pares 3 y 5 del PAS 1192. Con el lanzamiento de estos estándares, el Instituto de Estándares Británico (BSI) ha dejado la revisión del PAS 1192 y se ha orientado a la adopción de la normativa ISO en el Reino Unido (The British Standar Institute, 2018).

La normativa ISO 19650 es elaborada por el Comité ISO / TC59 / SC13 – Organización y digitalización de información sobre edificación y obras de ingeniería civil, incluida la construcción de modelos de información (BIM). El comité está conformado por 27 países como miembros participantes y 15 miembros observadores, en la Figura 9 se puede observar cuales son los países que conforman el comité (Planbim, 2018).



*Figura 9: Miembros participantes del ISO/TC 59/SC13
Fuente: (International Organization for Standardization, 2019)*

El propósito de valor para el gobierno británico es reducir los costos y el tiempo de ejecución de los proyectos constructivos, así como usar las herramientas para el control emisiones de carbón. (BIMCommunity, 2016) Este propósito es compartido por otros países como en Suecia, donde el gobierno sueco, en el 2012, recomienda que la Administración de Transportes Sueca (STA) introdujera BIM exigiera una amplia utilización de esta metodología por parte del sector de la construcción con el fin de mejorar la eficacia en los proyectos de inversión y de la gestión de los activos. Esto puso en marcha un proyecto de cambio con el fin de realizar un cambio estructurado, para el 2015 la productividad del sector construcción aumentó un 20%. (EUBIM TaskGroup, 2018)

Un sector de Europa en donde se han realizado grandes movimientos en cuanto a la implementación del BIM son los países escandinavos. En Finlandia, por ejemplo, la Confederación de la Construcción Finlandesa decidió que, en 2012, el BIM sería un elemento clave en todos los cambios a realizar en el sector y en las instituciones gubernamentales ha sido obligatorio su uso. En Dinamarca, el proceso de adopción en BIM inició en el 2011, el parlamento danés aprobó el mandato de la adopción del BIM a todos los proyectos locales y regionales por encima de los 2.7 millones de euros. En el caso de Noruega, se estableció un mandato para la reducción de errores, mejor coordinación y manejo del consumo energético en los proyectos constructivos a lo largo de su ciclo de vida. (BIMCommunity, 2016)

En España, aunque el avance ha sido más lento. El Parlamento de la Unión Europea instó a varios de sus países miembros a que todos los proyectos constructivos de financiamiento público se realizaran en la metodología BIM, mediante la Directiva 2014/24/UE. A partir de esta, en agosto del 2015, se estableció una hoja de ruta para que en todos los proyectos de licitación pública fuera obligatorio el uso de la metodología BIM. Para la formulación de la hoja de ruta y su seguimiento, se creó la Comisión BIM por parte del Ministerio de Fomento, en diciembre del 2018 el uso de BIM sería obligatorio para proyectos relacionados con edificios y, para junio del 2019, se pretende incorporar todos los proyectos de licitación para la infraestructura pública. (Eseverri, 2017)

Por otro lado, sobre la adopción de la metodología por parte del sector de la construcción en España, una encuesta realizada por el Consejo Superior de Colegio de Arquitectos de España (CSCAE) muestra que para el 2016, el nivel de la implementación BIM entre los profesionales era bajo. Los resultados de la encuesta indicaron que solo cerca del 40% de los estudios encuestados utilizaban la metodología BIM. (CICE, 2018)

En otros países como Francia, Alemania e Italia también han iniciado proyectos desde el sector público para la implementación de la metodología BIM en los proyectos de construcción. En el caso francés, se tiene previsto que para el 2017 se adopte el BIM de manera oficial en más de 500.000 hogares y también se ha desarrollado el grupo Plan Transition Numérique dans le Bâtiment, al frente de la hoja de ruta. En Alemania, con la ayuda del Ministerio Nacional de Transportes e Infraestructura digital se ha desarrollado una hoja de ruta para el periodo 2015-2020. Además, el desarrollo de esta metodología en el país ha generado la aparición del llamado Planen Bauen 4.0. En cuanto al caso italiano, se estableció un plan que dependía del tamaño y el

costo de las obras, y para octubre del 2016 se tenía previsto la implementación del BIM en proyectos públicos de más de 5 millones de euros. (BIMCommunity, 2016)

En el caso de Asia y Oceanía se busca la implementación de la metodología para los proyectos de obra pública, por ejemplo, en el de Singapur se ha desarrollado una hoja de ruta para su implementación desde el 2015. Además, en China ya se ha iniciado un plan de 5 años para la implementación y también se ha desarrollado un estándar nacional unificado para el BIM.

En lo que respecta al sector latinoamericano, también se han venido dando un crecimiento paulatino sobre el uso de la metodología. Actualmente, se espera que el mercado BIM aumente hasta en un 11% para el 2020. Sin embargo, el crecimiento ha sido muy lento en comparación con otras partes del mundo (Editeca, 2018).

La implementación en los diferentes países de la región no se ha dado de manera homogénea. En Chile, por ejemplo, la aceptación de esta metodología ha sido la mejor, esto se puede ver reflejado con la creación de organizaciones como lo es el PlanBIM que forma parte de un plan estratégico para su implementación en los proyectos de obra pública. Este plan tiene dentro de sus principales objetivos (Soto, 2016):

- Aumentar la productividad y la competitividad de la industria de la construcción
- Mejorar de manera integral la calidad de los proyectos de construcción
- Mejorar la predictibilidad, el control de plazos y de costos
- Aumentar la trazabilidad y la transparencia de la información
- Promover los trabajos colaborativos entre los participantes del proyecto
- Asegurar el cumplimiento de la normativa y mejorar el proceso de la tramitología para los permisos de los proyectos

Dicho plan contempla que, para el año 2020 el uso de BIM será obligatorio para los proyectos públicos y, para el año 2025, se espera que la implementación en los proyectos privados sea completa. Además, en el sector académico ya se están realizando cambios en las mallas curriculares para adaptarse a las nuevas formas de trabajo (Editeca, 2018). El plan contempla 5 líneas de acción que involucran al sector público, el sector privado y a la academia. En la Figura 10, se muestra la hoja de ruta de alto nivel con las 5 líneas de acción. Esta hoja de ruta se ha trabajado con la ayuda de BIM Task Group de Reino Unido que fueron los encargados de elaborar la estrategia de implementación en ese país dentro del programa Construction 2025 y que han logrado entre un 12 y 20 % en la reducción de los costos para los diferentes ministerios. Es

importante aclarar que la formulación de la hoja de ruta no se puede copiar textualmente porque hay diferencias culturales, económicas y gubernamentales entre los países (Soto, 2016).

Para el proceso chileno de adopción, el sector público debe definir el alcance del mandato BIM, definir los requerimientos y procesos estandarizados de BIM para proyectos de obra pública, y fomentar la capacitación, difusión e implementación dentro de las instituciones. El sector privado tiene el papel de impulsar la difusión de la metodología, implementar la metodología BIM a lo interno de las empresas, fomentar la capacitación e implementación en el sector privado y desarrollar alianzas con instituciones y asociaciones. Finalmente, la academia debe definir cuáles son los roles y las capacidades base para desarrollar programas de formación, definir los roles y las responsabilidades BIM dentro de la industria, y gestionar las becas y los financiamientos para las capacitaciones BIM (Planbim, s.f.).

En Colombia, también se han presentado grandes avances en la aplicación de la metodología BIM. Actualmente, hay varias asociaciones que buscan la integración de la nueva metodología en los proyectos de construcción, así como varias experiencias de constructoras nacionales y europeas que han desarrollado sus proyectos con la ayuda del BIM en las diferentes fases. Además, el sector académico, al igual que en Chile, ha incluido en sus programas enseñar algunos softwares tecnológicos que involucran la metodología BIM. No obstante, no se ha visto interés de parte del sector público para empezar la implementación de estas tecnologías en los proyectos de obra pública. (Editeca, 2018)

En México, se creó el BIM Fórum México como parte del intento que tiene la Fundación de la Industria de la Construcción (FIC) para tener la primera norma latinoamericana con relación a la metodología BIM conocida como NMXBIM. Además, en el sector académico se ha incluido la formación de la metodología BIM en los programas de las carreras impartidas por muchas de las universidades más importantes del país. (ENLACE Arquitectura, 2018)

Brasil también es uno de los países que, al igual que Chile, han tenido los avances más importantes en la región y se espera que para el 2021 sea obligatorio el uso del BIM para los proyectos de construcción. Para esto, se ha realizado un plan de implementación que tiene varios objetivos los cuales son: difundir el BIM y sus beneficios, crear condiciones favorables para la inversión de los actores públicos y privados en el BIM, coordinar las capacitaciones del sector público para la adopción de las nuevas metodologías, crear normativa relacionada a la contratación pública relacionada a los proyectos en BIM, desarrollar normas técnicas y normativas

HOJA DE RUTA

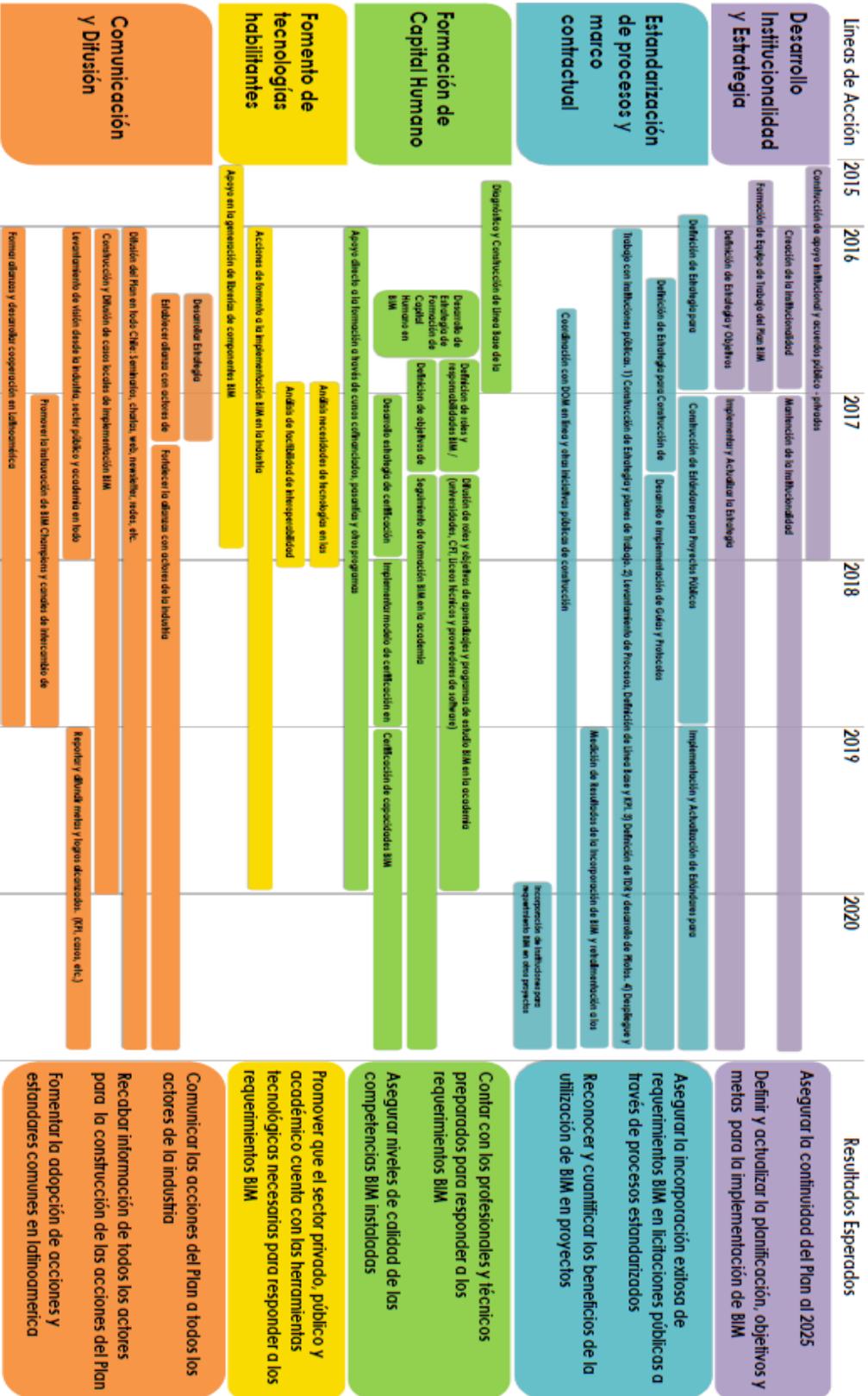


Figura 10. Hoja de ruta elaborada por el Planbim Chile para la implementacion de la metodologia BIM en el 2016 Fuente: (Soto, 2016)

que ayuden en la formación y ejecución de los proyectos utilizando el BIM, entre otros puntos. (BibLus, 2018)

En otros países como Perú, Costa Rica, Panamá, Venezuela y Ecuador el desarrollo de la metodología BIM apenas se está conociendo. En estos casos, la implementación de la metodología BIM se desarrolla únicamente por empresas del sector privado y hay muchos faltantes de personal calificado que cuente con formación en el manejo de los proyectos con la ayuda del BIM. En algunos casos, se han desarrollado organizaciones como los BIMForum que buscan incentivar la adopción en los diferentes países. (Editeca, 2018)

2.1.3. Usos y beneficios de la metodología BIM en el sector de la construcción

Para entender el alcance que tiene la metodología BIM en cada una de las etapas de un proyecto de construcción, es importante aclarar cuáles son los usos y las ventajas que se pueden obtener en cada una de las fases del ciclo de vida de un proyecto.

Por ejemplo, un estudio realizado por McGraw Hill en el 2014, muestra que los mayores beneficios que se le han atribuido a esta nueva tecnología es la posibilidad de detectar errores u omisiones en los proyectos, la posibilidad de realizar un trabajo colaborativo que permita la interacción entre los profesionales y propietarios, evitar la necesidad de realizar trabajos varias veces, mejorar la imagen de las compañías que lo utilizan, entre otros destacados dentro del estudio. (McGraw Hill Construction, 2014)

A continuación, se presentan algunos usos y beneficios que se han identificado alrededor del mundo por el uso de la metodología BIM en los proyectos de construcción, estas están divididas dependiendo de la fase del proyecto. No obstante, algunos de los beneficios pueden ser generados a lo largo del proyecto.

1. Planificación:

En esta etapa se debe definir si es necesario el uso del BIM, se deben identificar los requerimientos básicos de información que debe contener el modelo BIM para facilitar su uso en las etapas siguientes, es decir, se debe establecer el Plan de Ejecución BIM. Al mismo tiempo, el uso del BIM en esta fase del proyecto permite distinguir con mayor claridad cuáles son los requisitos del proyecto y su rentabilidad para los actores interesados. (Gosalves et al., 2016). Utilizar BIM en estudios previos facilita las labores del modelado del terreno existente, las mediciones y presupuestos con base a modelos volumétricos, la planificación de las diferentes

fases del ciclo de vida, observar la distribución de los espacios y estudiar la ubicación de los proyectos. (Basanez, s.f.)

Al incorporar el uso de herramientas cartográficas y realizar una digitación láser del terreno para incorporarlos en el diseño conceptual de los proyectos, se logra almacenar con mayor facilidad una gran cantidad de información que se puede tomar en cuenta para evitar omisiones importantes en etapas posteriores. (Campos, 2018)

2. Diseño

En la fase de diseño se logra establecer un sistema de comunicación para que todos los encargados de diseñar la estructura del proyecto puedan contar con la información de las etapas previas y la información que se vaya generando de manera actualizada para que el proceso sea más eficiente. Al realizar trabajos colaborativos, se pueden desarrollar análisis para tomar decisiones que dependen de las condiciones que presenta el proyecto, lo que permite reducir costos y esfuerzos en futuras etapas del proyecto. Al contar con bastante información desde el inicio, se pueden incorporar actores como los encargados de las fases de construcción y operación para tomar en cuenta el método constructivo y las necesidades de mantenimiento de toda la vida útil del proyecto. Al realizar un proceso de diseño más integrado, se reduce el esfuerzo en caso de un retrabajo y el tiempo que se requiere para realizar los diseños (Gosalves et al., 2016).

Realizar modelos BIM que centralicen la información de una manera más organizada, permite una revisión más simple del diseño y facilita la incorporación el análisis de los sistemas (estructural, energético, HVAC, sostenibilidad ambiental, entre otros) con mayor detalle dentro del proyecto y el desarrollo de planos contractivos para la siguiente fase del proyecto. (Basanez, s.f.)

La cantidad de información que se le puede incorporar al modelo, en esta fase, es mayor que la presentada por cualquier dibujo en 2D. La cual está relacionada con el tipo de material, cantidad y dimensiones de los diferentes elementos que componen el proyecto se puede obtener de una manera más simple al logra una automatización del conteo de los materiales y la elaboración de un presupuesto. También se puede establecer una planificación más eficiente que logre reducir los tiempos de construcción; asignando recursos de una manera más controlada y evitando la generación de residuos de manera excesivos. Todo esto con la ayuda de programas de simulación para analizar el proceso constructivo. (Gosalves et al., 2016).

3. Construcción

En esta etapa del proyecto, el uso de la metodología se destaca para realizar la planificación de la obra, replanteo de los diseños en caso de que sean necesarios, cuantificación de recursos, control de la calidad de la obra y gestionar el modelo "as built" que se le debe entregar al propietario del proyecto. Al poder contar con una base de datos actualizada y unificada, se facilita la planificación y el control de costos dentro del proyecto al realizar simulaciones para evitar errores que reduzcan la eficiencia y la productividad dentro de la obra. (Gosalves Lopez, y otros, 2016)

Al mejorar la forma en cómo se logra visualizar el avance del proyecto y sus desviaciones por inconvenientes que van surgiendo, se facilitan las inspecciones y las auditorías. Además, se reducen los riesgos dentro del proyecto mediante la simulación de las actividades críticas, así como darle trazabilidad a toda la información que es almacenada y actualizada.

4. Operación y mantenimiento

Como se ha mencionado anteriormente, esta es la fase que, generalmente, no se ha tomado en cuenta dentro de un proyecto constructivo. Sin embargo, con el uso de las herramientas BIM, se logra manejar una gran cantidad de conocimientos e información al ser incorporados en un modelo único y centralizado (Gosalves et al., 2016).

Al poder actualizar y darle trazabilidad a todos los trabajos y cambios que se desarrollen en el proyecto, se puede realizar una identificación y definición de los trabajos de mantenimiento necesarios y facilita su planificación. El uso completo de la metodología BIM, permite gestionar de una manera más eficiente y eficaz cualquier tipo de proyecto; como por ejemplo hospitales, hoteles, centros de educación, infraestructura de carreteras y cualquier tipo de edificio destinado a vivienda u oficinas.

2.1.4. Desarrollo de modelos BIM según sus alcances y requerimientos

Para poder comprender de una manera más amplia la forma en cómo se trabaja dentro de la metodología BIM, se debe iniciar por entender nuevos conceptos y nuevas formas de trabajo más colaborativos e integrales que permiten la creación de proyectos constructivos complejos. Facilitando su gestión al concentrar toda la información necesaria en un solo modelo digital creado por todos los encargados de desarrollar el proyecto desde sus inicios. El producto final será un sistema de información de la edificación u obra; que podrían ser usados hasta en el mantenimiento de esta. (Eastman, Teicholz, Liston, & Sacks, 2008)

Actualmente, los sistemas de información están basados en los sistemas tradicionales de planos y especificaciones que corresponden a un tipo de información presentada en dos dimensiones o 2D. Con el fin de lograr obtener una mayor cantidad de información, BIM incorpora nuevas dimensiones a la información transmitida a través de planos en 2D (Sánchez, 2016).

Estas nuevas dimensiones representan los distintos niveles en los que se va añadiendo información que le otorga un valor añadido nuevo (Pérez, 2015), estas nuevas dimensiones se presentan en la Figura 11, donde se observa que:

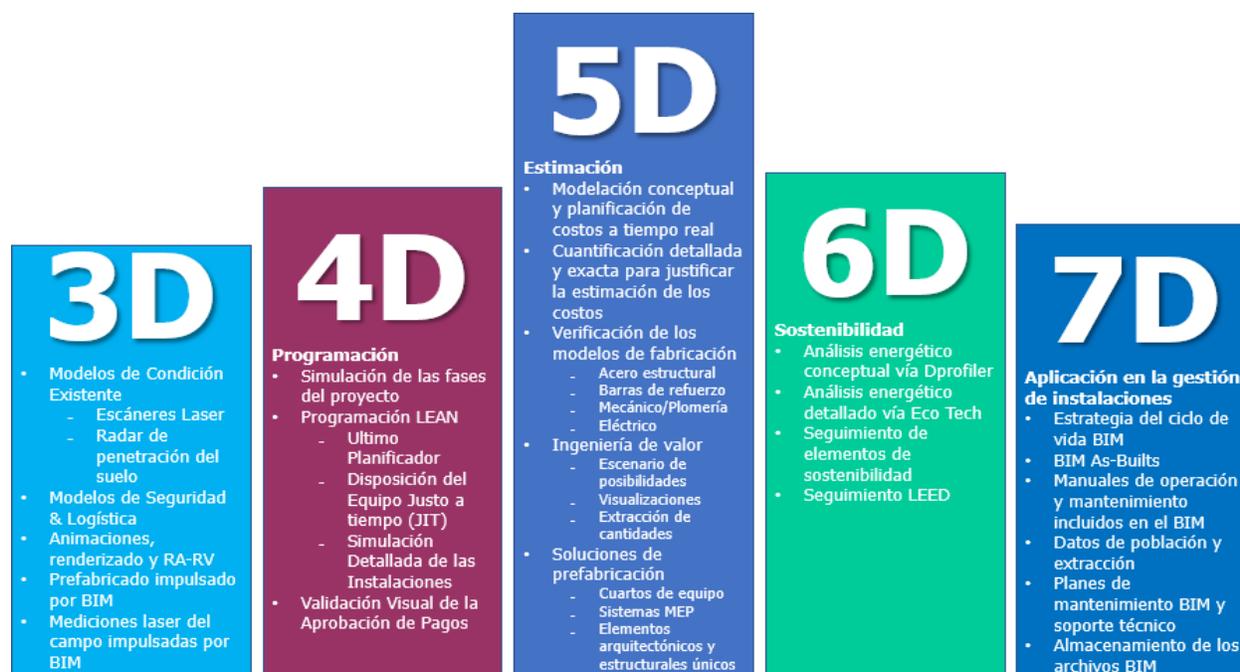


Figura 11. Dimensiones de la información dentro de la metodología BIM

Fuente: (Pérez, 2015)

Modificado por autor

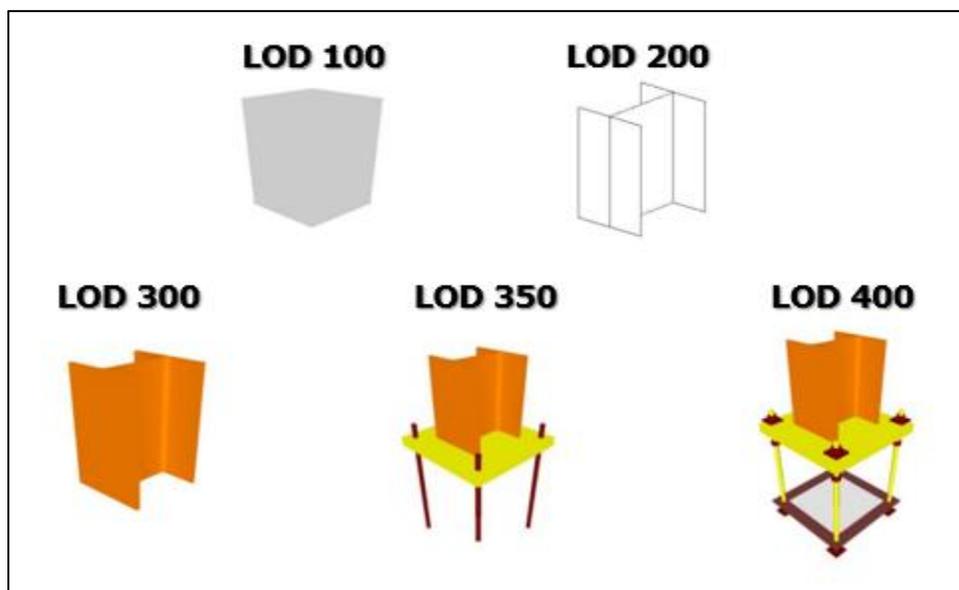
- Información Geométrica o Modelado (3D): Esta dimensión no solo consiste en agregarle un eje adicional a las representaciones gráficas, sino que, con base en la información suministrada durante la planificación, se genera un modelo tridimensional que contenga la información necesaria sobre las propiedades de los elementos, su ubicación, sus dimensiones, entre otras propiedades paramétricas dentro del modelo virtual que permitan ser la base para el resto del ciclo de vida del proyecto. En este caso el diseño visual en 3D, se logra obtener, información de una manera más rápida y eficiente para la comprensión e interpretación del proyecto con ayuda de secciones, alzados, plantas y perfiles a partir del modelo tridimensional.

- Información de Tiempo (4D): En la planificación de la construcción en el modelo, se puede incorporar información relacionada con el proceso temporal en el que se construyen los elementos y las estructuras. Ligando el modelo con una variable temporal, se pueden realizar simulaciones de las fases de ejecución para poder hacer una revisión del estado de demora o adelanto o, también, realizar diagramas de Gantt que son utilizados frecuentemente por los proyectos de construcción.
- Información de Costos (5D): Con la información obtenida de manera paramétrica de los modelos tridimensionales, se puede asociar un costo a cada uno de los elementos pertenecientes al modelo generado, esto permite obtener un análisis presupuestario sin la necesidad de realizar trabajos adicionales. Esto permite manejar de una manera más simple las dinámicas de gestión y control del proyecto que están directamente relacionadas con la rentabilidad del proyecto.
- Información Ambiental o Eficiencia Energética (6D): Consiste en realizar simulaciones que permitan observar aspectos como el comportamiento energético, entre otras características que permitan llegar a una alternativa óptima. Algunos parámetros interesantes para esta dimensión son por ejemplo la conductividad térmica, el aislamiento acústico, viscosidad, lúmenes, potencias o reflectividad entre otras. Es decir, se enfoca en todo lo relativo a la sostenibilidad del modelo. En este campo se podría incorporar hasta la certificación de sostenibilidad ambiental (LEED).
- Información de Mantenimiento (7D): Esta dimensión incorpora la última fase de la vida útil del proyecto que corresponde a la operación y al mantenimiento de las estructuras. El mantenimiento permite el control logístico del proyecto durante su uso prolongando la vida útil y eficiencia de este, esto gracias a que se tiene toda la información de cómo quedó el proyecto y así poder realizar modificaciones y reparaciones con el conocimiento de los materiales utilizados y la situación en la que se encuentren los sistemas y la estructura. Esta información permite darle mantenimiento a la estructura después de su construcción durante su operación a lo largo de su vida útil. Este aspecto es importante porque puede evitar la necesidad de realizar reparaciones más costosas.

Otro concepto que es importante resaltar dentro de BIM, es el nivel de detalle (LOD, por sus siglas en inglés), que hace referencia a la cantidad de información que va a presentar el modelo. El nivel de detalle que se le puede dar a los elementos dentro de un proyecto BIM puede ser muy amplio, al punto en el que cada elemento, por más pequeño que sea, tenga una amplia

cantidad de información que en algunos casos pierde importancia dependiendo de los requerimientos para el proyecto, por lo que se debe definir un nivel de detalle para cada proyecto en función de sus necesidades, para cada una de las etapas. (Agustí, 2016).

Es importante resaltar que, dependiendo de la normativa a utilizar y del año en el que se desarrolló, existen diferentes definiciones o interpretaciones de lo que LOD simboliza. Según el estándar de Estados Unidos se interpreta el LOD como "Level Of Development" (Montenegro, y otros, 2018). En la Figura 12, se puede observar una representación gráfica de los diferentes niveles de detalle.



*Figura 12. Representación gráfica de los LOD
Fuente: (BIM FORUM, 2019)
Modificado por autor*

- LOD 100: En este nivel solo se conoce de la existencia de los elementos y su ubicación. El proyecto cuenta con información limitada, únicamente para obtener ideas básicas en la planificación.
- LOD 200: Se incorporan las diferentes dimensiones de los elementos, como su altura y su geometría, además de información como su peso. En este nivel ya se puede visualizar de manera básica el elemento y la forma que puede tener.
- LOD 300: Se presentan geometrías más definidas para los elementos, el nivel de detalle es mayor y se obtiene información como la marca del elemento, quien lo fabricó o de donde provino.

- LOD 400: Se obtienen mediciones precisas que permitirán ejecutar el proyecto al obtener la información que se requiere para la planificación de la construcción.
- LOD 500: Este nivel detalla la información necesaria para saber cómo ha quedado la estructura después de ser construida. Además, aporta información para darle mantenimiento a los elementos y realizar la gestión durante la operación a lo largo de su vida útil.

2.1.5. Roles BIM

Con el desarrollo de la metodología BIM, es necesario identificar y designar los nuevos roles que van surgiendo dentro de los equipos de trabajo para poder incorporar los estos nuevos flujos de trabajo. Estos roles van a tener diferentes funciones y tareas que deben ir de la mano con los requerimientos que tenga la organización dentro del proceso de adopción, dentro de los diferentes roles se pueden encontrar (PMG , 2016):

- a) **Modelador BIM:** el rol del modelador es generar los modelos BIM, de una o varias especialidades, de manera que cumpla con las especificaciones requeridas. Tiene el deber de cuidar por el buen uso de las herramientas de modelado, así como generar la documentación para el proyecto asignándole el nivel de detalle adecuado.
- b) **Coordinador BIM:** el coordinador se encarga de la coordinación de los modelos de distintas disciplinas, por lo que coordina el trabajo en cada una de ellas para poder generar modelos compatibles entre sí. También se encarga de coordinar el flujo de información dentro del proyecto y realizar la gestión de calidad al detectar interferencias y proponer soluciones eficientes dentro del proyecto.
- c) **BIM Manager:** son los encargados de desarrollar el liderazgo dentro de los proyectos BIM. Sus funciones se basan en la planificación, gestión y control de los proyectos. También desarrolla el plan de ejecución BIM, encargarse de los problemas de interoperabilidad en el proyecto y de la optimización del proyecto. Es importante aclarar que la función de este rol está enfocado únicamente a la parte BIM y no se debe confundir con la función de un Gerente de Proyectos, que tiene como alcance todo lo que representa la gestión del proyecto en su totalidad.
- d) **Director BIM:** es el encargado de desarrollar el liderazgo en el proceso de implementación BIM dentro de la organización. También debe gestionar y controlar las condiciones para que se desarrolle la ejecución del BIM de manera correcta al revisar los

aspectos como la comunicación, el flujo de trabajo, el equipo BIM y las herramientas que se deben usar; incluyendo la revisión del proceso de ejecución en los proyectos y las actividades realizadas por el BIM Manager.

- e) **Gestor de Operaciones BIM:** es el responsable de llevar el proceso de operación y mantenimiento del proyecto con la ayuda de las herramientas BIM a lo largo de la vida útil de la estructura construida.
- f) **Revisor BIM:** se encarga específicamente de la gestión y el control de la calidad de los entregables desarrollados a través de los modelos para que estos cumplan con los requisitos de la gestión de calidad.

Las personas que cumplen los diferentes roles no siempre deben participar en la misma etapa del proyecto, en la Figura 13 se puede observar un diagrama de las funciones de los diferentes roles con base en la fase del ciclo de vida del proyecto.

Roles	Ante Proyecto	Diseño	Construcción	Operación
Modelador BIM		Rol Operativo, producción a nivel de proyectos.		
Coordinador BIM		Rol de Gestión, coordinación técnica de especialidades a nivel de proyecto.		
Gerente Proyectos BIM (BIM Manager)	Rol de Gestión, planificación, integración y optimización de proyectos.			
Director BIM	Rol Estratégico, implantar estrategia BIM en la empresa u organización o Proyecto.			
Gestor Operaciones BIM				Rol de Gestión, operación basada en BIM
Revisor BIM		Rol de Gestión, controlar que el proyecto BIM cumpla lo estipulado en las Bases Técnicas		

Figura 13. Roles BIM dentro del ciclo de vida del proyecto
Fuente: PMG, 2016

2.1.6. Software como herramienta de la metodología BIM

Para el manejo de la información que la metodología BIM permite dentro de los proyectos en el sector de la construcción, se deben realizar inversiones en los sistemas de software y hardware dentro de las organizaciones como parte de las nuevas herramientas que se deben implementar. Estas inversiones deben tomarse dependiendo de las necesidades y objetivos de las organizaciones, tomando en consideración el uso de otros tipos de herramientas como drones,

escáneres tridimensionales, redes de gran capacidad, servidores (tanto físicos como virtuales), entre otros (Montenegro, y otros, 2018).

Tomando en consideración que el BIM como un proceso que proporciona al sector de la construcción de herramientas para realizar representaciones digitales de características físicas y funcionales de una instalación. Han surgido una gran cantidad de software para la metodología BIM. Inclusive se ha vuelto un desafío poder elegir entre los productos de tal manera de que se adapte a las necesidades específicas de cada organización (Johannes, 2019). En la Figura 14, se muestran ejemplos de los diferentes tipos de software utilizados bajo los flujos de trabajo en BIM. La mayoría de estos programas poseen la capacidad de trabajar en un formato universal denominado en inglés *Industry Foundation Clases* (IFC), clases de fundación de la industria para trabajar de manera colaborativa sin que surjan conflictos de interoperabilidad entre los usuarios (Montenegro, y otros, 2018).



Figura 14. Ejemplos de Software utilizados dentro de la metodología BIM según su uso
Fuente: (Briones, 2017) (Johannes, 2019)
Modificado por autor

Los estándares IFC son un formato de archivo basado en objetos que permite el intercambio de datos en la industria de la construcción inclusive entre distintas aplicaciones de software que se estén utilizando. Estos estándares fueron desarrollados por buildingSMART International con el objetivo de facilitar la interoperabilidad dentro del sector de la construcción y se utiliza en proyectos basados en BIM. Hoy en día la calidad entre la información que se puede importar y exportar es variable, pero con el uso del BIM en aumento, el intercambio es un requisito para el

trabajo colaborativo. Esto se refleja en la incorporación del IFC en los Planes de Ejecución BIM (ZIGURAT GLOBAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 2018).

En el caso de hardware para el uso de las herramientas BIM, este se debe escoger dependiendo del software que se vaya a utilizar y del personal que les dará uso. Es importante que la escogencia del hardware permita un trabajo fluido con los modelos desarrollados que permitan un óptimo rendimiento y desempeño (Montenegro, y otros, 2018).

2.1.7. Plan de Ejecución BIM (BEP)

La integración del BIM dentro de los proyectos de construcción debe desarrollarse mediante una planificación detallada, el equipo de trabajo que va a generar esta planificación debe saber cuál va a ser el uso que se le da a la información generada y recopilada dentro del flujo de trabajo BIM para asegurar una implementación exitosa dentro del proyecto (Messner, y otros, 2010).

El BEP debe ser un documento que se vaya completando a lo largo del proyecto para visualizar su avance y realizar las modificaciones pertinentes durante la gestión (Planbim, 2019). La información que debe contemplar el documento es:

- Información básica del proyecto
- Objetivos de la utilización del BIM en el proyecto
- Asignación de roles por parte de las organizaciones involucradas
- Estándares y acuerdos que se van a utilizar
- Formato de los entregables del flujo de trabajo BIM
- Estrategia de colaboración y la plataforma que se va a utilizar
- Matriz de los usos BIM en conjunto con los recursos necesarios

El equipo que desarrolle el plan de ejecución debe incorporarse dentro de la primera etapa del proyecto. El BEP debe indicar cual es la visión general junto con los detalles de implementación que el equipo debe seguir a lo largo del proyecto. Otras consideraciones que se deben tomar para la elaboración del BEP es que defina el alcance de la implementación BIM en el proyecto, se indique cuáles son los flujos de trabajo BIM, determinar cómo se va a realizar el traspaso de la información, los estándares que se van a utilizar, información de las organizaciones involucradas, entre otros (Messner, y otros, 2010). El procedimiento para desarrollar el BEP es:

1. Identificar los usos y las metas del BIM: en este punto se define el valor potencial del uso de la metodología BIM para el proyecto y para los diferentes actores involucrados del

proyecto. Además, debe identificarse el uso que se le dará a los trabajos realizados en BIM dependiendo de las metas propuestas.

2. Diseñar el proceso de ejecución BIM: en este punto se debe definir el proceso en el que se van a desarrollar los trabajos mediante un mapeo cronológico de las actividades. En primera instancia se elabora una planificación de alto nivel para conocer las relaciones entre las diferentes actividades y después se detalla cada uno de los puntos de manera específica con los grupos de trabajo involucrados.
3. Elaborar el intercambio de información: en este punto se debe definir el tipo de información que se debe intercambiar entre los diferentes participantes y la forma en la que se va a realizar el intercambio. Esto permite que tanto el emisor como el receptor de la información entiendan claramente el contenido de la información suministrada, para darle su mejor uso.
4. Definir la infraestructura necesaria para la implementación del BIM: en esta parte se definen la estructura en la que se presentan los entregables, el procedimiento de comunicación, el lenguaje que se va a utilizar, el tipo de tecnología, los procedimientos de control de calidad, la normativa, entre otros.

2.2. BIM dentro del contexto de Tecnologías de la Información.

En la actualidad, los proyectos requieren de una gran cantidad de información que debe ser almacenada y difundida entre una gran cantidad de personas. A partir de esto, se han desarrollado tecnologías, conocidas como tecnologías de información, que permiten procesar, analizar y distribuir la información con la ayuda del desarrollo tecnológico. (Vilet, 1999) Una de estas tecnologías es BIM, que busca remplazar las formas tradicionales de generar y manipular la información necesaria para desarrollar los proyectos.

Para desarrollar un proceso de cambio se debe desarrollar una hoja de ruta que permita impulsar la visión empresarial de un proceso de cambio. Esta se puede definir como una representación gráfica que muestre las tareas y entregables que se deben desarrollar para manejar el cambio desde un estado actual hasta un estado futuro a través de un periodo de tiempo específico (McGovern, 2018).

Para la incorporación de estas metodologías, se requiere de un proceso gradual en el que las instituciones y las empresas se adapten correctamente al uso de las nuevas tecnologías digitales. No obstante, para poder planificar correctamente el proceso de adaptación, se debe

conocer el nivel de madurez que ha desarrollado la industria respecto a la metodología BIM. La madurez de una organización se mide no solo observando la tecnología utilizada, sino también el personal relacionado, las prácticas y procesos en las que se usa la tecnología y las relaciones que se desarrollan.

Por esto, se pueden identificar distintos niveles de madurez en cuando a la implementación de BIM. Uno de los esquemas dentro de la madurez para la implementación de la metodología BIM se muestra en la Figura 15. , donde se observan 4 niveles de implementación. En el nivel 0 no hay trabajo colaborativo y la información se genera y distribuye principalmente en un 2D CAD. En el nivel 1, se incorpora el uso de 3D CAD sin colaboración interdisciplinaria, pero los permisos se tramitan con la tecnología 2D CAD mediante archivos digitales. Para el nivel 2, se desarrolla un nivel más cooperativo en el que se utilizan tipos de archivos que permitan coordinar las diferentes partes del diseño. El nivel 3, se desarrolla un único modelo colaborativo que integra todas las disciplinas involucradas en el desarrollo del proyecto, almacenado en un servidor en línea.

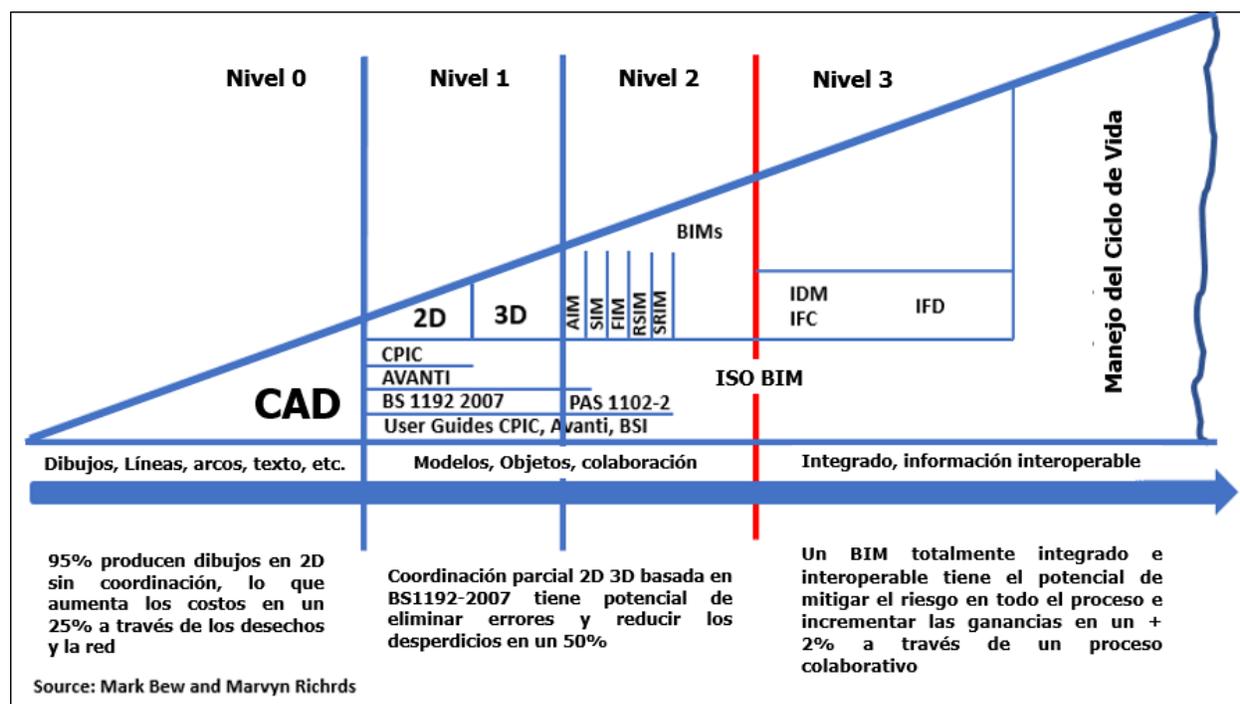


Figura 15. Modelo de Gran Bretaña para la Implementación de la metodología BIM

Fuente: (BIMThinkSpace, 2015)

Modificada por autor

En la imagen anterior, se pueden observar varios acrónimos que representan diferentes manuales, comités o conceptos que fueron desarrollados a lo largo de la hoja de ruta los cuales son:

- IFC, estándar común para el intercambio de datos o *Industry Foundation Classes* por sus siglas en inglés.
- IFD, diccionario del entorno internacional o *International Framework Dictionary* por sus siglas en inglés.
- IDM, manual de manejo de la información o *Information Delivery Manual* por sus siglas en inglés.
- iBIM, BIM integrado o *Integrated BIM* por sus siglas en inglés.
- CPIC, comité de integración para proyectos de construcción o *Construction Proyecto Integration Committee* por sus siglas en inglés.
- AIM, modelos de información arquitectónico o *Architecture Information Model* por sus siglas en inglés.
- SIM, modelo de información estructural *Structural Information Model* por sus siglas en inglés.
- FIM, modelo de información para la operación *Facilities Information Model* por sus siglas en inglés.
- BSIM, modelo de información para los edificios de servicios *Building Service Information Model* por sus siglas en inglés.
- BrIM, modelos de información de puentes *Bridge Information Model* por sus siglas en inglés.

2.2.1. Modelo del punto de adopción

Para realizar un análisis de la situación actual de la metodología BIM en Costa Rica, es necesario escoger una metodología que permita identificar cuáles son los pasos que se deben cumplir a lo largo del proceso de implementación. Con este fin, se utilizó el modelo del punto de adopción (PoA por sus siglas en inglés) desarrollada por Billial Succar y Mohamad Kassem en el 2015. A continuación, se expone dicho modelo el cual permitirá evaluar la manera en que se está aplicando la metodología BIM.

De acuerdo con los autores del modelo, el punto de adopción se basa en una teoría que explica un proceso iterativo conocido como el "BIM Framework's Conceptual Reactor" en el cual

se busca una forma reiterativa para describir, explicar y evaluar, el proceso en el cual se va adoptando una nueva forma de trabajo. La primera etapa de la metodología busca generar un modelo a través de la experiencia obtenida, de los conceptos desarrollados y del razonamiento inductivo para describir la situación. Posteriormente, se organiza y estructura el conocimiento descrito para desarrollar una taxonomía o un ordenamiento de la nueva forma de trabajo. Finalmente, el modelo es evaluado y analizado con la ayuda de expertos por medio de cuestionarios o grupos de trabajo que permitan depurar el proceso e iniciar nuevamente con la fase descriptiva.

En la Figura 16, se puede observar como el modelo de PoA engloba la capacidad y la madurez en el uso de la metodología BIM y permite conocer el camino que se debe seguir para progresar en la implementación dentro de la organización.

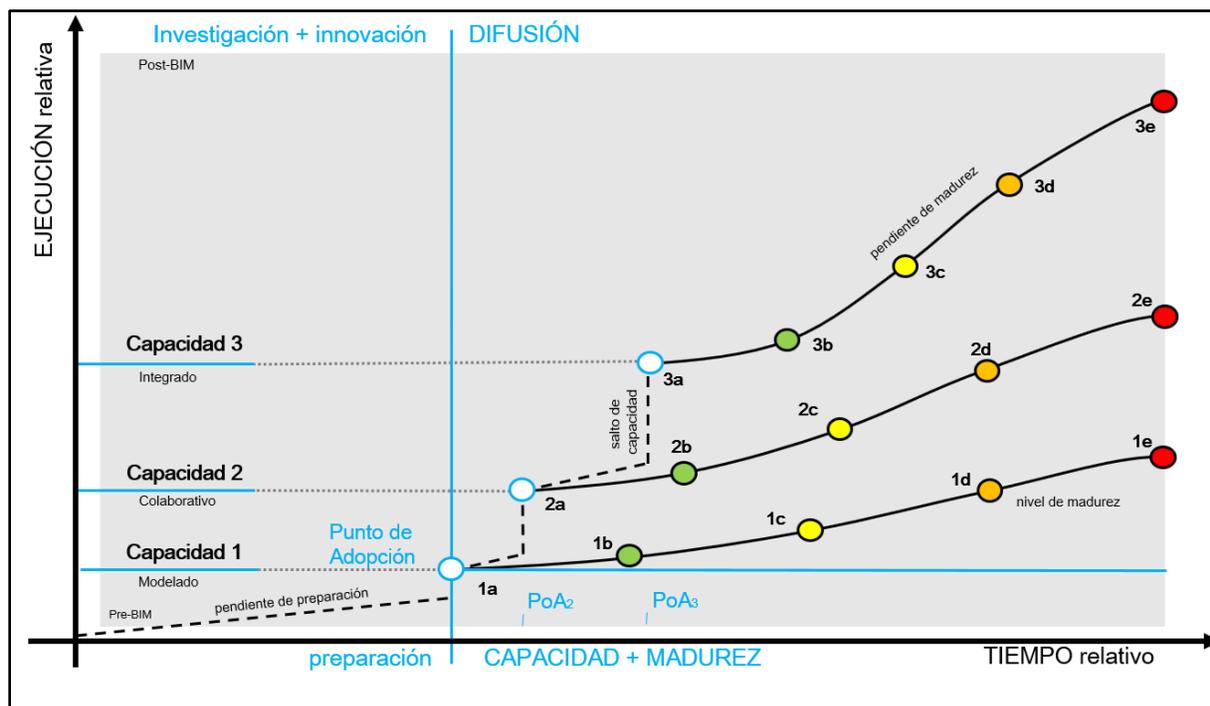


Figura 16. Representación gráfica del modelo del PoA
Fuente: (Succar et al., 2016)

2.2.2. Implementación del BIM

La implementación se refiere a las acciones que toman diferentes actores de una industria, que pueden ser identificados, para adoptar nuevas formas de trabajo para mejorar su eficiencia y productividad actual. Es decir, la implementación BIM son una serie de actividades que las

organizaciones realizan para iniciar o mejorar la forma en la que generan productos BIM y adaptan su flujo de trabajo. La implementación BIM se divide en 3 fases las cuales son:

- a) Fase de pre-implementación: en esta fase se analiza la propensión de una organización a adoptar las herramientas y la forma de trabajo de la metodología BIM. Este sería el nivel de preparación y el de mayor capacidad para la innovación, en donde se planifican y preparan las estrategias para la implementación.
- b) Fase de desarrollo de capacidades BIM: esta es la fase en la cual se desarrollan las capacidades dentro de las herramientas, procesos y políticas dentro de la empresa para trabajar dentro del entorno BIM. Estas capacidades se dividen en etapas que describen las habilidades mínimas con las que se deben trabajar y se separan por los pasos que se deben ir trabajando para alcanzar cada etapa.
- c) Fase de post-implementación: en esta etapa se trabaja con la madurez BIM para mejorar de manera continua las habilidades y la calidad de los productos al trabajar dentro de la metodología BIM.

2.2.3. Difusión del BIM

La difusión BIM representa la propagación de la metodología BIM dentro de la organización, esta propagación se realiza después de que se da la adopción y mediante la socialización de los miembros dentro de la organización. La difusión se ve como el punto en el que una nueva forma de trabajar empieza a transmitirse a lo largo de toda la industria. Bajo este concepto, existen dos modelos de difusión y propagación los cuales son: el modelo epidémico y el modelo probit. En el modelo epidémico, la innovación depende de una población involucrada que transmite la información de manera oral, este depende de la transmisión de conocimientos entre la población interesada, este modelo se centra en el desarrollo gradual de un nuevo sistema de forma agregada. Por el contrario, el modelo probit se centran en el efecto de la toma de decisiones individuales en la difusión de la innovación, este posee tres patrones identificables los cuales son: contagio (representa como un actor de la industria incorpora una metodología al entrar en contacto con otro que ya la ha adoptado), el impulso social (representa como un actor de la industria implementa una nueva metodología cuando hay un grupo considerable de actores que la han adoptado) y el aprendizaje de social(representa como un actor de la industria implementa una nueva metodología al observar los beneficios y el aprendizaje de actores que lo implementaron previamente).

2.2.4. Marco de referencia

El PoA se basa en una serie de conceptos desarrollados por Succar que pretende organizar la información existente en un marco de referencia a fin de facilitar el estudio y difusión de esta (Succar B. , 2008). Al desarrollar una forma estructurada para trabajar, los nuevos actores que se van incorporando tienen la facilidad de entender mejor cómo se va desarrollando el ambiente y se unifican los esfuerzos para mejorar los procesos.

Este marco de referencia se basa en un campo de trabajo multidimensional el cual está compuesto por: Campos BIM, Etapas BIM y Enfoques BIM; como se ejemplifica en la Figura 17.

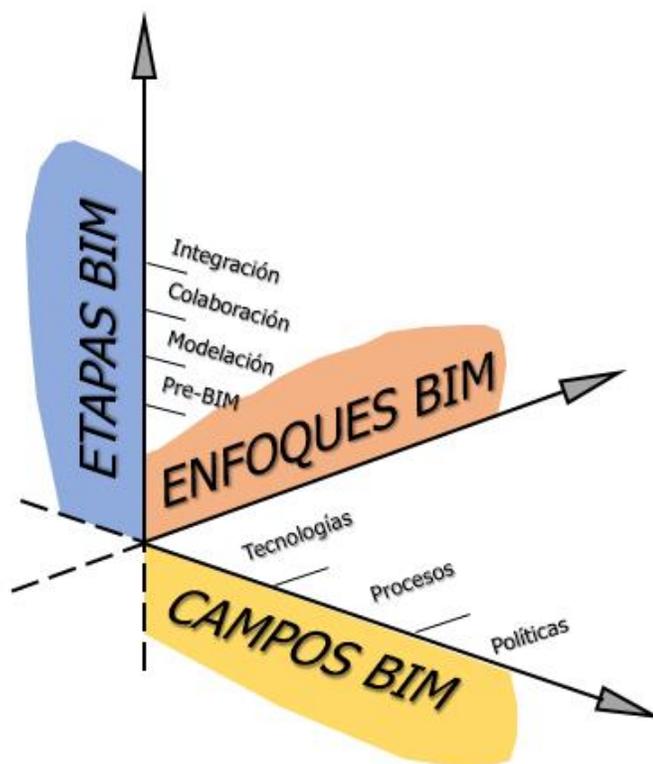


Figura 17. Dimensiones del marco de referencia BIM
Fuente: (Succar, 2008)
Modificado por autor

a) Campos BIM

Este eje describe los campos que afectan en el desarrollo e implementación de la metodología BIM, así como los deberes y las responsabilidades que le corresponden a cada uno de los campos de trabajo. De manera general, se pueden identificar tres campos BIM que se interrelacionándose entre sí y dos subgrupos. Los campos de trabajo son:

- **Campo tecnológico:** este campo tiene como fin incorporar la investigación y el conocimiento existente de manera que se pueda integrar de forma práctica en el trabajo cotidiano de los usuarios. Este campo abarca a los especialistas que buscan solventar las necesidades de una mayor eficiencia y rentabilidad en la industria de la construcción con el desarrollo de software, hardware y equipo que permita incrementar la productividad. Este campo permite desarrollar soluciones innovadoras y equipo para los otros campos al mismo tiempo que estos le dan estándares y requerimientos que se deben cumplir.
- **Campo de procesos:** este campo de trabajo se enfoca en los procesos en los que se desarrollan los proyectos de construcción desde que son idealizados hasta su fase de operación, mantenimiento y rehabilitación o demolición. En este grupo se encuentran todos los profesionales relacionados con el sector de la construcción Como lo son los arquitectos, ingenieros, subcontratistas, consultores, administradores y propietarios. Este campo permite generar casos de estudio para que los encargados de desarrollar políticas y reglamentos tengan retroalimentación para generar guías y leyes acorde con la visión de desarrollo que permita cumplir con los objetivos planteados. Además, también brinda retroalimentación para que los encargados del sector tecnología puedan brindar mejores soluciones.
- **Campo de políticas:** es el encargado de desarrollar reglamentos y llevar a cabo investigaciones. Se enfoca en los centros de educación e investigación, así como en las organizaciones que trabajan en la formulación de leyes y reglamentos dentro del sector de la construcción para distribuir el riesgo y minimizar los conflictos dentro de la industria. Dentro de estas organizaciones, se encuentran actores como las instituciones gubernamentales y otros entes que regulan los estándares, las leyes y los reglamentos para los proyectos constructivo. Este campo obtiene información de los procesos constructivos y genera recurso humano, estándares y guías para que los procesos sean cada vez más eficientes y rentables. Este campo se relaciona con el sector tecnológico al establecer conceptos y soluciones matemáticas que pueden incorporarse en el desarrollo de software y nuevas formas de trabajo.

En la Figura 18, se muestra un diagrama que resume cuales son los principales actores que participan en cada uno de los campos. Como se puede observar, existe un traslape en cada

uno de los campos donde la unión de dos diferentes campos donde se desarrollan las interrelaciones y en El Centro se traslapan todos los campos que representa el punto donde se desarrolla la implementación del BIM.

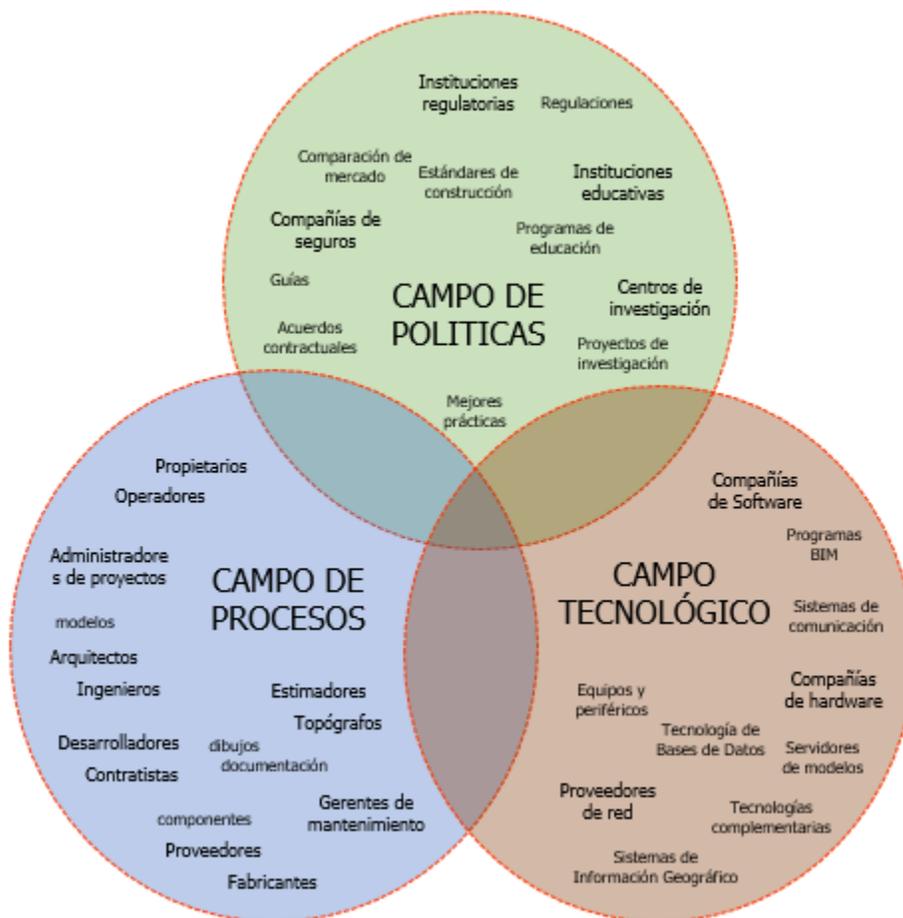


Figura 18. Actores dentro de los campos de trabajo dentro de la metodología BIM
Fuente: (Succar, 2008)

b) Etapas BIM

Dentro del marco referencia, descrito en el método del PoA, esta segunda dimensión describe las diferentes etapas que se van alcanzando con forme se avanza dentro del capacidades en la implementación BIM. En total se describen tres etapas con un punto inicial, llamado PRE-BIM, y un punto final que puede variar dependiendo de las necesidades y los avances tecnológicos que se vayan desarrollando con el paso del tiempo. En la Figura 19, se puede observar un diagrama sobre el flujo de cómo se va avanzando a través de las diferentes etapas.



Figura 19. Diagrama de flujo de las etapas de capacidad BIM

Fuente: (Succar, 2008)

Modificado por autor

Para entender mejor las etapas, se debe recordar que el BIM se basa en la generación de objetos inteligentes que van a ser representaciones físicas de lo que realmente se va a construir en el proyecto y van a dar la oportunidad de tomar mejores decisiones. Esto permite desarrollar un flujo de información entre participantes de un proyecto y se puede clasificar en diferentes tipos de información, dependiendo de si esta está estructurada y si es computable. Esto implica que hay una gran cantidad de formas en las que se puede transmitir la información, que depende en gran medida de la interoperabilidad de la información.

También es importante recordar que, conforme se avance en la implementación del BIM, se puedan dar cambios en las relaciones y actividades que se realizan dentro del ciclo de vida del proyecto. El marco de referencia establece tres fases importantes que se pueden dividir en varias sub-fases como se muestra en el Cuadro 1. A continuación, se describirán las diferentes etapas de la implementación de la metodología BIM y como estas afectan a las diferentes fases de los proyectos.

Cuadro 1. Fases y subfases del ciclo de vida de un proyecto dentro del marco de referencia BIM

Fase de diseño		Fase de construcción		Fase de operación	
D1	Conceptualización, programación y costo.	C1	Planificación de la construcción y detallado de la construcción	O1	Ocupación y operación
D2	Arquitectura, estructura y sistemas electromecánicos	C2	Proceso constructivo	O2	Evaluación de la administración y mantenimiento
D3	Análisis, detallado, coordinación y especificaciones	C3	Entrega del proyecto	O3	Demolición o restauración

Fuente: (Succar, 2008)

- Estatus de Pre-BIM

Antes de iniciar con la implementación de la metodología BIM, los proyectos se basan en el uso de una documentación en 2D para representar y desarrollar los procesos constructivos.

Inclusive, puede ser que se desarrollen modelos en 3D, pero estos se utilizan más que todo para visualización y son elementos desacoplados que se documentan por medio de métodos en 2D. La información para la cuantificación de material, la realización de presupuestos y especificaciones técnicas no se obtiene del modelo tridimensional y no se realiza ninguna asociación entre estos.

En el campo laboral, las relaciones requieren de acuerdos contractuales para evadir o distribuir los riesgos que comúnmente se tienen dentro de un proyecto constructivo. Las formas de trabajar son lineares y asincrónicas, debido a que no se prioriza la colaboración entre las partes interesadas. A su vez, hay una baja inversión en las investigaciones relacionadas con la tecnología y hay una completa falta de interoperabilidad.

- Etapa 1: Modelación basada en objetos

La etapa inicia con el surgimiento de software para la generación de modelos paramétricos en 3D, estos modelos no son multidisciplinarios y, por lo general, son utilizados exclusivamente en una sola fase de la construcción, dentro del ciclo de vida del proyecto. Dentro de las características más destacadas de los modelos en esta etapa, se encuentran el desarrollo de modelos arquitectónicos, la generación de modelos para la fabricación del sistema electromecánico, generar documentación en 2D de manera automática y generar modelos con poca información y cuyas características paramétricas sean muy difíciles de modificar.

Debido a la forma en cómo se trabaja dentro de la etapa de modelación basada en objetos, hay un cambio en el ciclo de vida de los proyectos al incorporar la metodología del "fast-tracking", como se puede ver en la Figura 20. Sin embargo, en esta etapa no se ha iniciado un trabajo colaborativo. En la mayoría de los casos, no hay un intercambio de información a través de canales bidireccionales con la ayuda de los modelos generados, sino que la comunicación es unidireccional y asincrónico. Además, las relaciones siguen dependiendo de aspectos contractuales para manejar el riesgo y evitar los conflictos.

Al alcanzar esta etapa, es de esperarse que, con forme los diferentes actores se vayan incorporando, se vea la necesidad de desarrollar una forma más colaborativa para trabajar dentro de la metodología BIM.

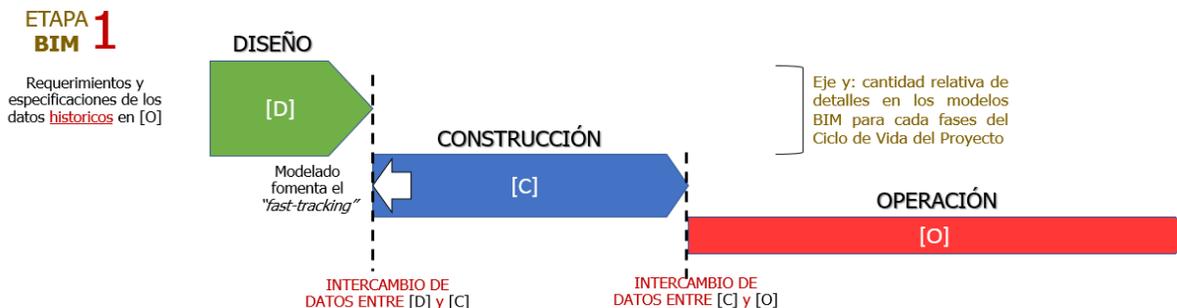


Figura 20. Ciclo de vida del Proyecto en la primera etapa de capacidades BIM

Fuente: (Succar, 2008)

Modificado por autor

- Etapa 2: Modelación colaborativa

En esta etapa los diferentes actores empiezan a relacionarse entre sí, donde se empiezan a dar intercambios de información dependiendo de las herramientas de software que se utilicen. Esto se logra al compartir los modelos o partes de los modelos entre herramientas de la misma marca o mediante archivos del tipo IFC. La capacidad de esta etapa ocurre entre una o dos etapas del ciclo de vida del proyecto y mediante la ayuda de un único modelo geométrico en 3D. Por ejemplo, los arquitectos y diseñadores estructurales pueden trabajar en conjunto o que los constructores generen un modelo para trabajar con los subcontratistas. Este intercambio de información a través de un modelo centralizado permite la generación de un análisis temporal (4D) y un análisis de costos (5D) para el proyecto.

Otra característica de esta etapa es que se inician una serie de modificaciones en los aspectos contractuales debido al cambio en lo en los flujos de trabajo y al intercambio de información basada en modelos, en la Figura 21 se puede observar cómo cambian las fases del ciclo de vida de un proyecto para esta segunda etapa. También empiezan a desvanecerse las separaciones entre los roles y las disciplinas dentro del ciclo de vida de los proyectos, a pesar de que la comunicación todavía sigue siendo asincrónica. Igualmente hay un cambio en el nivel de detalle de los modelos a medida que se generan más modelos constructivos que replazan a los modelos de diseño, esto debido al aumento en el detalle que se requiere entre ambas etapas.

- Etapa 3: Integración basada en la red

Se empiezan a desarrollar modelos con una gran cantidad de información para los proyectos y estos son utilizados a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto. La integración de los modelos se logra con la ayuda de herramientas tecnológicas como lo son servidores (privados

o abiertos), soluciones mediante el uso de software como servicio o SaaS (por sus siglas en inglés), entre otros.

Los modelos en esta etapa comienzan a tener un carácter interdisciplinario (de n-dimensiones) permitiendo realizar un análisis complejo del proyecto en las etapas tempranas de diseño y construcción. Los modelos no solo obtienen información de aspectos geométricos y especiales, sino que se obtiene el costo del ciclo de vida del proyecto, se integran las políticas ecológicas, principios de construcción LEAN y la inteligencia de negocios.

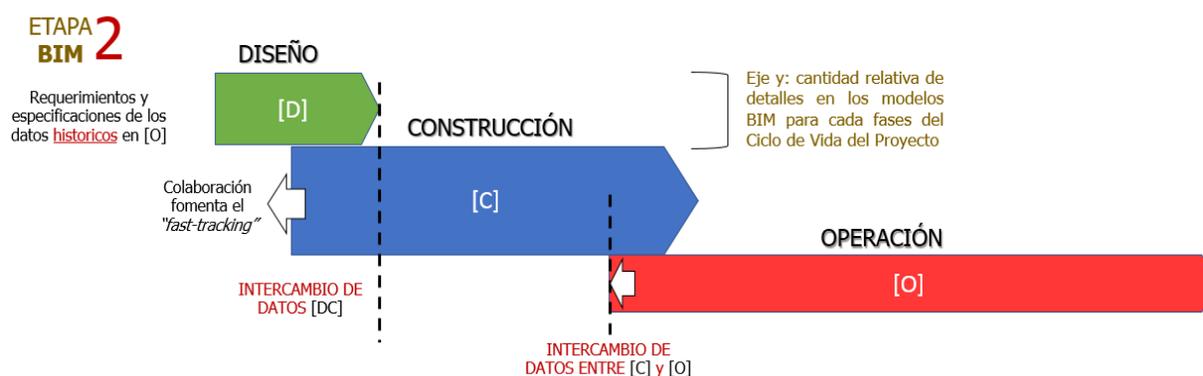


Figura 21. Ciclo de vida de un Proyecto al alcanzar la segunda etapa de capacidades BIM

Fuente: (Succar, 2008)

Modificado por autor

En este punto, la comunicación es sincrónica, colaborativa y gira en torno a un modelo unificado, extenso y compartible. Esto genera que las fases del ciclo de vida se traslapen todavía más al punto en el que el proceso parezca unificado sin ninguna división de fases, como se puede ver en la Figura 16. Esto implica que se requiere una modificación en las relaciones contractuales, en la administración de los riesgos y los flujos de trabajo existentes.

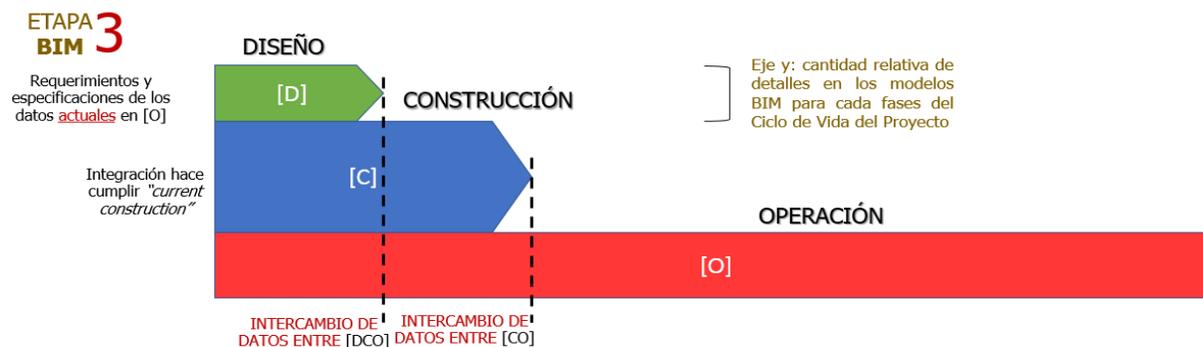


Figura 22. Ciclo de vida de un Proyecto para al alcanzar la tercera etapa de capacidades BIM

Fuente: (Succar, 2008)

Modificado por autor

Se debe aclarar que, para lograr alcanzar esta etapa de integración, es necesario obtener un nivel de madurez adecuado en el área tecnológica que permita una comunicación bidireccional entre las partes interesadas. Es a través de la madurez de las capacidades en los campos de tecnología, procesos y políticas que se puede alcanzar la etapa en la que se puede desarrollar una nueva estrategia de ejecución de proyectos como lo es el IPD (Integrated Project Delivery).

- Estrategia de ejecución IPD

La terminología del IPD es representativa para lograr unificar los tres campos en los que se compone la metodología BIM, que se vieron anteriormente. En este punto se busca integrar a las personas, sistemas y las estructuras de negocio para optimizar la calidad de los entregables del proyecto, permitiendo desarrollar las actividades con una mayor eficiencia, evitando el desperdicio e incrementando el valor la rentabilidad para el propietario. En este punto se busca una completa colaboración y comunicación entre las partes interesadas para facilitar la toma de decisiones. Los modelos no incorporan toda la información requerida con forme se avanza dentro del ciclo de vida del proyecto, permitiendo realizar análisis más complejos inclusive antes de que este se construya.

Para avanzar entre estas diferentes etapas dentro de las capacidades de la metodología BIM, se requieren de una serie de pasos. Los pasos que se deben realizar van a incorporar a los diferentes campos de la metodología BIM de tal manera que se realice un cambio progresivo e integral. Los pasos para cambiar cada una de las etapas son:

- Pasos A: del Pre-BIM a la Etapa 1
- Pasos B: de la Etapa 1 a la Etapa 2
- Pasos C: de la Etapa 2 a la Etapa 3
- Pasos D: de la Etapa 3 al IPD

c) *Enfoques BIM*

Esta es la tercera dimensión dentro del marco de referencia BIM y permiten definir la profundidad de investigación. Son capas distintivas que se utilizan aplicadas en las Etapas y en los Campos BIM para poder manejar la complejidad de la información y deshacerse de los puntos que no sean necesarios en el momento. Esto le permite a los investigadores enfocarse en selectivamente en los aspectos de la industria de la construcción de manera que se puedan

resaltar las observaciones dependiendo del criterio de los investigadores o que la información se pueda filtrar.

Es importante resaltar que los enfoques BIM y los filtros BIM son diferentes ya que los primeros son adicionales que están de parte de los investigadores para desarrollar observaciones y encontrar sus relaciones con base en el criterio de los expertos. Por otro lado, los filtros remueven la información que no es útil para la línea de investigación que se desarrolla. Los enfoques BIM pueden ser de dos tipos:

- Enfoque por disciplina: este busca desarrollar sus observaciones basadas en la aplicación de los campos del conocimiento.
- Enfoque por alcance: este se basa en el grado de detalle con el que se va a realizar las observaciones y en filtrar la información de manera que se enfoque en los objetivos propuestos.

d) Niveles de madurez

Un último punto importante para desarrollar una completa evaluación y poder realizar una correcta planificación es determinar cuál es el nivel de madurez con la que se trabaja la metodología BIM. Es a través de un modelo de madurez que se puede estandarizar un proceso de adopción para poder alcanzar los beneficios deseados. Esta métrica viene a complementar las etapas de capacidades BIM descritas anteriormente, ya que estas solo representan los requisitos mínimos que las organizaciones deben alcanzar y no reflejan cuales son las habilidades que tienen para desarrollar esos requisitos, como lo son la velocidad con la que trabajan o la calidad de los trabajos.

El termino de "Madurez BIM" se refiere a la calidad, repetibilidad y grado de excelencia dentro de los servicios BIM de una empresa. Sin poder realizar una medición de estas cualidades, no sería posible diferenciar entre los actores que tengan una verdadera habilidad con aquellos que no brindan un servicio de calidad. Además, un modelo de madurez permite detectar con mayor facilidad los distintos puntos de mejora para aumentar los avances y la eficiencia en el uso del BIM.

Para lograr medir la Madurez BIM, se utiliza el Índice de Madurez BIM (BIMMI, por sus siglas en inglés) que se ha desarrollado al investigar e integrar modelos de madurez como COBIT (Control Objects for Information and Related Technology). En general, entre mayor sea el nivel

que indica la Madurez BIM, se obtendrá un mejor control para minimizar la variabilidad de los resultados, una mayor predictibilidad y previsibilidad al disminuir la variabilidad de las competencias y una mayor eficiencia para alcanzar las metas y proponerse nuevos objetivos. En la Figura 23, se puede visualizar un resumen de los 5 niveles de madurez que propone el marco de referencia con el que se está trabajando, seguido de una breve descripción de cada uno de ellos.

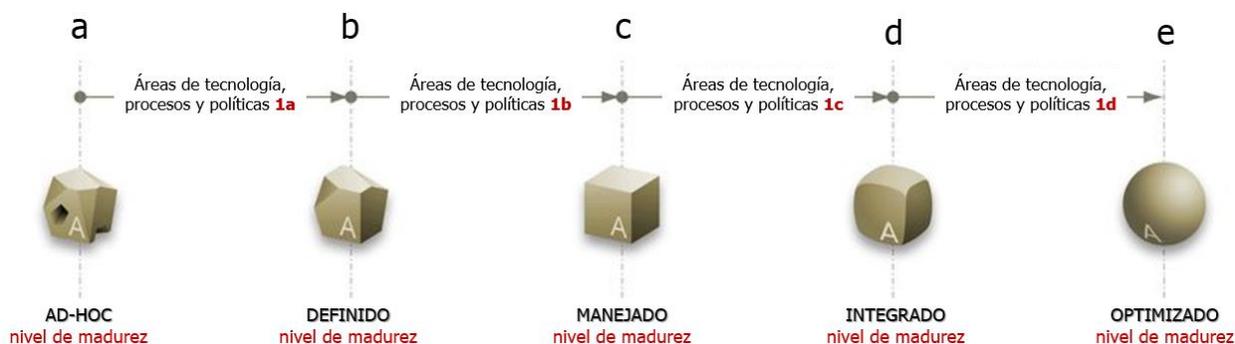


Figura 23. Crecimiento de la madurez BIM para la primera etapa de capacidades BIM

Fuente: (Succar, 2008)

Modificada por autor

- Nivel de madurez a (Inicial o Ad-hoc)

No hay una estrategia para la implementación del BIM, además de que no existen procesos ni políticas definidas del tema. Hay un uso de las herramientas de software para BIM que no está sistematizado, además de carecer de una preparación previa adecuada. La adopción parcial del BIM se logra parcialmente con la ayuda de esfuerzos aislados de "campeones" o personas curiosas que se adentran a la metodología BIM sin un apoyo activo por parte de sus superiores. Las capacidades colaborativas no siempre se logran y se caracterizan por ser incompatibles con las otras partes interesadas y las guías de los procesos, estándares o protocolos de intercambio definidos. No hay una designación de roles y responsabilidades para las partes interesadas del proyecto.

- Nivel de madurez b (Definido)

Hay una visión general de la implementación BIM que es impulsada por el sector gerencial de la organización. Se realiza una buena documentación de los procesos y las políticas que se desarrollan, se reconocen las nuevas formas de trabajo y se logran reconocer las nuevas oportunidades del BIM, sin aprovecharlas. Surge una mayor competitividad y la productividad del personal, que es impredecible. Se desarrollan estándares básicos del BIM, para la entrega de los

servicios, manuales de capacitación y procesos de flujo de trabajo. Se establecen requisitos de capacitación que son se proporcionan cuando es necesario. Hay una mejora en la colaboración entre las partes interesadas del proyecto que fomentan la confianza y el respeto mutuo con la ayuda de guías de procesos, estándares y protocolos de intercambio predefinidos. El manejo del riesgo y de las responsabilidades se realiza con la ayuda de métodos contractuales.

- Nivel de madurez c (Manejado)

La estrategia de implementación BIM se planifica con acciones concretas que serán monitoreadas al mismo tiempo que la mayoría de los empleados comunican y comprenden la visión que tiene la empresa con el desarrollo del BIM. Se reconoce el cambio que trae el BIM en los campos de la tecnología, la política y los procesos dentro de la industria y como se debe evitar los obstáculos para la innovación. Las oportunidades que surgen con el uso del BIM ya no solo se reconocen, sino que se utilizan para obtener beneficios en el mercado. Se adoptan especificaciones de productos y servicios para la generación de modelos. En este nivel de madurez, el modelo, la representación en 2D, la cuantificación, las especificaciones y las propiedades analíticas del modelo se gestionan con la ayuda de estándares establecidos que asegurar un nivel de calidad deseado. El rendimiento se trabaja de una manera más estable y se establecen los roles dentro de la organización. El manejo del riesgo, las responsabilidades y los beneficios están claramente establecidos dentro de los interesados del proyecto.

- Nivel de madurez d: (Integrado)

En este nivel, el conocimiento está integrado dentro de los procesos de la organización y es almacenado de manera que sea accesible y fácil de recuperar. Se desarrolla un plan estratégico para la selección de software y éste no se enfoca nada más en requisitos operativos. La implementación del BIM, así como sus requisitos y el desarrollo de innovación están integrados dentro de los canales estratégicos, organizacionales y de comunicación dentro de la empresa. Las oportunidades que se generan por el uso de BIM son vistas como ventaja competitiva y son utilizadas para dar una buena imagen a los clientes. Hay una buena sincronización de los modelos de los proyectos y estos están estrechamente relacionados con los procesos de negocio. La productividad es completamente estable y predecible, los roles están bien definidos dentro de la organización, así como los objetivos de competencia. Los estándares BIM se integran a los sistemas de gestión de calidad y mejora del rendimiento. Además, la colaboración ahora envuelve a todos los interesados clave durante las primeras etapas de los proyectos.

- Nivel de madurez e (Optimizado)

En este nivel se ha interiorizado la visión del BIM dentro de las organizaciones y los proyectos, se logra alcanzar esa visión de manera activa. Se realizan inspecciones y auditorías de manera periódica para revisar y ajustar las estrategias de implementación BIM y sus efectos dentro de la organización. Las modificaciones en los procesos o las políticas se realizan de manera proactiva y las soluciones innovadoras en conjunto con las oportunidades de negocio son buscadas y seguidas con gran intensidad. La selección de software se alinea con los objetivos estratégicos y se enfocan en mejorar la productividad. Los modelos son revisados de manera periódica para aprovechar los avances en software que se van desarrollando de manera que se mantengan actualizados. Las bases de datos, los procesos y los canales de comunicación están perfectamente establecidos y se optimizan con regularidad. Los modelos contractuales se modifican dependiendo de la revisión y análisis de los riesgos, las responsabilidades y las recompensas dentro del proyecto para lograr las mejores prácticas y un beneficio mayor para los interesados. Se realiza una revisión para asegurar la calidad de los procesos, productos y servicios.

La herramienta que se utilizó, en esta investigación, para identificar el nivel de madurez es la Matriz de Madurez BIM que tiene dos ejes que son el conjunto de capacidades BIM (mínimas habilidades de una organización o equipo de trabajo que se evalúa con las etapas BIM) y la madurez BIM que se evalúa con la ayuda del índice de madurez. Esta matriz de madurez se puede apreciar en el Cuadro 8 de la sección 7.3.

2.2.5. Modelo complementario de componentes de macro-madurez para la adopción en el sector público.

De manera complementaria, se va a utilizar el modelo de componentes de macro-madurez que forma parte de los 5 modelos propuestos por los mismos autores del modelo del punto de adopción para describir la macro-adopción del BIM. Este modelo utiliza los índices de madurez en conjunto con 8 campos de desarrollo en un país, de tal manera que pueda describirse un proceso estandarizado y gradual para la adopción a nivel de un sector. Los componentes son:

- 1) Objetivos, etapas e hitos: Este componente representa la disponibilidad de objetivos relacionados con las políticas, etapas intermedias de capacidad e hitos medibles de tal manera

que se puedan separar los estados actual y futuro. Estos pueden existir por separado o formar parte de una estrategia a nivel país.

- 2) Campeones y guías: Este componente representa a las acciones de los individuos, grupos u organizaciones que buscan demostrar la eficacia de un sistema innovador a potenciales adaptadores. Los campeones son los primeros individuos, comunidades o industrias que voluntariamente promueven el uso de software, nuevos procesos y el desarrollo de nuevos estándares. Mientras que los guías son ejecutores designados de una estrategia que es desarrollada por el grupo de autoridades y se pasa a organizaciones de escala grande o pequeña. Esta estrategia o mandato debe tener como objetivo estimular el uso de las nuevas tecnologías, procesos y políticas.
- 3) Marco regulatorio: Este componente se refiere al campo contractual, la identificación de la propiedad intelectual y los seguros de llevar a cabo un proyecto colaborativo con BIM. Las nuevas responsabilidades de la metodología BIM en conjunto con los modelos colaborativos y la generación de protocolos genera una mayor complejidad en la interacción entre los participantes de un proyecto de construcción. Esta complejidad y el cambiante riesgo de la nueva metodología puede amortiguarse con un marco regulatorio que aclare los derechos y las responsabilidades de los diferentes actores involucrados en el ciclo de vida del proyecto.
- 4) Publicaciones relevantes: Este componente incorpora la disponibilidad de los documentos de las investigaciones realizadas por parte de actores influyentes en la industria y destinados a todos los involucrados en el sector de la construcción. Estas publicaciones pueden ser parte de 3 grupos que son las guías, los protocolos y los mandatos; y etiquetadas en 18 tipos de contenido como lo son los informes, manuales, contratos, entre otros.
- 5) Aprendizaje y educación: Este componente representa las actividades desarrolladas por parte del sector académico para cubrir las herramientas, los conceptos y los flujos de trabajo para desarrollar proyectos en BIM. Estas actividades son desarrolladas por colegios vocacionales, sistemas de educación terciarios o desarrolladores de profesionales.
- 6) Mediciones y puntos de referencia: Este componente se refiere a las métricas de todo el mercado para evaluar los resultados de los proyectos y evaluar las capacidades de los individuos, los grupos y las organizaciones de desarrollar proyectos con BIM. La evaluación a partir de métricas internacionales y su comparación con la situación propia permite visualizar los puntos de mejora con mayor facilidad.

- 7) Estándares y entregables: Este componente hace referencia a la estandarización de las diferentes partes involucradas en la generación de un modelo con gran cantidad de información útil que se integra en la modelación basada en objetos. Además, incluye el uso que se le da a los modelos, los entregables estandarizados que se deben generar y la vinculación de los modelos a bases de datos externas.
- 8) Infraestructura tecnológica: Este campo se refiere a la disponibilidad, facilidad, conectividad y apertura de los sistemas de información dentro de los campos de software, hardware y soluciones de red.

En el Cuadro 9, que se encuentra en la sección 7.3, se muestra un cuadro con los 8 componentes que se mencionaron anteriormente y las diferentes características que tienen dependiendo del nivel de madurez que presenta cada uno de ellos.

2.3. Situación actual de la Obra Pública en Costa Rica

La obra pública incluye todas aquellas construcciones o instalaciones de redes artificiales, diseñadas y dirigidas por profesionales con determinados conocimientos técnicos en diversas áreas (Arquitectura, Ingeniería Civil, Urbanismo, Planificación, etc.), y utilizadas como base del desarrollo y organización estructural de las ciudades. Son esenciales en toda sociedad moderna y globalizada, de manera que la utilización de aquellas herramientas tecnológicas que permita la coordinación de estos proyectos se convierte en un requisito para llevarlos a cabo con eficiencia (Real Academia Española, 2018).

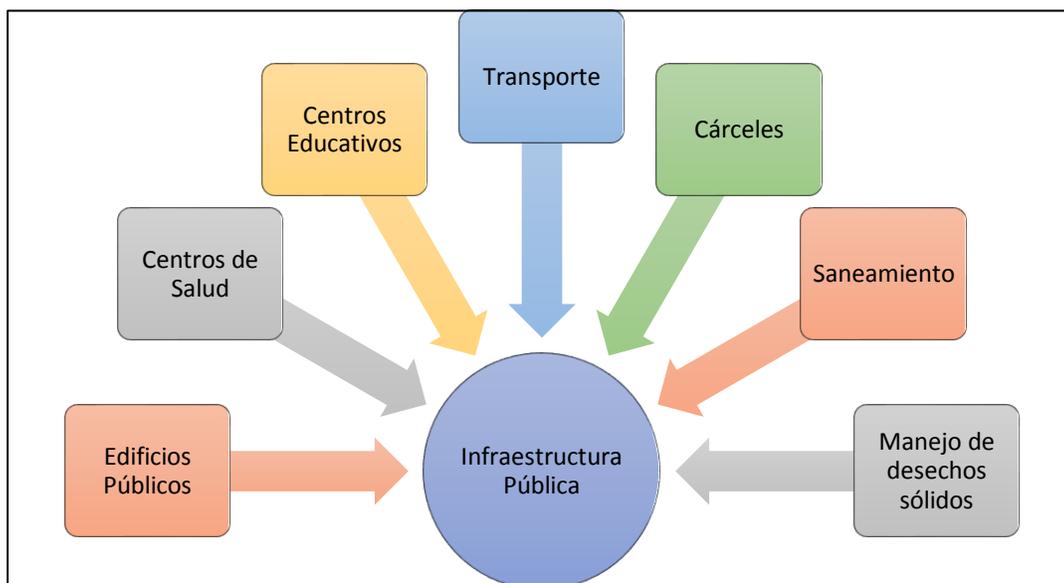
El papel de la infraestructura en el crecimiento y el desarrollo de los países ha tenido un amplio reconocimiento. Dentro de las áreas en las que se gestan los proyectos de obra pública para desarrollar infraestructura están: transportes, energía, telecomunicaciones, abastecimiento de agua, saneamiento, escuelas, hospitales e incluso instalaciones para otro tipo de servicios sociales. Por lo tanto, una mala gestión de la infraestructura puede afectar el potencial de políticas de desarrollo que busquen mejorar las tasas de crecimiento económico de las naciones, dirigidas a mejorar la calidad de vida de sus habitantes. (Academia Centroamérica, 2017)

En síntesis, para Costa Rica la infraestructura pública funciona como un pilar fundamental para que las instituciones del estado brinden los servicios necesarios que permitan promover el bienestar de la población y fomentar el desarrollo económico, tales como la construcción de hospitales, centros educativos, carreteras, servicios de agua potable, entre otros. Para el

financiamiento de dichas obras se cuentan con diversos mecanismos, como las concesiones o los préstamos. Por ejemplo, en la actualidad el Estado y otras entidades han acudido al mercado de valores al momento de optar por un proyecto de infraestructura tanto a nivel público como privado (Cisneros, Sugeval abre tres vías para financiar obra pública y privada, 2014).

Según el Plan Nacional de Inversión Pública (PNIP) en el periodo 2015-2018 que ya ha sido remplazado, indicó que se requería una visión integral de la infraestructura como la representada en la Figura 24. En la figura se puede observar se deben contemplar una gran cantidad de áreas en las que el estado debe invertir para impulsar el desarrollo del país y el bienestar de la población.

La sistematización y la incorporación de una gestión eficiente y eficaz de los procesos de inversión pública dentro de todo el ciclo de vida de los proyectos, facilita su intervención y análisis en cualquiera de sus etapas. La gestión de los proyectos debe ser un proceso dinámico que se deriva en esfuerzos de administración y dirección por parte de las instituciones involucradas. Esto demanda una coordinación interdepartamental que muchas veces es compleja y que muchas veces tienen como fin cumplir los requisitos de las entidades regulatorias hasta alcanzar la generación de los bienes o servicios que dieron origen al proyecto.



*Figura 24. Tipos de proyecto de obra pública considerados por el MIDEPLAN
Fuente: (MIDEPLAN, 2016)
Modificada por autor*

Dentro del nivel regulatorio, el proceso para el desarrollo de inversión pública requiere de múltiples actores que, según su competencia, ayudan en la gestión de las inversiones realizadas. (Ministerio de Planificación y Política Económica, 2016) Estas instituciones son:

- Ministerio de Planificación y Política Económica (MIDEPLAN), cuya responsabilidad es la priorización de los proyectos en relación con el plan nacional de desarrollo y gestionar el proceso de inversión pública. Esta responsabilidad es impulsada por el Sistema Nacional de Inversión Pública que tiene como fin un uso óptimo de los recursos públicos en los temas de inversión.
- Ministerio de Hacienda que se encarga de aprobar el presupuesto para realizar las distintas inversiones y analizar el impacto que estas tengan dentro de las finanzas públicas en relación a las metas propuestas.
- Banco Central de Costa Rica (BCCR), analiza el impacto que tienen las inversiones sobre el financiamiento de la deuda del sector público y en las cuentas externas.
- Contraloría General de la República, es el encargado de la fiscalización de las inversiones en el sector público.
- Comité Nacional de Inversión Pública, es un órgano colegiado que está vinculado a la Presidencia de la República el cual busca la coordinación interinstitucional. Este comité busca promover los mecanismos de colaboración interinstitucionales, simplificación de trámites, incentivar a la buena gestión de las inversiones públicas, emitir el aval de las oportunidades sobre la relevancia de los proyectos y promover la rendición de cuentas de los jerarcas en cuanto a las inversiones públicas.

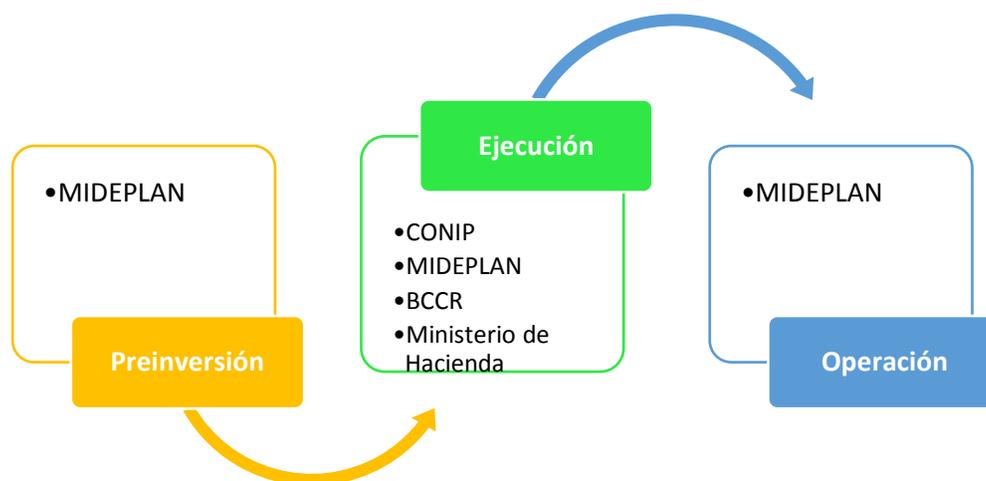
Otras instituciones y organizaciones que también participan en el proceso de inversión pública, específicamente en el proceso de construcción del proyecto son: Secretaria Técnica Nacional Ambiental (SETENA) que realiza la evaluación del impacto ambiental de los proyectos, los ministerios e instituciones descentralizadas que desarrollan de manera directa la obra pública, el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA, que administra la plataforma de permisos digitales) y las municipalidades que también deben otorgar permisos de construcción según sus funciones. Estas instituciones pueden incorporarse en una o varias etapas del ciclo de vida de los proyectos (Ministerio de Planificación y Política Económica, 2016).

Para poder realizar una gestión adecuada de un proyecto, se debe dividir en las diferentes etapas que lo componen. Se ha evidenciado que la división por etapas que propone el Sistema Nacional

de Inversión Pública (SNIP) tiene vacíos legales en temas de cobertura, evaluación y seguimiento. El SNIP establece que las fases del ciclo de vida de los proyectos son (Ministerio de Planificación y Política Económica, 2016):

- Preinversión: Comprende la elaboración del perfil del proyecto, los estudios de prefactibilidad y factibilidad; culminando con el diseño del proyecto.
- Ejecución: Lo conforman las etapas de financiamiento, licitación y ejecución.
- Operación: Es la fase en la que el proyecto empieza a generar los bienes y servicios para los que fue desarrollado.

Las acciones dentro del ciclo de vida de los proyectos no requieren de todos los actores a la vez. En la Figura 25, se muestran cuáles son los principales actores regulatorios según la fase del ciclo de vida de los proyectos. Cabe mencionar que todos los actores regulatorios siempre pueden pedir información o tomar parte en las diferentes etapas. Las instituciones que se encargan de desarrollar los proyectos siempre deben estar involucradas.



*Figura 25. Participación de las instituciones regulatorias en el ciclo de vida de los proyectos de inversión pública.
Fuente: MIDEPLAN, 2016
Elaborado por autor*

Dentro de las necesidades que deben trabajarse es la priorización de los proyectos de inversión que es una de las debilidades más frecuentes y esto deriva en una carencia de los estudios sobre las necesidades y requerimiento de las inversiones (Artavia Gutiérrez & Ortiz Madrigal, 2018). Esto evidencia la necesidad de desarrollar una metodología que permita priorizar los diferentes proyectos para mejorar las inversiones públicas utilizando criterios como: población beneficiada, costos, impacto económico y social, entre otros.

El país ha tenido un rezago importante en las últimas décadas relacionadas con el desarrollo de los proyectos de obra pública. En la actualidad hay grandes necesidades de inversión en proyectos de transportes, escuelas, hospitales, acueductos, tratamiento de desechos y seguridad, entre otros (Villalobos, Decalogo para el desarrollo de la obra pública, 2017). La disminución de la inversión se puede reflejar en la cantidad de proyectos que se tramitan por el CFIA, en donde los registros de los proyectos de obra pública disminuyeron un 15% entre los años 2014 y 2015; en comparación con un aumento del 87% en proyectos de obra privada. Esto se debe a que el Gobierno y sus instituciones han tenido problemas para la administración y ejecución de los proyectos de obra pública; por lo que el Estado está pagando intereses a las entidades financieras de los préstamos otorgados para realizar obras que no se han ejecutado. (Gutiérrez, 2016)

Esta brecha en la infraestructura es común dentro de la región de América Latina y el Caribe, si se compara con países desarrollados como Corea del Sur y China. Donde el 30% de la diferencia en el crecimiento se puede explicar por la facilidad para desarrollar infraestructura en donde factores como la eficiencia, la calidad, la gestión pública y los procesos de priorización son variables importantes que afectan los proyectos de obra pública en la región. Para lograr un nivel de infraestructura similar al de los países desarrollados los países de la región deben invertir entre un 4% y 6% del PIB durante 20 años. En la Figura 26, se puede observar las inversiones que se han desarrollado en el sector público como porcentajes del PIB en donde hay una tendencia de disminución lo que aumenta la brecha en la parte de infraestructura.

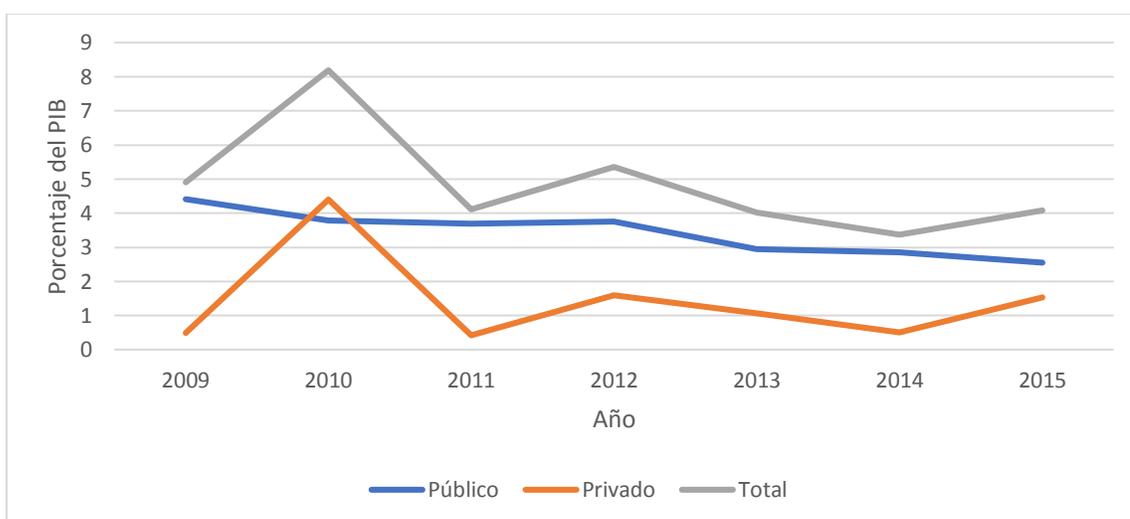


Figura 26. Inversión en infraestructura como porcentaje del PIB 2009-2015
Fuente: (Academia Centroamérica, 2017)

En el Plan Nacional de Desarrollo y de Inversión Pública 2019-2022, se hace referencia al impacto que tiene la inversión en el PIB y como el atraso en la inversión pública, debe ser atendido de manera prioritaria. El BCCR indica que un aumento de un punto porcentual en este rubro tiene un impacto de entre un 0,23% y 0,29% de la tasa de crecimiento del PIB. La brecha que existe en infraestructura del sector público provoca una pérdida de competitividad a nivel país que invierte un 4% del PIB en el mismo, mientras que se estima que es necesario invertir entre un 4% y un 8%. Se debe considerar una mejora en la planificación, ejecución y administración de la infraestructura del país. Cabe mencionar que, de acuerdo con el proyecto para medir las inversiones en infraestructura en los países de América Latina y el Caribe, (INFRALATAM), los países de la región Latinoamericana y del Caribe deben invertir un 6,2% del PIB anualmente para satisfacer sus necesidades en infraestructura (Academia Centroamérica, 2017).

La Cámara Costarricense de la Construcción explica como Costa Rica ha experimentado un bajo nivel de inversión en infraestructura pública, falta de recursos para mantener las estructuras existentes y desarrollar nuevas estructuras. Estos problemas generan una reducción en la competitividad costarricense a nivel global. (Trejos, 2017)

De la misma forma, en el sector transportes, el mal estado de la infraestructura en el país se refleja el Índice de Competitividad Global 2017 del World Economic Forum, donde Costa Rica se ubica en el puesto 110 de 136 países evaluados, colocándose en el último lugar de los países de la región (Artavia Gutiérrez & Ortiz Madrigal , 2018). La mala gestión de proyectos de infraestructura vial ha ocasionado problemas en cuanto al costo, tiempo y calidad de los proyectos. Por ejemplo, los estudios del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos estructurales indica que el 50% de la red vial nacional pavimentada están en condiciones deficientes. Esto se refleja en el Cuadro 2, donde se pueden observar las calificaciones que ha tenido Costa Rica en cuanto a la calidad de sus carreteras (Loría & Martínez, 2019).

Cuadro 2. Posición internacional en cuanto a la calidad de las carreteras

	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019
Posición	119	115	125	123	124
Países incluidos	137	138	140	144	140

Fuente: (Loría & Martínez, 2019)

En el 2009, el Estado de la Nación indicó la gran cantidad de tiempo que se pierde por la congestión vial a nivel nacional. Se estima que el valor del tiempo perdido por el tema de la

congestión es cercano al 2% del PIB; sin contar con el consumo de combustible y el impacto en el medio ambiente. Para solucionar este problema, se requieren soluciones rápidas, sin embargo, se duran décadas en la planificación y ejecución de los proyectos. Esto se refleja en los 61 años de atraso que tiene Circunvalación Norte, los 19 años de atraso para la ampliación de la carretera San José-Cartago o los 16 años que han durado proyectos como la ampliación de San José-San Ramón y Sifón-La Abundancia. Este problema podría paralizar al país si no se arregla en los próximos años, afectando no solo a la población que diariamente se moviliza por el país, sino que también a las empresas que deben invertir más en temas de transporte (Artavia Gutiérrez & Ortiz Madrigal , 2018).

En el informe "La encrucijada de la Infraestructura en Costa Rica" se establece 10 causas principales que han generado que el sector transporte del país se encuentre entre los peor evaluados del mundo. Estas causas son (Artavia Gutiérrez & Ortiz Madrigal , 2018):

1. Inexistencia de una visión a largo plazo para la infraestructura, esto a pesar de que existen programas como el Plan Nacional de Transporte 2011-2035 o el plan de desarrollo urbano de la GAM. Esto se debe a que estos planes no han sido consensuados con todos los actores involucrados, como el sector privado, y no se le ha dado un seguimiento ni el carácter de obligatoriedad debido. Es fundamental desarrollar un plan estratégico a largo plazo (20-30 años), en donde se definan las obras de infraestructura prioritarias y no se vean afectadas por la alta rotación del personal dentro de los gobiernos.
2. No existe un sistema de gestión para la infraestructura, no se ha desarrollado un programa donde el Estado, las municipalidades o las instituciones públicas puedan desarrollar un programa de mantenimiento y de conservación que permita un control de los activos y permita desarrollar una buena planificación para las inversiones requeridas.
3. No se administra la infraestructura con criterios gerenciales y de forma profesional, no existe un sistema de evaluación de la gestión que se realiza, la selección del personal y la toma de decisiones se basa más en criterios políticos que en criterios técnicos y la falta de metas claras y una rotación de personal tan alta no permite el funcionamiento eficiente de las instituciones públicas.
4. Insuficiente e ineficiente inversión en infraestructura, en promedio se invierte un 1% del PIB en transporte, mientras que la inversión debería de ser de al menos un 2-3%. Además, la inversión se ve afectada por el déficit fiscal y el endeudamiento del Estado. Ante este

hecho, es necesario valorar medidas alternativas para el financiamiento con el fin de desarrollar los proyectos que se enfocan en mejorar la competitividad del país. Por ejemplo, el uso de las Alianzas Público-Privadas para el desarrollo de grandes proyectos de infraestructura con el apoyo del sector privado.

5. Las municipalidades no tienen planes reguladores eficientes, estas dan permisos de construcción sin una verdadera planificación urbana, ni planes para el desarrollo de carreteras. Esto se refleja en la falta de Planes Reguladores, ya que solamente 8 municipalidades cuentan con sus planes reguladores completos.
6. Desconocimiento del funcionamiento y ventajas de las Asociaciones Público-Privadas (APP). Estas asociaciones o alianzas son un acuerdo entre el sector público y una parte de privada que tiene un alcance a largo plazo, para proporcionar un activo o servicio público, en el que la parte privada asume un riesgo significativo. Es importante recalcar que, en un esquema de APP, el Estado no pierde la propiedad del bien, sino que al final del contrato este es devuelto en óptimas condiciones (Academia Centroamérica, 2017). En América Latina, las inversiones de las APP representan el 40% de la inversión total y en Costa Rica solo cubre el 26%. En el Cuadro 3, se muestran las diferencias entre el modelo tradicional y los modelos APP.

Cuadro 3. Comparación entre los sistemas tradicionales y las APP

Modelo Tradicional	Asociaciones Público-Privadas
El Gobierno compra el activo	El Gobierno compra el servicio
Se prefieren proyectos nuevos y atractivos	Enfoque en proyectos viables
Muchos contratos a lo largo del ciclo de vida del proyecto	Un solo contrato a largo plazo
El Estado asume el 100% del riesgo	Hay un reparto de riesgo entre los sectores privado y público
Los pagos se concentran a inicios del proyecto	Los pagos se difieren en el tiempo
Centrado en el costo de la construcción	Se planifica en el ciclo de vida del proyecto
No hay indicadores de desempeño	Pagos ligados al cumplimiento de hitos

Fuente: (Academia Centroamérica, 2017)

Modificado por autor

7. Ineficiente preparación de los proyectos, en especial para los estudios de factibilidad y de prefactibilidad. Se deben abordar los temas de las expropiaciones, remoción de servicios

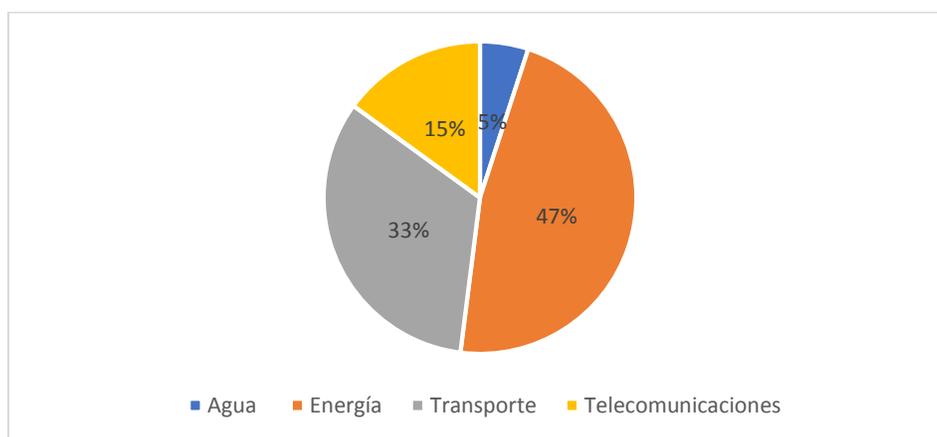
y la tramitología de permisos para la construcción ya que estos requieren una gran cantidad de tiempo para realizarse.

8. Diseño de infraestructura de baja calidad, hay una falta de visión a largo plazo (se espera que los proyectos deban cubrir una demanda de al menos 15 años) y de estándares para el diseño de las carreteras. Esto se traduce en una menor vida útil de los proyectos de la red vial y un aumento en sus costos por motivos de ampliaciones y ajustes que se le deben hacer en el mediano plazo.
9. Alto costo en la construcción de carreteras, si se hace una comparación con los proyectos de otros países se puede ver que Costa Rica paga precios muy altos por kilómetro de carretera. Estos altos costos dificultan la capacidad para invertir en nuevos proyectos y para darle mantenimiento a los proyectos existentes, lo que incrementa la brecha existente.
10. Serio problema de congestionamiento vial en la GAM, se debe desarrollar un plan de transporte a largo plazo que cuente con la participación del sector privado y de la ciudadanía.

De la misma forma, hay otros campos donde las obras públicas han tenido problemas para desarrollarse o brindarles mantenimiento. Por ejemplo, la Caja Costarricense de Seguro Social (CCSS) estima que hay un rezago de hasta 14 años en la infraestructura de hospitales y clínicas, lo que implica un gasto de hasta \$1.500 millones para reparar la mayoría de las instalaciones. Esto se debe a que, desde los años 90, se redujo la inversión y se empezaron a acumular las necesidades para atender el mantenimiento de las estructuras. (Rojas, 2014)

Otro sector que puede tratarse es el de las edificaciones utilizadas para fines administrativos y prestación de servicios. La Contraloría General de la República señala que el Estado pagó hasta \$60 por metro cuadrado, mientras que el promedio del mercado ronda los \$20-\$23 por materia de alquiler en el 2015 y con pequeños ajustes se puede dar una reducción de 4mil millones de colones en los gastos (Solano, 2017). En un estudio realizado por la por la misma entidad fiscalizadora en el 2015, se estima que se gastaron 0,3% del PIB en los alquileres con una tasa de crecimiento del 12,2% en el periodo 2010-2015. Además, este gasto lo concentran 12 instituciones públicas que acaparan el 70% del gasto en materia de alquiler. Esto plantea la idea de retomar el desarrollo de edificaciones propias por parte del estado (Quirós, 2019).

A nivel general, se puede resaltar que hay tendencias dentro de la gestión pública en temas de inversión en infraestructura. Entre ellas se puede destacar la pérdida del dinamismo en la inversión pública producto de la situación fiscal del país que se relaciona con la baja capacidad para la ejecución de proyectos, la falta de priorización en inversión y la baja inversión por parte del sector privado. La pérdida del dinamismo y la situación actual no permite sostener los niveles de inversión y generando una ampliación en la brecha que no es homogénea para todos los sectores. En la Figura 27, se muestra la distribución de la inversión realizada en diferentes sectores donde los más favorecidos son los sectores de energía y transportes. Además de que, a pesar de que se tiene una buena cobertura y acceso para los servicios, la calidad de la infraestructura no es buena (Academia Centroamérica, 2017).



*Figura 27. Distribución de la inversión en infraestructura.
Fuente: (Artavia Gutiérrez & Ortiz Madrigal, 2018)*

Estos hechos han sido resaltados comúnmente y se detallaron los desafíos que se deben superar en materia de la gerencia en la inversión pública para el Plan Nacional de Inversión Pública para el Desarrollo 2015-2018. En el Cuadro 4, se pueden observar los desafíos presentados en distintas fases de los proyectos.

En términos financieros, como una medida para ayudar a que el país salga de su rezago de infraestructura, una de las medidas que se han implementado es el uso del sistema de concesión de obra pública para los proyectos de construcción de las instituciones gubernamentales. El objetivo de este sistema es la realización de las obras públicas de gran envergadura por parte de empresas privadas cuya inversión serán pagadas por los usuarios, sin afectar el presupuesto nacional. En 1994 se formó la ley 7762 "Ley General de Concesión de Obra Pública" para regular los contratos de concesión de obras públicas y servicios públicos. (Vinocour Fornieri, 2008)

Cuadro 4. Desafíos en el gerenciamiento de la inversión pública.

Etapa	Desafíos
Planificación	→ Fortalecimiento de la planificación y unidades especializadas en gerencia de proyectos a nivel institucional, sectorial y nacional.
Preinversión	→ Débil gestión institucional en la formulación de proyectos → Rotación del personal → Fortalecimiento de las unidades ejecutoras de proyectos
Inversión	→ Falta de capacidad para ejecutar y aprobar obras públicas por errores de contratación. → Desactualización de estudios que afectan la ejecución y elevan los costos de los proyectos. → Poca capacidad de expropiar terrenos. → Limitada coordinación institucional. → Falta de unidades ejecutoras de proyectos. → Escasa o nula experiencia por parte de los gerentes de proyectos. → Falta de técnicos adecuados. → Inexistencia de un programa a largo plazo que permita la programación de la inversión pública. → Deficiente comunicación y coordinación entre los técnicos encargados de la gestión de los proyectos y los sectores. → Limitado financiamiento de las inversiones. → Atrasos y largos procesos de financiamiento externo. → Falta de apoyo político o cambios no previstos de las prioridades institucionales, amplios plazos de aprobación de préstamos por parte de la Asamblea Legislativa e incorporación de los recursos en el presupuesto nacional.
Seguimiento y Evaluación	→ Casi nula gestión del seguimiento y evaluación de la inversión pública a nivel de las instituciones. → Déficit de funcionarios para el seguimiento y la evaluación de los proyectos de inversión pública. → Falta de capacidad en seguimiento y evaluación de los proyectos.

Fuente: (Ministerio de Planificación y Política Económica, 2016)

Además de la concesión de obra pública, se han desarrollado nuevas formas de financiamiento para los proyectos como lo es el mercado de valores que ha sido utilizado bajo el esquema contractual de fideicomisos. Entre los requisitos para utilizar este sistema se tiene que los activos deben tener la capacidad de generar un flujo de ingresos periódicos y predecibles, entre otros. Sin embargo, la Superintendencia General de Valores ha recibido solicitudes que no cumplen con las características requeridas. Actualmente, se cuenta con el modelo de fideicomiso para que la Administración Pública se puede relacionar contractualmente con un fiduciario con el fin de llevar a cabo el desarrollo de un proyecto de obra pública, para si posterior arrendamiento, operación o financiamiento (SUGEVAL, 2010).

Para la gestión de proyectos, también se han realizado acciones importantes desde el Sistema Nacional de Inversión Pública con la instrumentación de medidas que tienen como objetivo mejorar el control y seguimiento de los proyectos de inversión pública durante todo el ciclo de vida de los proyectos. Una de ellas es el Banco de Proyectos de Inversión Pública (BPIP) que fue lanzado en junio del 2015 (Ministerio de Planificación y Política Económica, 2016).

Durante la semana de Reactivación Económica, el Gobierno de la República anunció que, como parte de su Plan Integral de Acciones para la Reactivación Económica, se va a desarrollar un agresivo plan de inversión en infraestructura vial por un valor de \$4600 millones para proyectos en todo el territorio nacional y el reforzamiento del Consejo Nacional de Concesiones con un apoyo de ₡5000 millones. (Presidencia de la República de Costa Rica, 2018)

Se espera que la inversión pública se recupere en el 2019 gracias a la aprobación de la reforma fiscal, la expectativa de que se ejecuten proyectos de infraestructura vial y de la obtención de financiamiento externo por parte del Gobierno. Estos planes generarían un crecimiento del 8% en inversión de nuevas construcciones, en contraposición al 11,7% que decreció el año anterior. El mayor crecimiento en la inversión será en el sector transporte (Caminos, carreteras y puentes) y Servicios de Salud con un crecimiento del 40,5% y 46,6% respectivamente, pero se espera que la inversión se vuelva a contraer en el 2020 debido a la falta de proyectos para este año. En la Figura 28, se pueden observar las proyecciones en millones de dólares en inversión de obras públicas para nuevas construcciones. En el gráfico se puede identificar que las mayores inversiones son realizadas en los campos de servicios básicos y de transporte (Cisneros, 2019).

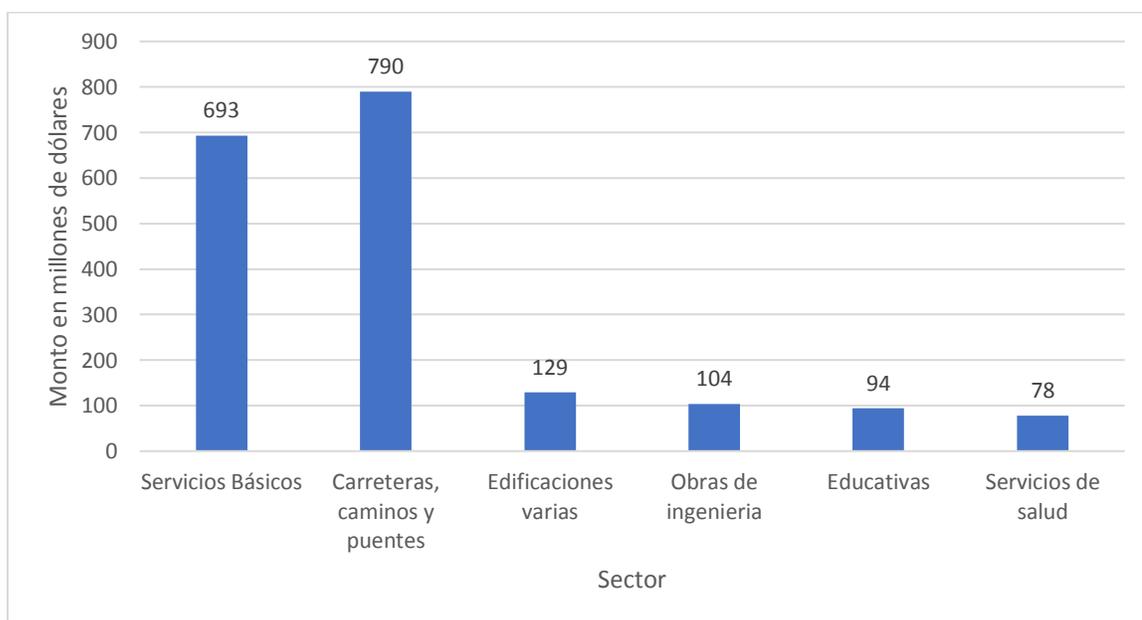


Figura 28. Proyección de inversiones en obra pública para las nuevas construcciones en el año 2019.
Fuente: (Cisneros, Inversión de obra pública se dinamizará este año, 2019)

En el Cuadro 10, se pueden apreciar todos los proyectos de inversión en infraestructura que se tienen programados según el PNDIP 2019-2022

CAPITULO 3. Diagnóstico del uso de la metodología BIM en el sector de la construcción costarricense

Para desarrollar una estrategia que permita implementar la metodología BIM en los proyectos de construcción, se investigó sobre su utilización en el sector público costarricense. De la misma forma se consideran los esfuerzos que han realizado tanto el sector privado como el sector académico, con el propósito de complementar los esfuerzos de todos los sectores, de manera que se logre una sinergia que permita beneficios para todos.

Es importante aclarar que el diagnóstico se realizó a partir del conocimiento de la metodología descrita previamente y con base en 41 encuestas aplicadas entre el 19 de diciembre del 2018 y el 1 de abril del 2019, a los directores o profesores de las carreras de ingeniería civil y arquitectura de diferentes universidades (UCR, TEC, UACA, Universidad Central, Universidad Creativa, Fidélitas, Universidad Hispanoamericana, Veritas y Universidad Latina. Así como a gerentes de las empresas privadas del sector construcción con experiencia en el uso de la metodología BIM, y personal de entidades públicas (ICE, CONAVI, ICT, MIDEPLAN, MOPT, AyA, MEP, CGR, DGAC, entre otras).

Se debe recordar que el diagnóstico es realizado con base en la matriz de madurez. Por simplicidad se presenta un resumen con los códigos para los diferentes niveles de madurez en el Cuadro 5. Para una descripción más detallada de la metodología utilizada refiérase a la sección 2.2.4.

Cuadro 5. Resumen del código de referencia para identificar los niveles de madurez.

Código de madurez	Nivel de Madurez
Madurez a	AD/HOC (Exclusivo para un caso en específico)
Madurez b	Determinado
Madurez c	Manejado
Madurez d	Integrado
Madurez e	Optimizado

3.1. Estado actual del uso de la metodología BIM en el sector académico.

El uso de la metodología BIM ha tomado fuerza en el sector construcción en los últimos años a nivel nacional, por lo que muchas de los centros de enseñanza superior se han interesado en impartir capacitaciones relacionadas con su utilización.

En general, los académicos entrevistados indicaron la importancia de formar profesionales en las áreas de construcción en atención a los avances en la tecnología; y en este caso la

metodología BIM forma parte de los recursos que tendrían los estudiantes para la solución de problemas y para llevar a cabo sus trabajos. La mayoría de los entrevistados coincidió en la necesidad de mejorar la comunicación entre la academia y la práctica. En la Figura 29, se muestra que menos del 40% de las unidades académicas entrevistadas tienen acercamientos con empresas e instituciones del sector construcción con las cuales se pueda generar una relación simbiótica que facilite la experiencia al estudiante y contribuya con el trabajo de las entidades.

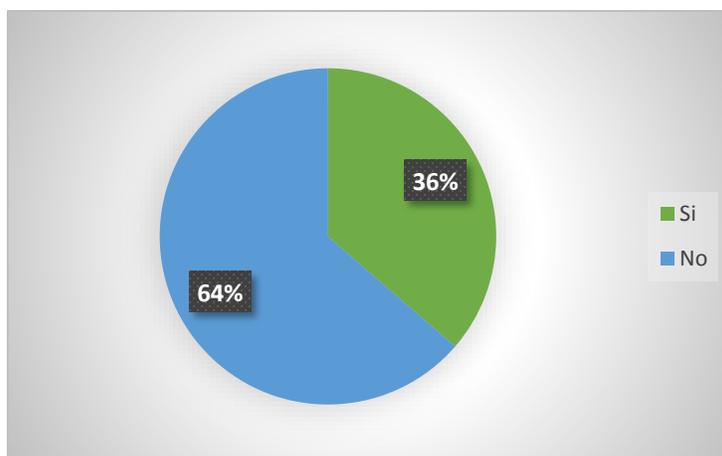


Figura 29. Cantidad de instituciones académicas que tienen convenios o alianzas con el sector privado o público

Las entrevistas por parte del sector académico revelan interés por el uso de la metodología BIM. Los primeros intentos para incluirla han sido esfuerzos puntuales de algunos profesores mediante charlas introductorias en cuanto a los conceptos básicos en el uso de esta metodología y sus posibles aplicaciones en el campo laboral. Sin embargo, estos intentos no han sido definidos dentro de un marco de trabajo planificado y estandarizado. Esto se puede reflejar en la Figura 30, donde se muestra que menos del 30% de las 11 escuelas de ingeniería y arquitectura entrevistadas contaban con lineamientos u objetivos para integrar esta metodología en los programas de estudio.

Tres unidades académicas enfocadas en la arquitectura cuentan con una estrategia básica para la integración del BIM en sus cursos, por la facilidad para visualizar los proyectos de una manera más sencilla. En el caso de ingeniería aún no se han desarrollado programas de implementación formales dentro de la carrera. Se están dando los primeros pasos en esta materia y entre sus objetivos se encuentran:

- Complementar el desarrollo de profesionales con nuevas prácticas emergentes.

- Mantener actualizados los programas de estudio en relación con las prácticas que se desarrollan a nivel mundial.

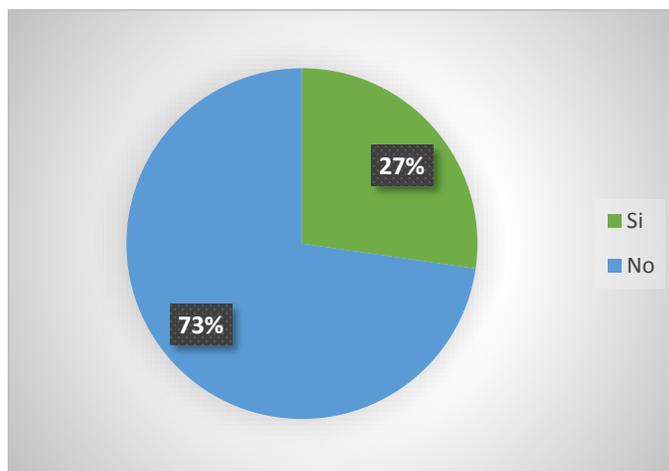


Figura 30. Porcentaje de escuelas universitarias que cuentan con un programa establecido para el desarrollo de la metodología BIM

Por otro lado, las otras ocho unidades académicas son en su mayoría las que desarrollan profesionales en el campo de la ingeniería y la construcción y han empezado a formar comités o grupos de trabajo para discutir la forma en la que van a abordar el tema en los programas de estudio. Como se observa en la Figura 31, la mayoría de las unidades académicas se encuentran en un proceso de transición o cambios dentro de las mallas curriculares en donde forma parte de los cambios la implementación del BIM en los cursos de dibujo y en las áreas de administración de proyectos.

Otro de los esfuerzos a resaltar es el desarrollo de un laboratorio de construcción virtual en una de las instituciones, el cual permitirá dar apoyo a varios cursos de ingeniería. Además, se ha evaluado la aplicación dentro de los cursos de postgrado, en varias instituciones, donde los profesionales puedan actualizarse y formarse dentro de los campos de trabajo BIM. Otros cursos se han basado en el uso de herramientas de modelación. Tres instituciones ya están trabajando en la elaboración de programas de certificación en BIM incluyendo la incorporación de un centro de entrenamiento de Autodesk con el propósito de asegurar la calidad del programa de capacitación.

Si bien estos esfuerzos se han incrementado en el último año con la participación del sector privado, todavía falta una verdadera integración dentro de la formación profesional de todas las unidades académicas. No obstante, en la mayoría de los casos ya cuentan con cursos y

software especializados, la distribución de estos se muestra en la Figura 32 y en la Figura 33, respectivamente.

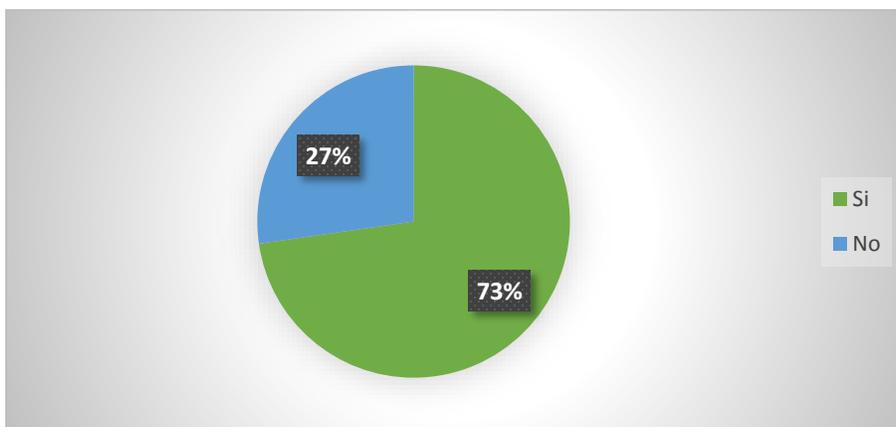


Figura 31. Porcentaje de las unidades académicas que están realizando modificaciones en el plan de estudio.

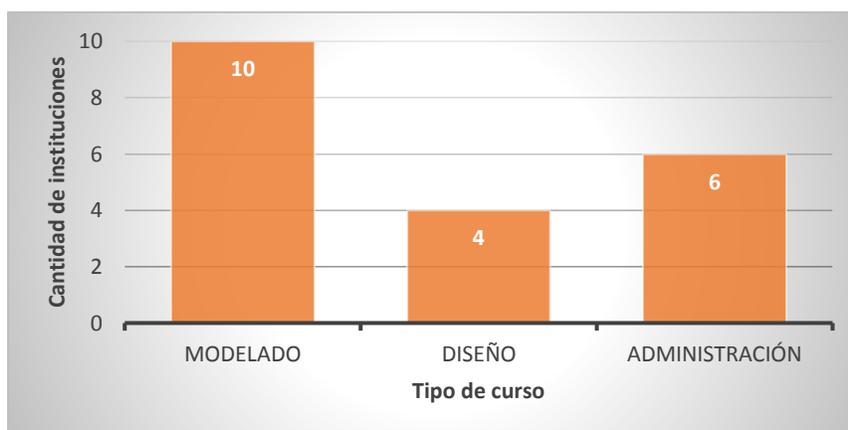


Figura 32. Tipo de cursos en los que se utilizan herramientas BIM dentro de las instituciones académicas.

Como se puede observar, el enfoque que se le ha dado es principalmente de modelación. No obstante, algunas instituciones los han empezado a utilizar para cursos relacionados con el diseño vial, estructural o el arquitectónico. Además, se está utilizando software en el área de administración para el cálculo de presupuestos y la planificación de proyectos los cuales pueden ser incorporados dentro de las herramientas BIM.

En el caso del software que se está implementando, todas las instituciones utilizan programas de modelación para obtener con mayor facilidad representaciones en 2D. Muy pocas tienen la capacidad de realizar trabajos analíticos o de representación tridimensional con programas de renderizado para la generación de información y flujos de trabajo en BIM.

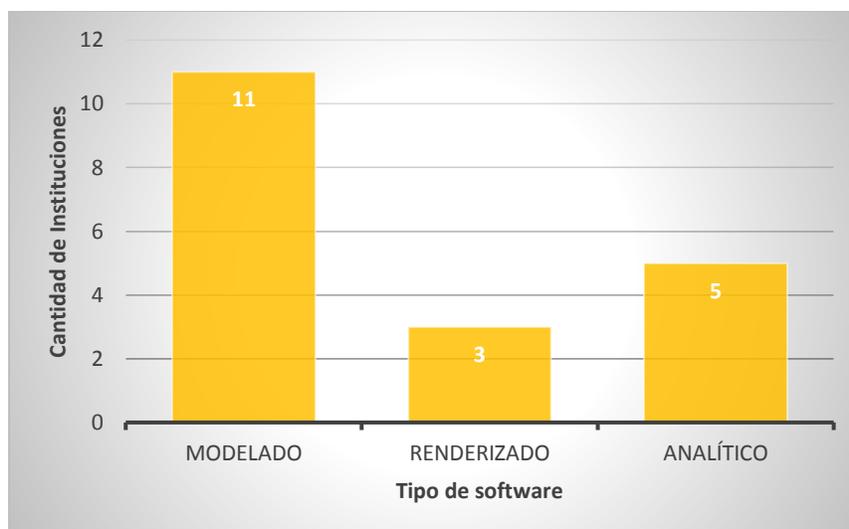


Figura 33. Tipo de software utilizado en los diferentes cursos de las unidades académicas.

Se debe mencionar que ninguna de las instituciones está trabajando en la enseñanza de procesos o estándares dentro de las formas de trabajo BIM de manera concreta. En algunos casos, las entidades académicas solicitan cooperación del sector privado debido a su experiencia en esta materia.

Como se muestra en la Figura 34; son muy pocas las instituciones que han realizado avances en la línea de investigación BIM. Y los trabajos de investigación que se han realizado se basan principalmente en un análisis básico de los beneficios de la metodología, usos dentro de la administración de proyectos y elaboración de representaciones gráficas. Solo una institución ha desarrollado trabajos utilizando la herramienta como un medio para la investigación en diferentes temas, en donde los estudiantes aplican sus conocimientos y las herramientas BIM son utilizadas para el análisis, la visualización y la documentación.

Dentro de la experiencia que tienen los profesionales del sector académico, se les preguntó cuáles eran los puntos de mejora o los recursos en los que deben invertir para impulsar un mayor desarrollo de capital humano con conocimientos en BIM. Como se muestra en la Figura 35; la mayoría de los centros de estudio indicaron que cuentan con centros de cómputo aptos para el uso de las herramientas tecnológicas que se requieren para la enseñanza de la metodología y también que estaban trabajando en la integración de los programas de estudio.

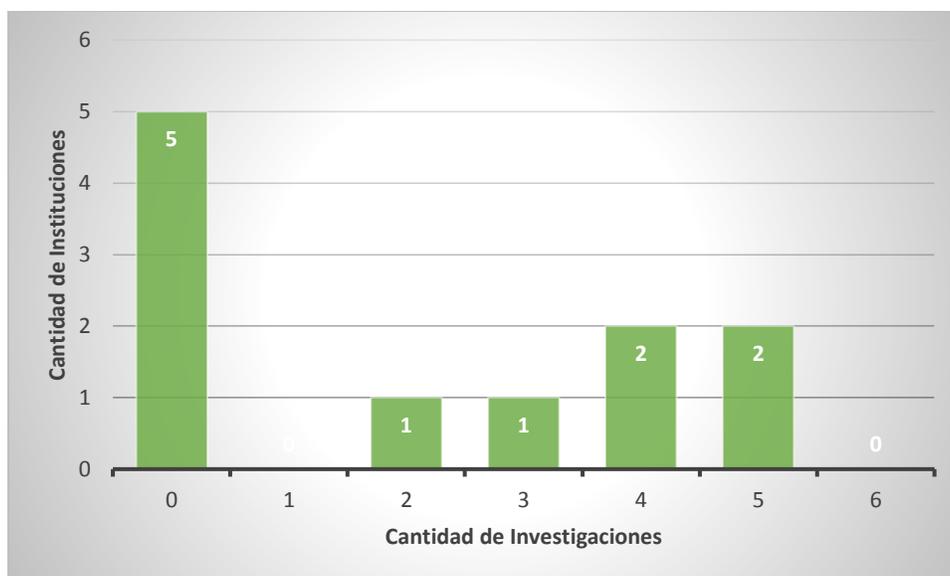


Figura 34. Cantidad de trabajos de investigaciones realizadas entre las diferentes unidades académicas.

No se observa una cultura colaborativa en este campo, dado que pocas entidades apoyaron la generación de grupos de trabajo y la realización de charlas o foros para la implementación de la metodología BIM a nivel nacional.

Finalmente, se indicó que el mayor punto de mejora es el de la capacitación de los docentes. Un aspecto importante porque durante las entrevistas se mencionó que el sector académico ha tenido un avance muy lento en comparación con los demás sectores, además de que para poder cubrir el tema se requiere capacitar a los que imparten los cursos o integrar profesionales con experiencia en BIM dentro de las unidades académicas.

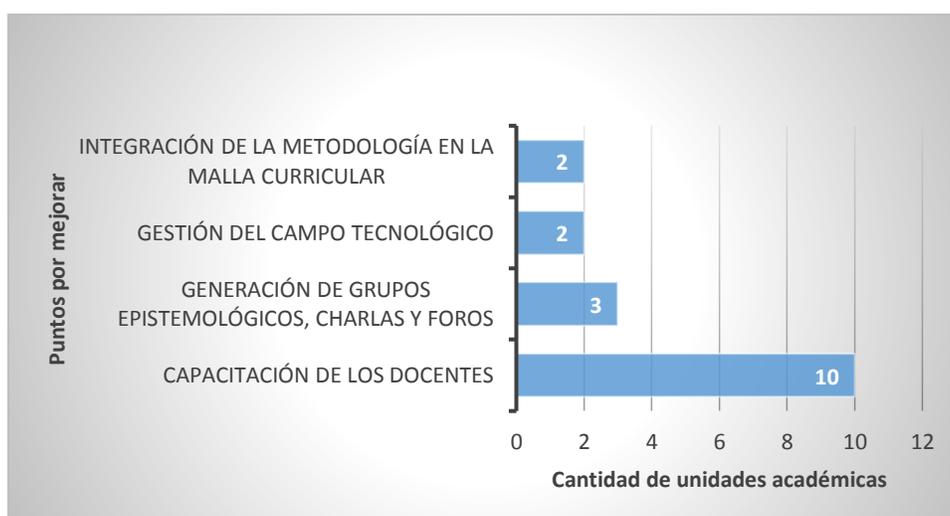


Figura 35. Recursos que se buscan dentro de las unidades académicas para apoyar la generación de capital humano dentro de la metodología BIM

Se debe indicar la importancia para los entrevistados de promover la colaboración de las empresas públicas y privadas con las entidades educativas para impulsar el desarrollo de esta metodología, y a su vez que las instituciones educativas puedan proveer personal capacitado a las empresas y dar colaboración a otras carreras.

3.2. Breve descripción de las capacidades actuales en el uso de la metodología BIM del sector privado.

En Costa Rica, el sector privado es el que cuenta con mayor experiencia en la metodología BIM y le da apoyo al sector público. Un ejemplo de esto es la conformación del BIM Fórum por parte de la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC), la cual ha venido trabajando desde el año pasado en varios esfuerzos que apoyan su uso.

Entre los acuerdos del BIM Fórum estaba constituirse como una sociedad anónima para incorporar membresías y afiliaciones, de manera que no solamente los miembros de la CCC pudieran tener acceso al grupo. Dentro de las líneas de trabajo se encuentran:

- Apoyó a la Oficina de la Primera Dama, la arquitecta Claudia Dobles para la fecha de elaboración de este informe, en la elaboración de un PlanBIM Costa Rica para que se establezca como una política del Estado. La comisión no se ha formado oficialmente, pero se está solicitando la integración del sector privado, el CFIA, y la academia. El interés que tienen para apoyar los esfuerzos de casa presidencial muestra parte de la prioridad que se le está dando a la innovación en el sector de la construcción.
- Generación de capacitaciones para la actualización de los profesionales en el campo de la construcción. Es de la opinión de algunos entrevistados que en la actualidad hay profesionales con limitada capacitación en BIM, específicamente en el área de modelado que están ejerciendo roles para los que se requieren otros tipos de capacidades. Se espera que, si el Estado adopta esta metodología se generen lineamientos o políticas que exijan y faciliten la capacitación adecuada para su correcta aplicación en beneficio tanto público como privado. En mayo del 2019, se realizó una capacitación de la Asociación Americana de Contratistas Generales (AGC, por sus siglas en inglés) que instruyó a 60 profesionales en el uso de la metodología BIM basados en la parte de la administración.
- Elaboración de una biblioteca virtual BIM en conjunto con el sector industrial, donde se pueda tomar información de una gran cantidad de elementos y aplicarlo directamente a las bases de datos, lo que puede facilitar algunos aspectos dentro de los proyectos. Para

esto también hay que generar protocolos, certificación de modeladores para generar familias y el uso de diferentes plataformas, es decir, mantener un estándar IFC y no cerrar el mercado a una sola casa de herramientas.

- Realizar actividades donde se puedan invitar a un gran número de personas interesadas para intercambiar experiencias y fomentar la aplicación del BIM en los proyectos de construcción. En este campo, se planificó un congreso BIM que se va a desarrolló el 13 y 14 de junio del 2019.

Como se observa en la Figura 36, la distribución del tipo de empresas con las que se logró tener contacto fue variada dentro de los actores más relevantes para los proyectos de construcción. Se habló con 2 consultores BIM de amplia experiencia en el desarrollo de la metodología que han dado capacitaciones y ayudado a otras empresas en su proceso de adopción. Dentro de la categoría de diseñadores se contactó con empresas de arquitectura, diseño estructural, diseño vial y diseño electromecánico.

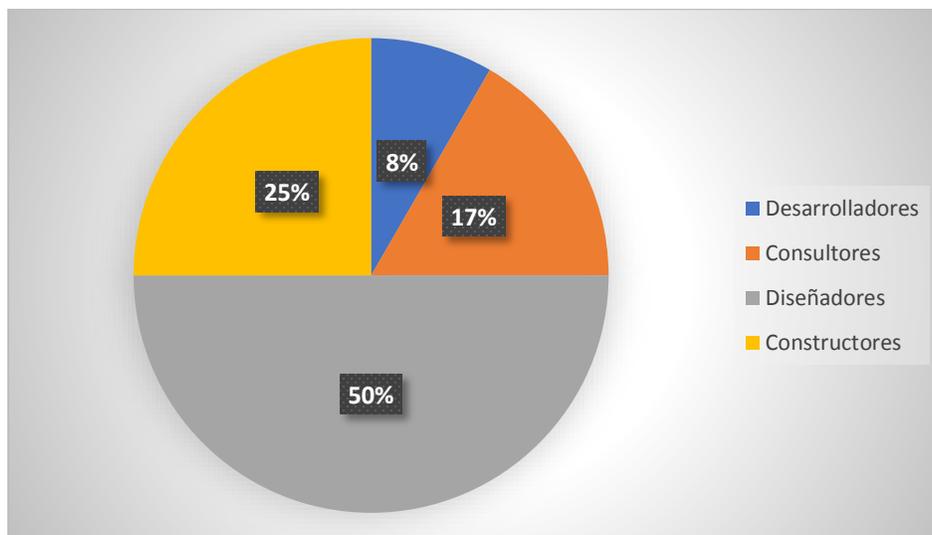


Figura 36. Distribución del tipo de empresas entrevistadas del sector privado.

En cuanto a las consideraciones de la implementación de esta metodología; indicaron que han estado apoyando mediante capacitaciones, a algunas instituciones públicas como la CCSS, el CONAVI y el despacho de la primera dama en donde se han desarrollado algunas reuniones para impulsar una política nacional.

Uno de los consultores opina que debe haber una comisión de alto nivel que integre a los diferentes sectores de tal manera que todos los actores trabajen de forma coordinada, generando

sinergia, para impulsar la implementación de la nueva metodología. Las siguientes son algunas recomendaciones para formular la hoja de ruta:

- Se debe desarrollar una matriz de roles propia, no copiada de otros países más desarrollados, de tal manera que se puedan homogeneizar los criterios y se puedan regular las capacidades de los profesionales.
- Analizar la incorporación de la filosofía LEAN dentro de la implementación del BIM, ya que esta trabaja sobre el eslabón más débil de un proyecto de construcción.
- Generar un estándar nacional para que todas las empresas trabajen bajo el mismo esquema y no se tengan problemas de interoperabilidad.

A continuación, se presenta la descripción general del sector privado al aplicar el modelo del punto de adopción explicado en el marco teórico.

El primer paso es conocer las capacidades mínimas de las empresas en el uso de la metodología BIM dentro de las etapas de modelación, colaboración e integración. Estos resultados se pueden observar en la Figura 37, que muestra la cantidad de empresas que cumplen con capacidades mínimas y su grado de madurez.

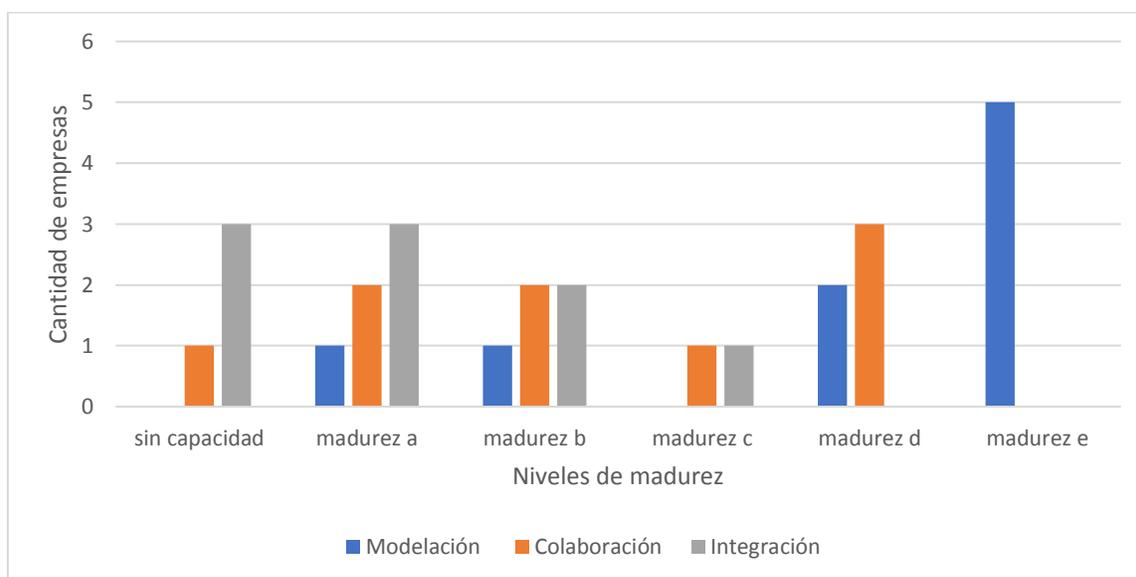


Figura 37. Calificación de las capacidades obtenidas para cada una de las empresas dentro de las diferentes etapas de capacidad.

Como se puede observar, las 9 empresas evaluadas ya han empezado a trabajar dentro de sus capacidades de modelación. En algunos de estos casos, todavía se trabaja en proyectos piloto para ir adaptándose al uso de la metodología y otros ya logran un gran manejo de la

información donde utilizan los modelos en la mayor parte de los proyectos donde su mayor aporte es la estimación de los costos o la planificación del proceso constructivo.

En el avance de la etapa colaborativa, se determinó que el nivel de madurez máximo alcanzado es inferior al de la etapa anterior. Se lograron identificar proyectos en donde actores importantes como los constructores y diseñadores trabajan de manera activa en la fase de diseño y construcción. Otra característica es que se están empezando a compartir los modelos de una manera no estandarizada y la existencia de dudas sobre la propiedad intelectual. En el aspecto contractual, se ha incorporado el uso Planes de Ejecución BIM para establecer los alcances en el uso de la metodología, las responsabilidades de los actores de proyecto y la definición de estándares a utilizar; la mayoría se ha basado en las publicaciones del BIM Fórum de Estados Unidos. Se debe aclarar que no hay una gran cantidad de empresas que funcionen como gestoras de la parte BIM en los proyectos, son las constructoras (con mayores capacidades y conocimientos) las que toman el papel de coordinación para la gestión de la información en BIM.

Finalmente, la etapa de integración es en la que se encontró un menor desarrollo, impulsado principalmente por empresas en el área de diseño y que realizan trabajos en proyectos fuera del país. Además, los entrevistados del sector privado indicaron que son muy pocos los clientes con conocimientos de la metodología y no se aprovecha el potencial de las capacidades BIM actuales; esto se ve reflejado en la nula aplicación en las etapas de operación y mantenimiento.

Para describir las capacidades mínimas que poseen la mayoría en el sector privado, se realizó una estimación en porcentajes de manera acumulativa. Se consideró como el nivel de madurez general, aquel que pueda desarrollarse por del 50%, este análisis se muestra en la Figura 38.

En el caso de la etapa de modelación basada en objetos se puede observar que un 56% de las empresas entrevistadas, lograron alcanzar un nivel de madurez "e" que implica un amplio desarrollo dentro de esta etapa. Para las etapas de integración basada en la red y colaboración basada en modelos, el 67% se pueden desarrollar en un nivel de madurez "a" y "b", respectivamente. Estos resultados representados de manera gráfica dentro del modelo del punto de adopción se visualizan en la Figura 39.

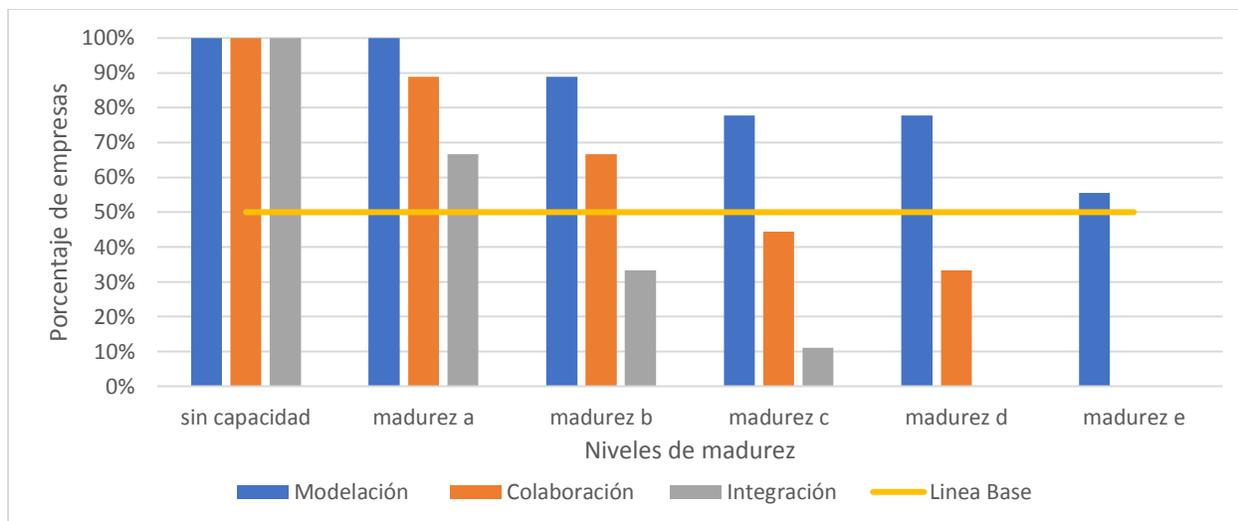


Figura 38. Porcentajes de las empresas que se pueden desarrollar los distintos niveles de madurez para las etapas de capacidad.

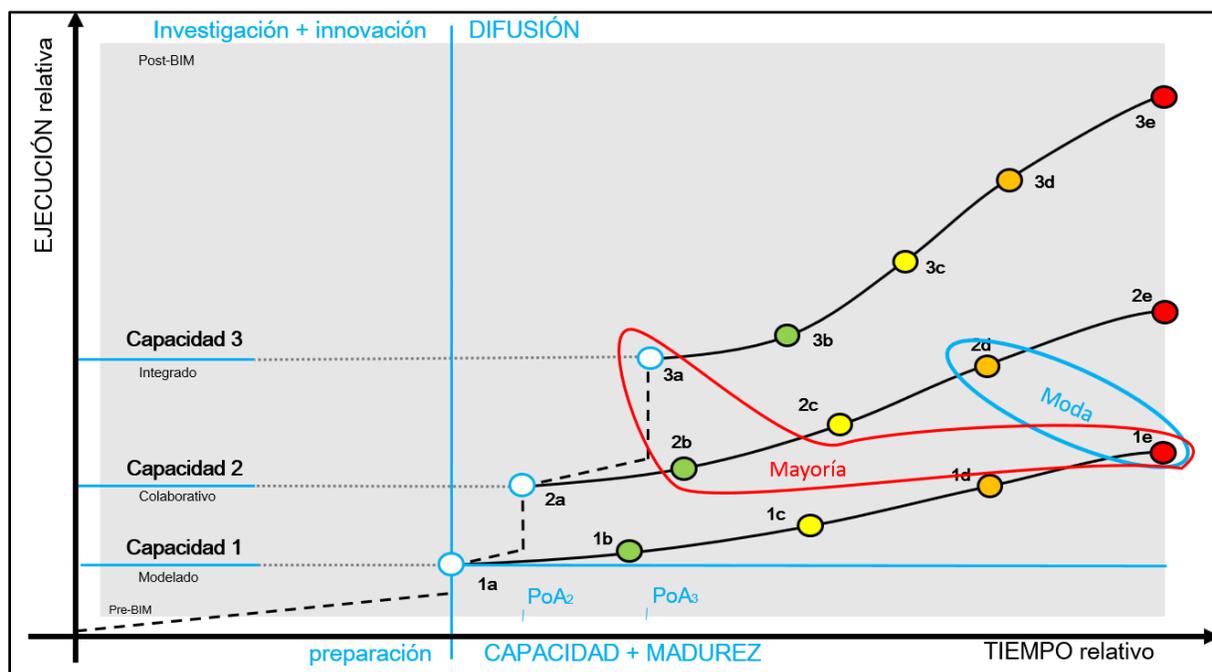


Figura 39. Resultado del modelo del punto de adopción para el sector privado.

En el modelo se muestra una comparación entre la moda para cada uno de los estados de capacidad y la estimación las capacidades que pueden desarrollar la mayoría de las empresas encuestadas. De manera conservadora, se consideró que las características generales se debían adaptar a las capacidades de la mayoría simple.

Como se puede observar ya el sector paso de la etapa Pre-BIM, en donde se deben realizar las investigaciones y desarrollar inversiones necesarias en el proceso de adopción de la nueva

metodología. Además, se han alcanzado los tres puntos de adopción claves, obteniendo capacidades mínimas dentro de las tres etapas que presenta el marco de referencia. Inclusive han desarrollado su madurez en las etapas de modelación y colaboración, siendo la primera la que más madurez ha ganado.

De esta manera se puede decir que, la mayoría de las empresas evaluadas ya han acabado sus proyectos piloto donde se utilicen herramientas de modelación basada en objetos para trabajar. Además, se han integrado los campos de la tecnología, los procesos y, en menor medida, las políticas de la metodología BIM dentro de las estrategias organizacionales y se alinearon con los objetivos de negocio, algunos de los entrevistados indicaron que la metodología BIM se ha empezado a usar en las estrategias de marketing por la creciente popularidad. Se observaron procesos de revisiones continuas para beneficiarse de la innovación en el campo y alcanzar los objetivos de desempeño más altos.

En relación con aspectos colaborativos, se empezaron a desarrollar trabajos conjuntos mejorando la confianza y el respeto mutuo entre los actores involucrados. La colaboración es reactiva, principalmente solicitada por empresas constructoras o arquitectos, que son las que han visto mayor beneficio. Muchas de estas empresas son vistas como las encargadas de llevar la coordinación BIM.

Como se mencionó anteriormente, el sector apenas está dando sus primeros pasos en la etapa de integración. En estos momentos los modelos son desarrollados por un limitado grupo de participantes del proyecto, utilizando guías para los procesos y estándares no predefinidos (la mayoría utilizan estándares estadounidenses) y en algunos casos falta detallar cuales son las funciones y responsabilidades de los diferentes participantes. Hay empresas que han empezado a trabajar e invertir en conjunto para desarrollar sus propios estándares, pero los consultores entrevistados mencionaron que es recomendable esperar a que se desarrolle una estandarización a nivel nacional.

También se observa que hay un proceso de difusión dentro de las empresas donde el personal colabora con otros departamentos y estimulan la aplicación del BIM en sus labores. El alcance de la difusión ha generado interés en otras empresas que inician con la etapa de investigación e innovación para desarrollar su propio proceso de implementación. Los entrevistados indicaron que el Congreso de la Construcción del año 2018 se enfatizó en la

metodología BIM y fue un impulso importante que estimuló el interés de todo el sector de la construcción.

Como todas las empresas consultadas han desarrollado capacidades en la metodología BIM, se indagó en los tres campos (tecnologías, procesos y políticas) que afectan su implementación dentro de cualquier organización. Todas las empresas pasaron el punto de adopción, solamente una tenía las capacidades, pero no la madurez y por eso no se indagó sobre sus campos BIM.

En la Figura 40, se presentan los resultados del campo tecnológico. Se subdividen en las áreas de software, hardware y red. Se identificó una mayor madurez en aspectos de hardware ya que la mayoría de las empresas tienen un nivel de madurez entre "d" y "e". Los aspectos relacionados con software tienen una madurez menor, donde la gran mayoría de las empresas tiene un nivel de madurez entre "c" y "d". Por último, las soluciones de red tienen el menor crecimiento destacando nivel de madurez de "b", como el más frecuente dentro del sector.

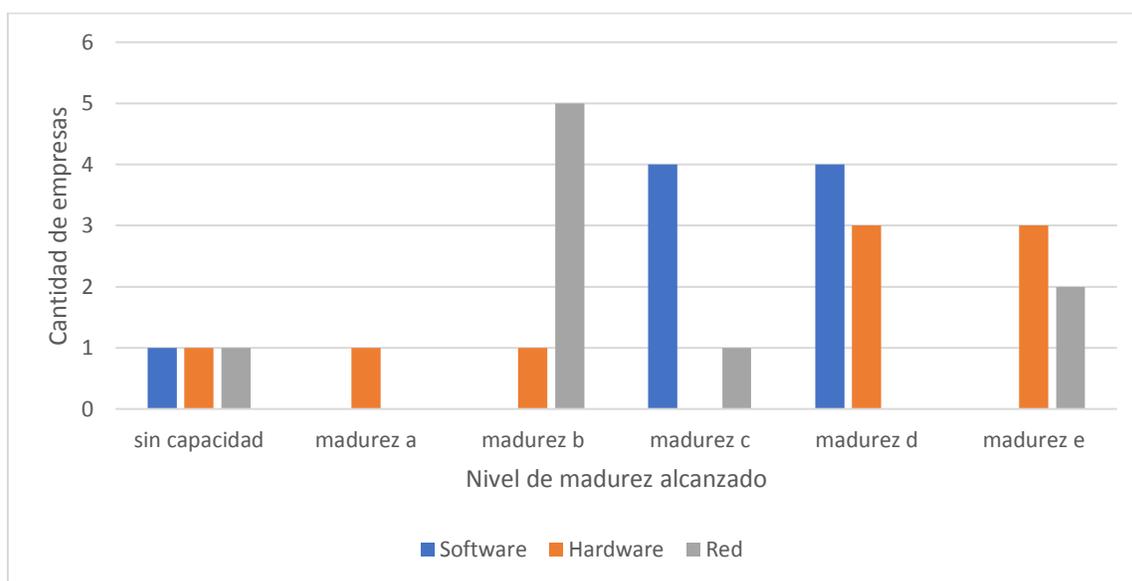


Figura 40. Distribución de las empresas por nivel de madurez en el campo de la tecnología.

Al igual que en el análisis de las capacidades generales del sector privado, se estimó la madurez mínima de la mayoría de las empresas entrevistadas para tomarla como base de referencia, este paso se realizó para los tres campos BIM. El resultado del campo de tecnologías se puede observar en la Figura 41, se estimó que un 89% de las empresas encuestadas pueden desarrollar un nivel de madurez "c" en el área de software, el 67% tienen como mínimo un nivel

de madurez "d" en hardware y el 89% de las organizaciones logran desenvolverse en un nivel de madurez "b" relacionado con las soluciones de red.

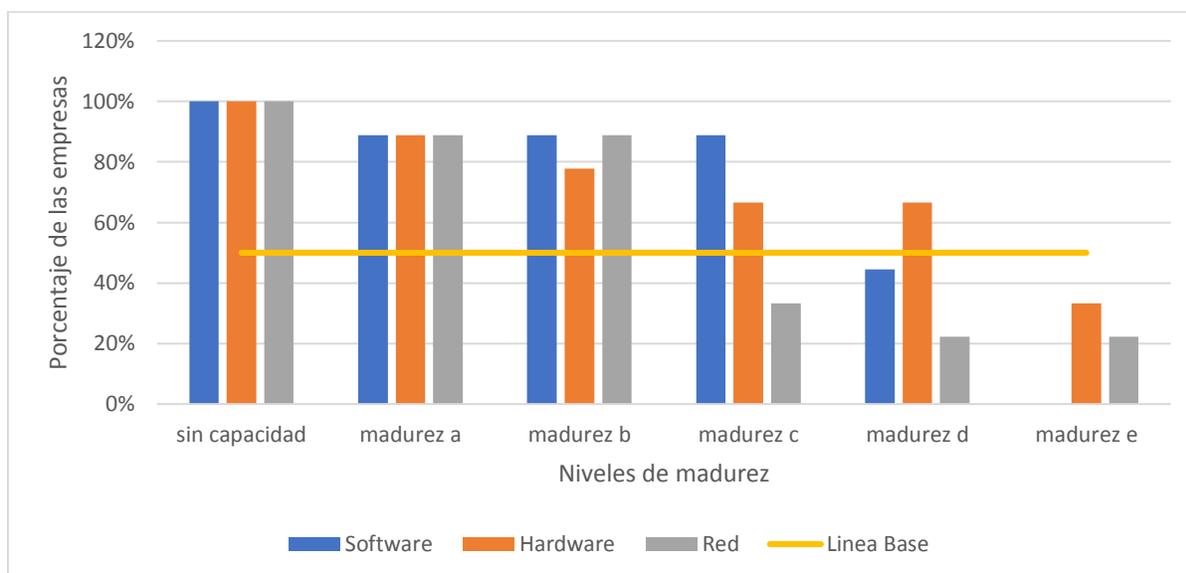


Figura 41. Porcentajes de las empresas que se pueden desarrollar los distintos niveles de madurez en las diferentes áreas del campo tecnológico.

El campo de los procesos se subdivide en las áreas de recursos, actividades o flujos de trabajo, productos, servicios, liderazgo y gestión. Los resultados se pueden observar en la Figura 42. Para realizar el análisis general de las capacidades mínimas, se presenta la Figura 43.

Para el área de los recursos físicos del ambiente laboral, se observa que las empresas obtuvieron un nivel de madurez "e", pero la mayoría se ubica en los niveles "c" o inferiores. En los aspectos relacionados con las actividades y flujos de trabajo la mayoría se aprecia que hay dos grupos importantes que se desarrollan en los niveles "b" y "e", mientras que el resto apenas inició a trabajar en esta área. En el caso de los productos y servicios tiene un comportamiento más distribuido entre los niveles de madurez, en donde la mayor cantidad de empresas se concentra dentro de los niveles de madurez del "c" al "e". Para el caso de liderazgo y gestión se identificó con mayor frecuencia un nivel de madurez "b" entre las empresas entrevistadas mientras que el resto de las empresas obtuvieron un nivel de madurez mayor.

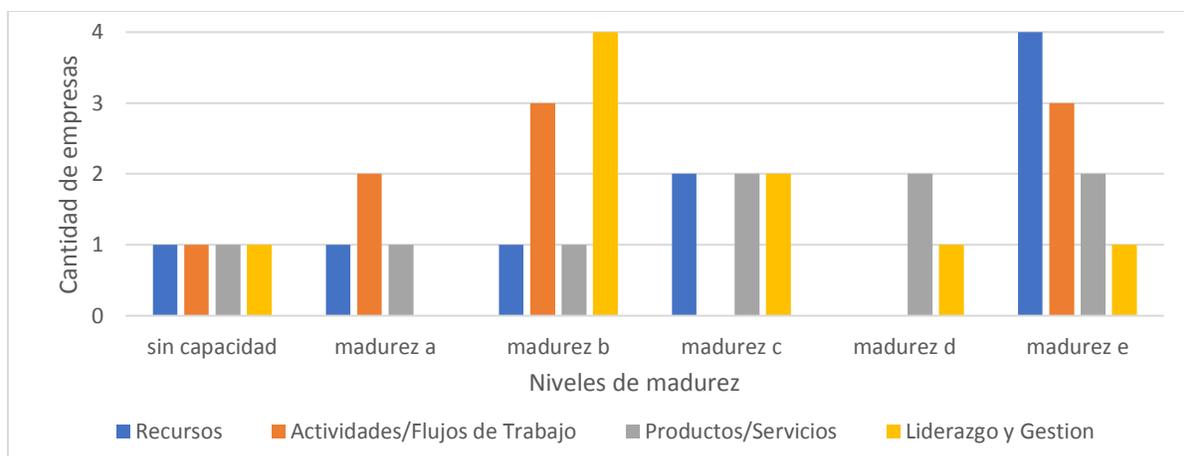


Figura 42. Distribución de las empresas por nivel de madurez en el campo de los procesos.

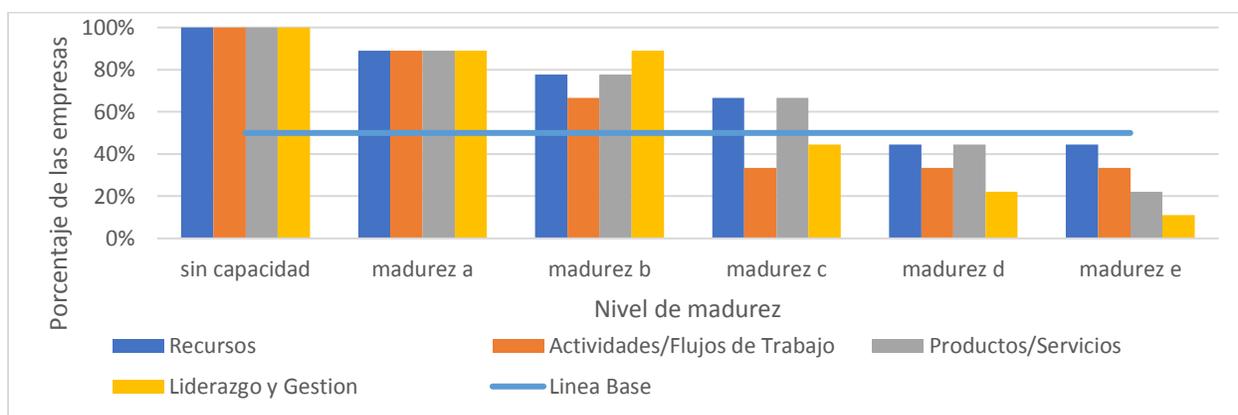


Figura 43. Porcentajes de las empresas que se pueden desarrollar los distintos niveles de madurez en las diferentes áreas del campo de los procesos.

En este caso se observa que un 67% de las empresas pueden desarrollar un nivel de madurez "c" para el área de recursos y también para los productos y servicios. En el caso del área de actividades y flujos de trabajo se estima el mismo porcentaje (67%), pero para un nivel de madurez "b". La última área en el campo de los procesos es la de liderazgo y gestión en la que el 89% de las empresas entrevistadas pueden desarrollar las características de este nivel de madurez "b".

Finalmente, el campo de las políticas se divide en las áreas preparatorio, regulatorio y contractual. Como puede observarse en la Figura 44, el área de mayor avance que se encontró fue el Preparatorio, en donde se obtuvo un nivel de madurez "e" con mayor frecuencia. Se pudo conocer que una empresa inclusive utiliza las capacitaciones para animar al personal con cursos que pueden ser llamativos dependiendo de los gustos personales.

El área Contractual fue el que obtuvo el segundo nivel de madurez más alto, el nivel de madurez "b" fue el que obtuvieron las empresas entrevistadas con mayor frecuencia. Algunos entrevistados relacionaron el poco desarrollo en la parte contractual a que los trabajos colaborativos se han desarrollado de manera reciente y todavía actores como los clientes, se integran de una manera más activa en los flujos de trabajo BIM.

Con el menor nivel de madurez se encuentra el área regulatoria donde se obtuvo una calificación de "a" con mayor frecuencia. La opinión de la mayoría de los entrevistados es que falta un estándar o marco de referencia legal para el manejo y uso de la información. Se identificó la formación de asociaciones entre empresas para hacer sus propios estándares basándose en documentos de otros países.

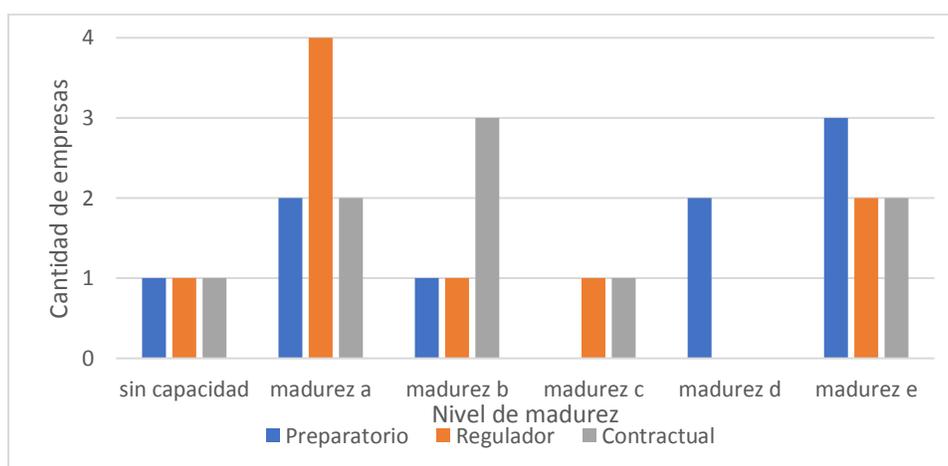


Figura 44. Distribución de las empresas por nivel de madurez en el campo las políticas.

El resultado del análisis para determinar el nivel de madurez mínimo de la mayoría de las empresas entrevistadas se puede observar en la Figura 45. El 56% de las empresas pueden desarrollar un nivel de madurez "d" en el área preparatoria. Para el caso de las áreas contractual y regulatoria, los resultados indicaron que el 67% podían desarrollar un nivel de madurez "b".

Se procedió a resumir las características que engloban al sector privado basados en las empresas encuestadas. En la Figura 46 se puede observar que el comportamiento de la moda y de la mayoría son similares, pero se muestra un menor nivel de madurez para este último caso. Por lo tanto, la descripción se realizará tomando como base el nivel de madurez que puede desarrollar la mayoría.

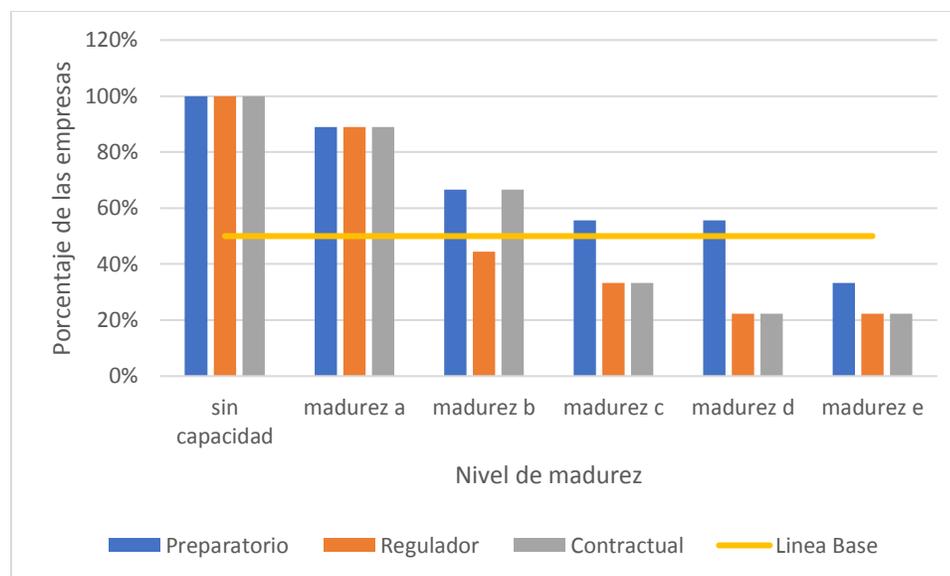


Figura 45. Porcentajes de las empresas que se pueden desarrollar los distintos niveles de madurez en las diferentes áreas del campo de las políticas.

Para el campo de las tecnologías, la mayoría de las empresas tiene un sistema de selección de software bien definido y su uso depende de las funciones que tenga el personal. Por lo general se utiliza el mismo desarrollador de software con algunas pequeñas variaciones, pero todas siguen una línea similar. Los modelos están siendo utilizados para generar representaciones 2D y 3D con mayor facilidad, así como desarrollar cuantificaciones, estudios analíticos y coordinación entre las diferentes disciplinas. El uso, almacenamiento e intercambio de datos está monitoreado de manera rudimentaria en la mayoría de los casos, pero ya se están incorporando plataformas especializadas. Si bien el intercambio de datos interoperables no es obligatorio de manera explícita, gran parte de las empresas entrevistadas lo hacen.

En el caso del Hardware, las empresas presupuestan y estandarizan el equipo que se debe utilizar. La selección de equipos se basa en los requerimientos indicados por las empresas de software o mayores y su enfoque es en permitir un trabajo fluido, utilizando los equipos BIM como facilitadores. La planificación de las inversiones en este rubro no es anual, las empresas entrevistadas indicaron que la inversión puede tener una vida útil de 2 años o más con el mantenimiento adecuado.

Con relación a las soluciones de Red, se identificó el uso de plataformas generales para compartir información y controlar el acceso. Además, se está empezando a identificar la información requerida en el modelo para el trabajo conjunto de los involucrados en los proyectos.

No obstante, el ancho de banda que se utiliza es limitado en algunas de las oficinas de las empresas entrevistadas.

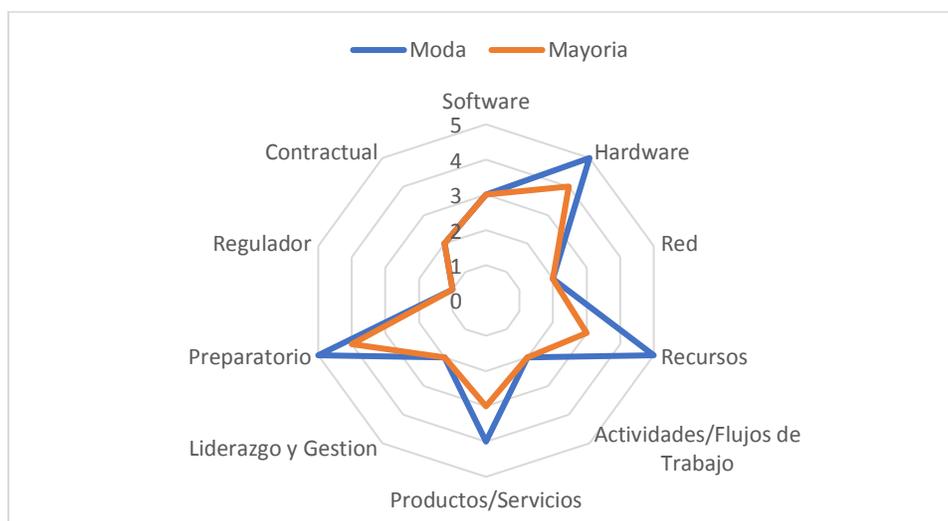


Figura 46. Resumen de las características que presentan los campos que impactan en la implementación del BIM del sector privado.

En el campo de los procesos, los líderes de la mayoría de las empresas cuentan con una visión general en común sobre la metodología BIM, en esta visión se reconoce primordialmente como una corriente de cambio tecnológica. No obstante, ya se han tomado en consideración los procesos y las políticas de las empresas encuestadas durante el proceso de adopción. Uno de los entrevistados resaltó que el impacto que ha tenido la introducción de la metodología BIM en la organización ha generado cambios en todos los departamentos. En la mayoría de los casos se reconocen las oportunidades de negociación derivadas del uso de la metodología, resultando en su uso para actividades de marketing por parte de las empresas.

Otra característica importante es el reconocimiento de la infraestructura física como un factor importante que afecta la motivación y la productividad, cabe aclarar que hay una gran dificultad para modificaciones del entorno de trabajo. El recurso del conocimiento también empieza a tener un gran valor en el que se está empezando a gestionar mediante documentos que muestren las lecciones aprendidas y de esta manera poder desarrollar madurez en su aplicación para los futuros proyectos que se vayan a desarrollar.

En los flujos de trabajo de las empresas encuestadas, cada proyecto BIM se planifica de manera independiente y sus roles se definen mediante el uso de un BEP en donde también se incorporan los estándares (principalmente los generados en EE. UU.) que se deben cumplir por

parte de las involucradas en los proyectos. Se aprecia una disminución en la actuación de los promotores BIM al ir desarrollando experiencia y capacidades dentro de las empresas.

En el caso del campo de las políticas, la mayoría no cuenta con estándares definidos, directrices BIM o protocolos para la documentación. Los planes de control de calidad no se estandarizan y no existen referencias de mercado bien establecidas para realizar la comparación en cuanto a procesos, productos y servicios. Las políticas de formación no están documentadas, pero la formación se integra dentro de las estrategias organizacionales y los objetivos de desempeño. La mayoría de las empresas encuestadas realizan capacitaciones en las funciones del personal y estas están integradas dentro de los canales de información y conocimiento. A pesar de que se están desarrollando BEPs, no se tiene un uso riguroso de los mismos.

En síntesis, la descripción de las capacidades y la madurez dentro del campo BIM muestra que el sector privado todavía tiene un camino largo que recorrer hasta llegar a una implementación total de la metodología BIM. Dentro de las empresas entrevistadas se pudo observar que la mayoría tienen aproximadamente 3 años de haber empezado invertir en esfuerzos importantes para la implementación de la metodología BIM y el número de proyectos entre las empresas es considerable, siendo las empresas de diseño las que más proyectos han desarrollado con la ayuda de algunas herramientas en BIM.

3.3. Estado actual de la implementación de la metodología BIM en el sector público

Con el objetivo de desarrollar una estrategia centralizada para implementación del BIM en proyectos de obra pública, se indagó sobre los esfuerzos por parte del sector público y las capacidades que tienen las instituciones relacionadas con la aplicación de la metodología. En este caso, se entrevistó a 21 instituciones que participan de manera directa o indirecta la ejecución de los proyectos de obra pública y se les evaluó a partir de la metodología del punto de adopción al igual que se hizo con las empresas del sector privado.

Se destaca los esfuerzos realizados por Casa Presidencial de la administración actual, específicamente desde la oficina de la Primera Dama que se ha incorporado dentro de la red de colaboración BIM que promueve el BID. Los esfuerzos se iniciaron a partir de las discusiones para la ejecución del proyecto de Circunvalación Norte, en mayo del 2018, para coordinar a los actores involucrados. A partir de esta mesa se vio la necesidad de capacitar al sector público en una

mejor forma de gestionar los proyectos de la construcción. En el 52% de las entidades públicas entrevistadas se hizo referencia a que no existe una gestión de proyectos real dentro de las inversiones en obra pública. Los entrevistados mencionaron que existe una mala planificación de estos, que la influencia política pesa más que las opiniones técnicas, se carece de políticas de conservación de la infraestructura y no hay una clara visión a largo plazo en la planificación de la obra pública.

Relacionado a este tema, durante la entrevista con el Mideplan, se indicó que, en la práctica, no hay muchos profesionales capacitados en la gestión de proyectos y este es uno de los desafíos más importantes en la actualidad. A nivel general, no hay un análisis completo de la prefactibilidad ni la factibilidad de los proyectos y en el proceso de contratación administrativa solo se ven términos generales, contratos y diseños. Se menciona que han surgido intentos para mejorar, pero se requiere de una mayor coordinación entre el Mideplan, el Ministerio de Hacienda y la Contraloría General de la República para garantizar que los entes encargados de regular las inversiones públicas tomen decisiones de manera conjunta y articulada.

A partir de las necesidades identificadas, se coordinó con la ministra del Mideplan para desarrollar el proceso de las capacitaciones y es en este momento donde el BID, invita a la oficina de la Primera Dama para conocer la red de países para apoyarse en el proceso de la implementación de metodología BIM, cuyo encuentro se desarrolló en el mes de noviembre del 2018 en Brasilia.

El objetivo del BID fue incentivar a los países para que desarrollen una política pública, como en el caso de Chile, para tener una estrategia de trabajo en BIM. Actualmente están trabajando bajo esta metodología: un hospital en Bolivia y el tramo San Gerardo-Barranca en Costa Rica. Ambos proyectos están en la etapa de preparación.

Siguiendo con los esfuerzos desarrollados por la oficina de la Primera Dama, en febrero del 2019 se tuvo la visita de Carolina Soto quien es presidenta de Corfo, oficina encargada para el desarrollo del Planbim Chile. Se realizaron 4 diferentes actividades, la primera para el público en general en el CFIA, otro con la academia para hablar sobre las mallas curriculares y sobre la necesidad de la capacitación desde la universidad. También se sostuvo una reunión con los funcionarios del Mideplan considerando que la comisión de implementación se estableciera dentro de la Comisión Nacional de Inversiones Públicas que está dentro de esta institución y también se tuvo una reunión con los principales ministros que realizan obra pública en Costa Rica.

De conformidad con lo indicado por personeros de la oficina de la Primera Dama de la República, entre las últimas acciones realizadas sobre BIM; se conformó un grupo que viajó a Santiago en el mes de abril del 2019. Este grupo tenía como fin conocer las experiencias y desarrollar ideas para formular la estrategia en Costa Rica. Para esta misión el grupo fue conformado por representantes del AyA, CCSS, Ministerio de Justicia, MEP, MOPT, MICIT, Presidencia, CFIA, BIM Forum Costa Rica y Mideplan (con la intención de empoderarse y que el proyecto tuviera una larga vida dentro de las fibras técnicas de las instituciones).

Pasando al diagnóstico de las capacidades y la madurez del sector público dentro de la metodología BIM, se les aplicó la herramienta de evaluación a las 15 instituciones públicas que colaboran directamente dentro de la gestión de los proyectos de obra pública.

Como se puede observar en la Figura 47, el 53% de las instituciones no ha desarrollado trabajos iniciales empleando herramientas de modelación. Algunos ejemplos de estas instituciones son: CCSS, MIVAH, INCOFER, CGR, MEP, entre otros. Y solo una de las instituciones públicas entrevistadas, que no han utilizado herramientas de modelación, está analizando si puede desarrollar alguna prueba de concepto.

Instituciones como AyA, CONAVI, MOPT, ICE, ICT (en el Centro Nacional de Convenciones), Correos de Costa Rica y el Registro Nacional si han desarrollado trabajos con el uso de herramientas de modelación. Se destaca el esfuerzo realizado por los dos últimos que tienen como objetivo aplicar la metodología BIM con fines de conservación y mantenimiento de su infraestructura. Además, el uso de los modelos de las empresas que si lo han desarrollado no es tan eficiente como en el caso del sector privado ya que solo 4 de las 7 empresas han utilizado los programas para obtener información básica del proyecto y el resto se quedan en pruebas de concepto.

Es importante destacar que algunas instituciones tienen licencias que permiten el uso de modelos BIM, pero no lo aplican en los proyectos. Esto se debe a que la ley de contratación administrativa les impide solicitar su uso en los carteles de licitación. Igualmente, en algunas instituciones hay licencias de programas BIM que no tienen uso por el desconocimiento del personal o falta de capacitación para su uso.

Otra característica importante del sector público es que ninguna de las instituciones entrevistadas contaba con una estrategia formalmente establecida (con visión, objetivos,

alcances, etc.) para llevar a cabo un proceso de adopción BIM. Como se puede ver en la Figura 48, solamente dos están desarrollando un programa para la implementación dentro de sus proyectos, de la que se rescata el MOPT que va a ejecutar el proyecto piloto el tramo San Gerardo-Barranca en conjunto con el BID.

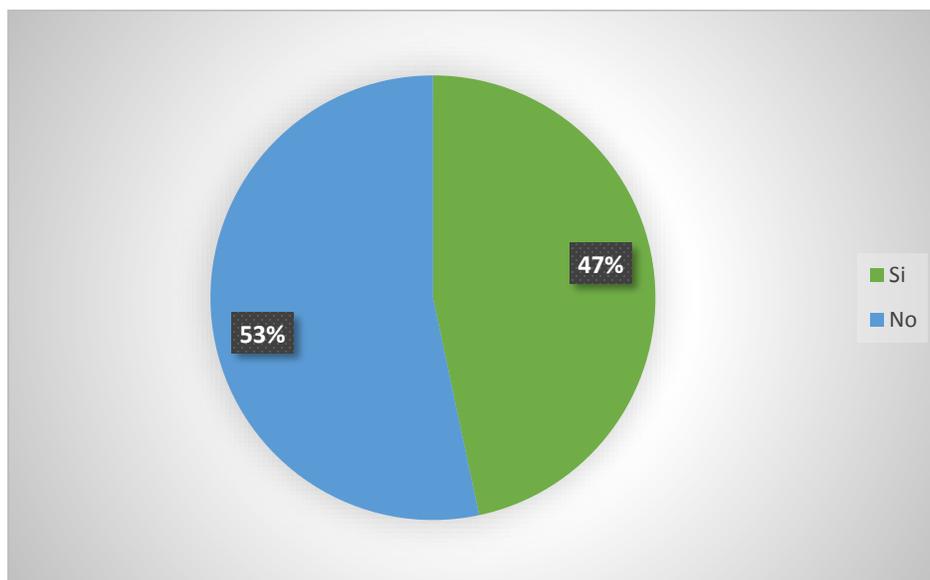


Figura 47. Uso de herramientas de modelación dentro de las instituciones públicas dentro de proyectos.

De las otras 13 instituciones públicas que no tienen un plan de implementación en desarrollo, el 38% está empezando a realizar esfuerzos para desarrollar su respectiva estrategia. Dentro de estas instituciones, las que llevan un mayor avance son Correos de Costa Rica y el ICE. Otras instituciones y departamentos se pusieron a la espera de las decisiones que se tomen desde Casa Presidencial al conocer el interés de formular una hoja de ruta a nivel general para todo el sector.

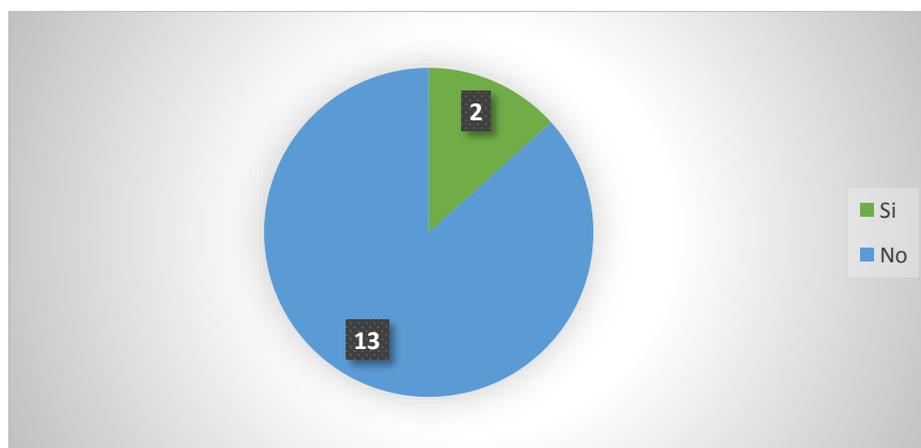


Figura 48. Instituciones con algún tipo de estrategia en desarrollo para la implementación de la metodología BIM.

Debido a que ninguna institución ha completado la fase preliminar dentro del proceso de implementación de la metodología BIM, todo el sector se encuentra dentro de la etapa denominada "Pre-BIM" como se muestra en la Figura 49. Varias de las instituciones entrevistadas están realizando inversiones para obtener nuevos conocimientos y realizar capacitaciones. Cabe destacar que hay 4 proyectos piloto que se han venido desarrollando dentro del sector público a cargo de las siguientes entidades:

- MOPT-CONAVI: están realizando en conjunto con el BID un intento de aplicación de la metodología en el tramo San Gerardo-Barranca. Se espera que el proyecto inicie en los próximos meses y se ha contado con la ayuda del LanammeUCR para capacitar al personal que administrará el proyecto. Además, se contrató a una empresa española para realizar la modelación.
- ICE: se está desarrollando la planificación de un proyecto en el que se contempla el uso de la metodología BIM.
- Aviación Civil: se está solicitando la entrega de un modelo BIM en conjunto con los diseños.
- Correos de Costa Rica: realizando proyectos pequeños por su propia cuenta.

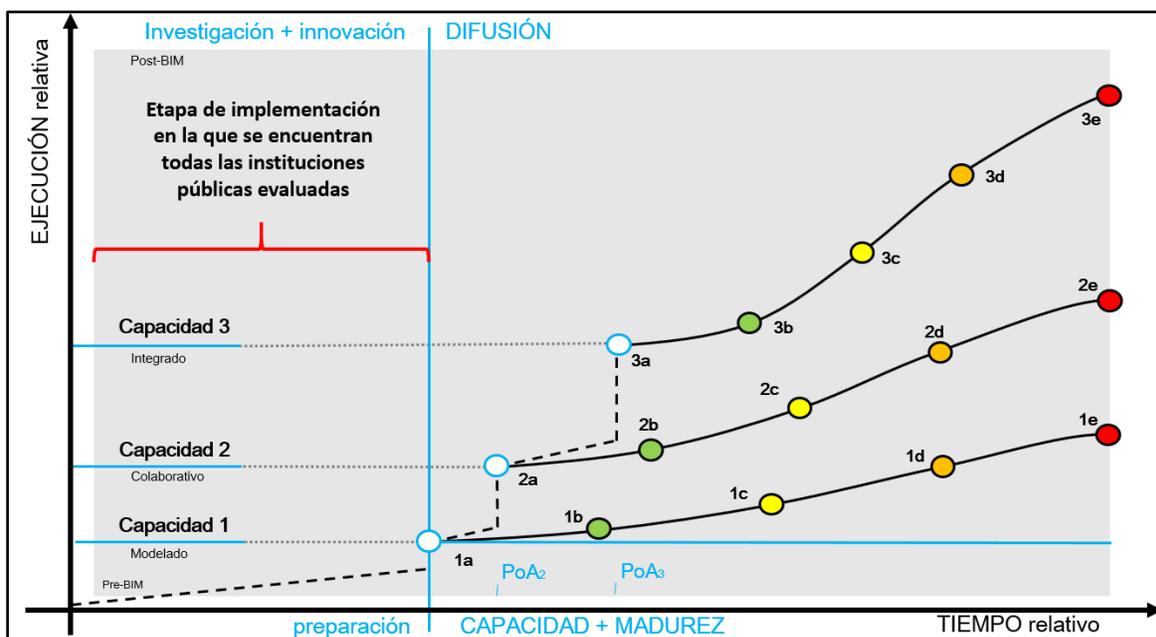


Figura 49. Resultado del modelo del punto de adopción para el sector público.

Adicionalmente, como se muestran en la Figura 50, no se tiene un avance en la madurez dentro de los diferentes campos. Cabe aclarar que en algunas instituciones se han tocado temas relacionados con la actualización del equipo, la capacitación del personal o el ajuste de las áreas

de trabajo. Sin embargo, no se han completado otros requisitos previos que son básicos para desarrollar las bases de madurez en los campos que impacta el BIM.

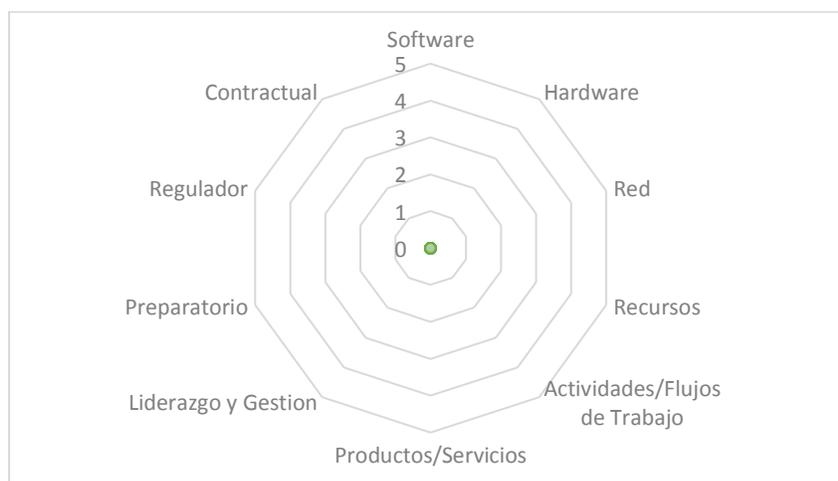


Figura 50. Resumen de las características que presentan los campos que impactan en la implementación del BIM del sector privado

Dentro del sector público también se pueden agrupar a las entidades que, si bien no son financiadas con recursos públicos, funcionan como entes reguladores u organizaciones sin fines de lucro que desarrollan estándares como lo son el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos o INTECO.

En el caso del CFIA, se logró hablar con la comisión BIM del Colegio de Ingenieros Civiles y una arquitecta miembro de la dirección del Colegio de Arquitectos. Dentro de las conversaciones que se tuvieron se supo que el CFIA conformó recientemente una comisión BIM general para analizar su aplicación dentro del campo de desarrollo profesional. Además, se han venido desarrollando cursos de capacitación y actualización profesional en donde se enseña el uso de programas de modelación. Y el colegio ha desarrollado esfuerzos para implementar la plataforma del APC dentro de los proyectos constructivos que buscan facilitar la parte de tramitología de permisos para los proyectos.

Para el caso de INTECO, el profesional con el que se logró conversar indicó que se ha generado un interés en el desarrollo de una normativa BIM a nivel nacional. Esta idea surge con el trabajo que se está realizando para desarrollar una norma de planos de construcción. La necesidad de ésta surgió de las instituciones de educación superior motivadas por las carencias de los nuevos profesionales en el desarrollo de planos. Es con este comité que ha surgido el interés de desarrollar una norma para el uso de la metodología BIM. El problema es que no se

han normado cosas básicas, como por ejemplo quien es el encargado de resguardar las bases de datos.

3.4. Perspectiva general de la implementación de la metodología BIM en proyectos de obra pública.

Con el fin de generalizar las opiniones y conocer los criterios que tienen todos los profesionales entrevistados con respecto a la metodología BIM y su impacto dentro de los proyectos de obra pública, se procedió a solicitarles que indiquen si estaban de acuerdo con las proposiciones de un pequeño F.O.D.A. realizado a base de los aspectos teóricos de la metodología y la situación actual del país. Es decir, se realizó una validación con el apoyo de los entrevistados. Además de preguntarles cual debe ser la institución encargada de guiar el proceso de adopción en el sector público y si conocen algún centro de formación BIM a nivel nacional.

El primer punto por describir es la percepción de los expertos sobre las fortalezas de la metodología en proyectos públicos, los resultados se pueden observar en la Figura 51. La mayoría de ellos concuerdan en que se deben aprovechar los beneficios de coordinación y comunicación que brinda el BIM en la planificación de proyectos de obra pública.

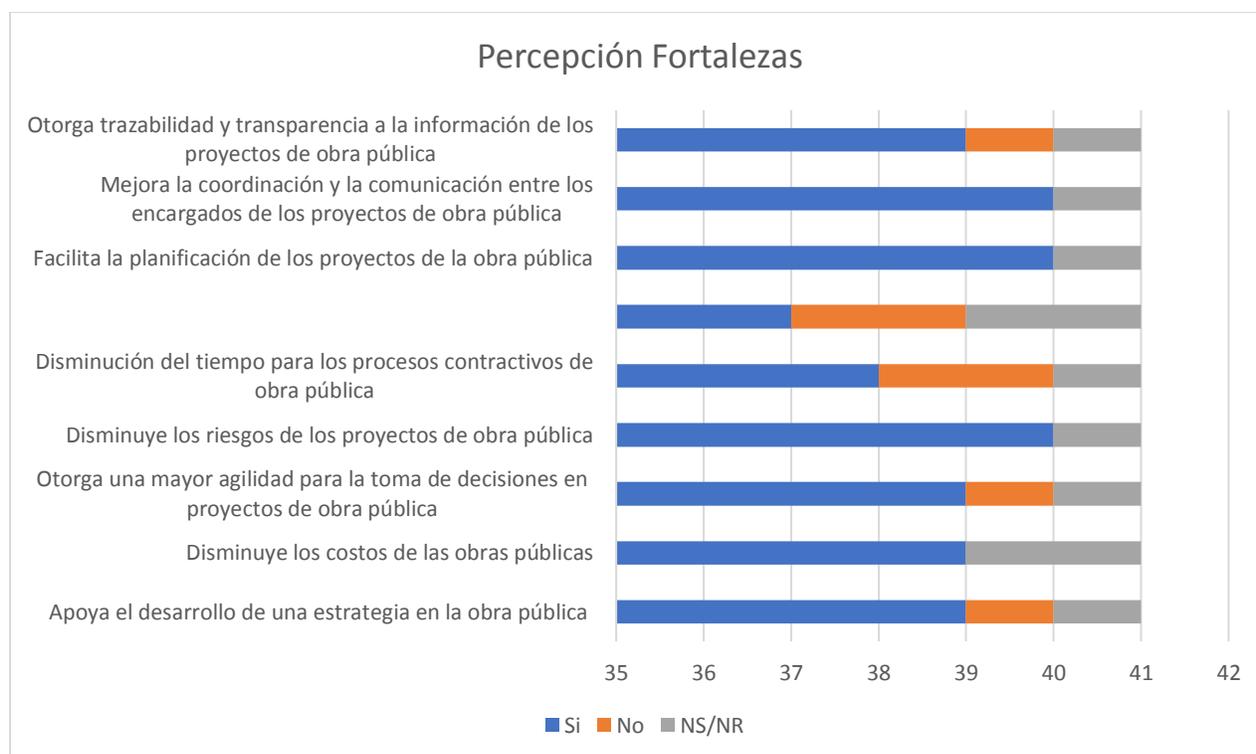


Figura 51. Percepción de las fortalezas propuestas a los entrevistados

El 95% de los encuestados indicaron que el uso del BIM permite identificar de una mejor manera el alcance de los proyectos, mejora la gestión de la información y disminuye el riesgo de las inversiones, ya que facilita la estimación de los costos y otorga mayor agilidad en la toma de decisiones. Una observación realizada por los profesionales es que la agilidad de los proyectos puede ser influenciada por decisiones políticas y la mejora en el tema de costos se debía a que la metodología BIM mejoraba la estimación del presupuesto; es decir que el costo no disminuye, pero se da una cantidad más exacta de su valor.

Cuarenta entrevistados hicieron referencia a una mejor coordinación con el BIM porque se cuenta con más información durante las etapas iniciales del proyecto con lo que se disminuye la incertidumbre y las ordenes de cambio durante la etapa de construcción, reduciendo de esta manera los riesgos relacionados. Se considera que habría mejora en la trazabilidad y la transparencia de la información como uno de los mejores aportes. Adicionalmente facilita el mantenimiento, ya que requiere mayor información y se indica que con mayor fluidez del trabajo se van a reducir los tiempos constructivos.

Una aclaración generalizada por varios de los profesionales es que se considere la metodología BIM como una herramienta para mejorar la eficiencia en el sector de la construcción y no como un fin es si misma.

En el caso de las oportunidades, nuevamente la mayoría apoyaron todos los postulados como se puede ver en la Figura 52. Casi el 70% de los entrevistados afirmó que la implementación de la metodología BIM puede ayudar en la disminución de la brecha que existe en inversión de obra pública. Se comentó que, con un aumento en la eficiencia de la ejecución de los proyectos enfocados en infraestructura, se iba a incentivar la inversión. No obstante, dentro de los comentarios también se consideró que el efecto no iba a ser importante dado que las decisiones políticas, la falta de capacidad institucional y una mala gestión de los proyectos son factores de peso dentro de la brecha que existe.

El 80% estuvo de acuerdo en que, si se adopta la metodología BIM en los proyectos, podría aumentar la inversión de las organizaciones internacionales para mejorar la competitividad del país. La opinión es que los proyectos de obra pública serán más transparentes. Adicionalmente, el 90% indicó que, con la implementación de la metodología BIM, se podían desarrollar mecanismos de colaboración y financiamiento internacional en proyectos de obra pública dado a que se está implementado una forma de trabajar que disminuye el riesgo de los

proyectos y aumenta la transparencia; algunos de los entrevistados indicaron que actores como el BID estaban empezando a interesarse en el uso de la metodología y que en un futuro próximo sería requisito para los préstamos.



Figura 52. Percepción de las oportunidades propuestas a los entrevistados

La aplicación del BIM en las Alianzas Público Privadas (APPs) también tuvo gran apoyo, pero uno de los entrevistados indicó que para esto debe integrarse muy bien el tema de la metodología dentro de las contrataciones. Además, casi todos indicaron que la cooperación de grupos de trabajo disciplinario en el desarrollo de la metodología BIM era uno de los mayores aportes que puede dar una forma de trabajo colaborativa.

En cuanto a las debilidades (ver Figura 53) que se le mencionaron a los entrevistados, nuevamente la mayoría estuvo de acuerdo en cada una de las ideas propuestas. En el caso de los costos de la implementación, el 68% indicó que puede ser un aspecto importante dentro de la implementación en el país. Sin embargo, muchos aclararon que se debe ver como una inversión que busque optimizar la inversión pública en beneficio del desarrollo nacional. Además, los entrevistados con más experiencia en el tema indicaron que la inversión era más importante en la generación de recurso humano y no en la adquisición de recursos tecnológicos.

En cuanto al tiempo de implementación, 34 entrevistados indicaron que por la lentitud de la actividad estatal iba a ser un punto débil dentro de la adopción de la metodología; la mayoría propuso un periodo de adaptación de entre 5 a 10 años dependiendo de la administración que se

dé. A su vez, el 75% indicaron había una falta de experiencia importante en el uso de la metodología BIM y que este debía ser un punto importante dentro de la hoja de ruta. Sin embargo, algunos entrevistados del sector privado resaltaron la importancia de compartir las experiencias. El punto que tuvo un apoyo de poco más del 50% fue el que corresponde a la desmotivación de las experiencias iniciales. Una de las ideas que se rescata de los comentarios es que las experiencias iniciales que son bien gestionadas no generan desmotivación y que se debe tener en claro que el uso de una nueva forma de trabajar requiere de tiempo para perfeccionarse.

Por su parte, el 65% opinó que el no tener un marco definido puede ser una debilidad de la metodología ya que sigue en crecimiento constante. Sin embargo, este aspecto es propio de las innovaciones tecnológicas cuyo alcance y aplicación siempre van en crecimiento. Finalmente, el mismo porcentaje estuvo a favor de que la combinación de múltiples departamentos dificulta la generación de un gobierno centralizado. Esto en relación a la poca coordinación interinstitucional e interdepartamental que existe en las instituciones, ya que esto ha generado numerosos problemas, entre ellos la lentitud de los tramites entre las instituciones.

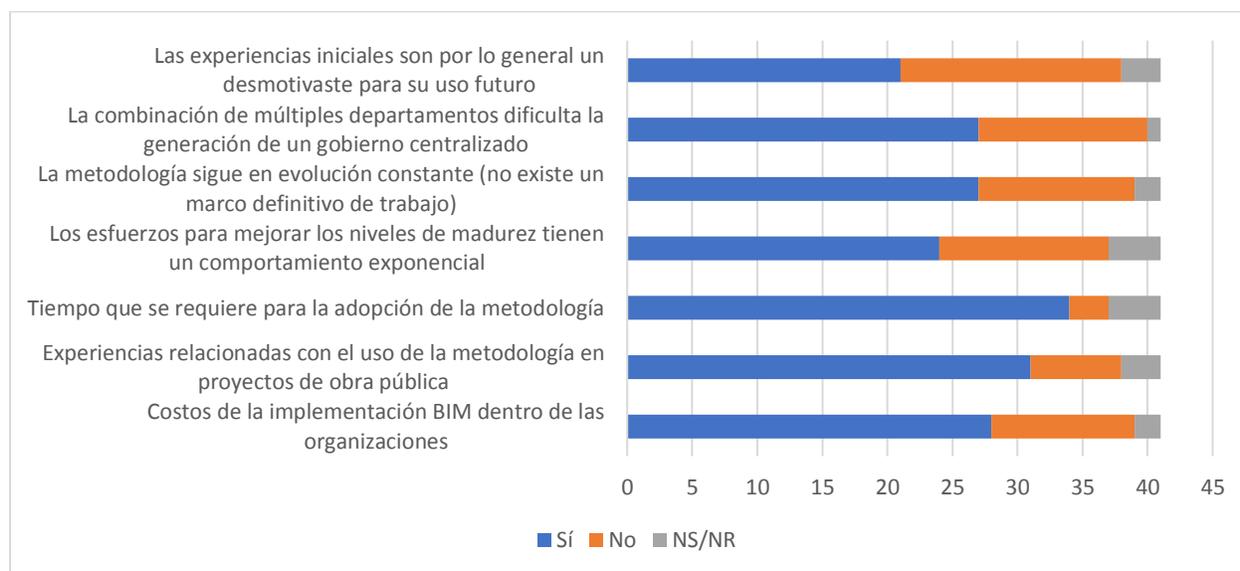


Figura 53. Percepción de las debilidades propuestas a los entrevistados

Al igual que en los casos anteriores, todas las amenazas propuestas fueron apoyadas por la mayoría de los entrevistados como se puede observar en la Figura 54. Los dos problemas más importantes serían la resistencia natural al cambio y la cantidad de recursos humano capacitado en BIM en el país. Algunos entrevistados agregaron que actualmente, el BIM se ha vuelto una

moda y que las ideas erróneas, por el poco conocimiento de la metodología, han generado fracasos de implementación en algunos proyectos.

Otro punto importante es la obsolescencia tecnológica del sector público e indicaron la necesidad de mejorar su gestión como uno de los puntos clave para el desarrollo de proyectos en BIM. Cabe mencionar que también se mencionó que algunas instituciones ya tenían los programas necesarios, pero son pocas las que realmente les sacan provecho. De igual forma, los entrevistados señalaron que no existía ninguna cultura para el desarrollo de madurez dentro de las instituciones. Esto lo relacionaron con la alta rotación de personal en el sector público ya que la visión, las estrategias y las formas de trabajo cambian constantemente entre las administraciones.

Finalmente, más del 60% indico que la situación actual del país en relación con el déficit fiscal puede ser una amenaza para la adopción del BIM. Principalmente por los recortes en materia de inversión y recursos que se han dado en el sector público. No obstante, varios opinaron que la aplicación del BIM puede ser una oportunidad para mejorar la inversión pública al disminuir los costos y los riesgos de los proyectos de obra pública.

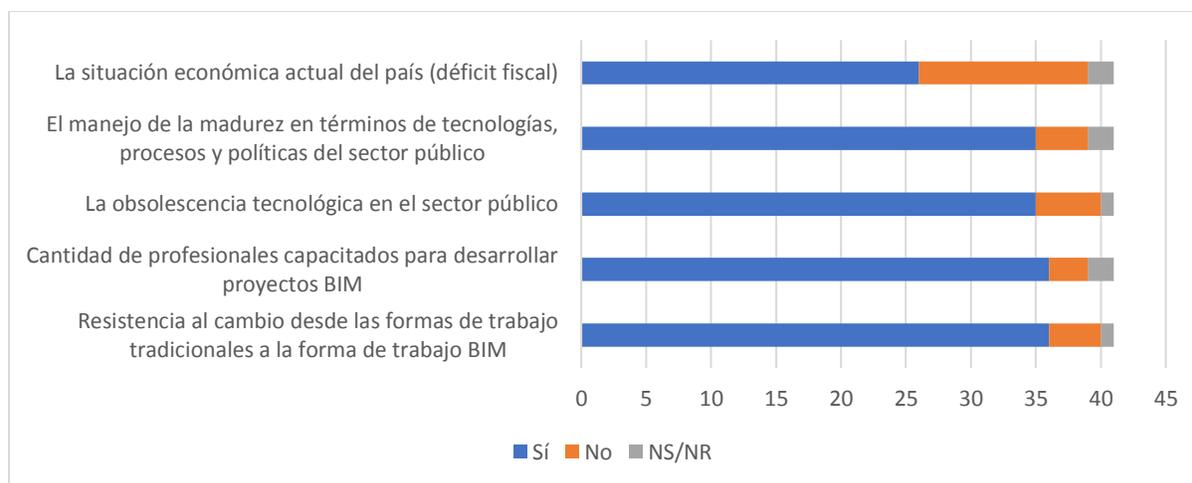


Figura 54. Percepción de las amenazas propuestas a los entrevistados

Un aspecto que se consideró importante conocer es si a nivel nacional hay centros de formación para la metodología BIM. Los resultados se observan gráficamente en la Figura 55. Menos del 70% saben de algún centro de formación y el resto indicaron que los cursos que se realizan actualmente son basados en el uso de alguno de los programas existentes y no en los flujos de trabajo en BIM. Dentro de las organizaciones que se reconocieron por dar este tipo de cursos están: la Cámara Costarricense de la Construcción, el Colegio Federado de Ingenieros y

Arquitectos, la Universidad de Costa Rica, el Tecnológico de Costa Rica y algunos proveedores de software en el país.

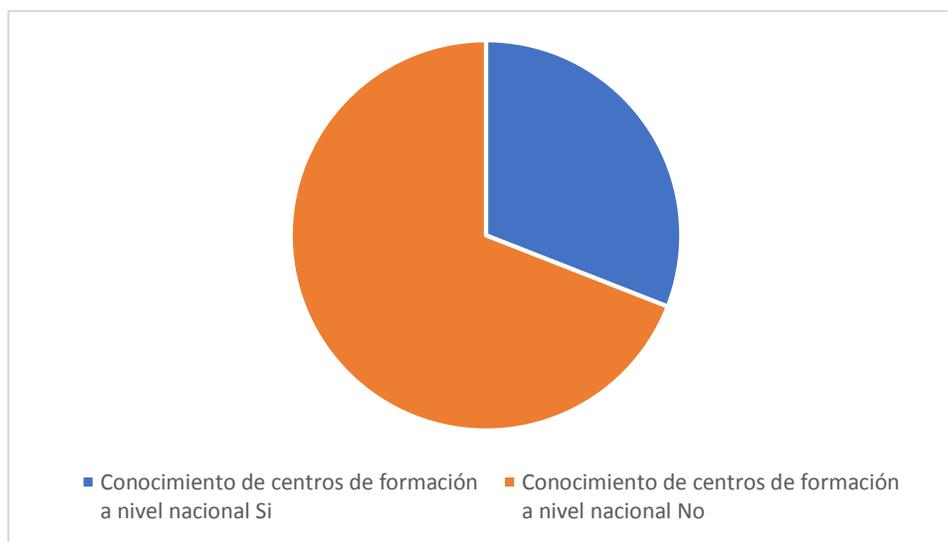


Figura 55. Conocimientos de centros de formación a nivel nacional en BIM

Finalmente, se les solicitó a los entrevistados que indicaran cual debería ser la institución que debe guiar la implementación de la metodología BIM. Los resultados se resumen en la Figura 56, y la mayoría piensa que el Mideplan, tiene funciones relacionadas con el control y la planificación de las inversiones del Estado. Este hecho sustenta la decisión de Casa Presidencial de darle empoderamiento al Mideplan como coordinador y designar un comité con representantes de otras instituciones, encargado de desarrollar la estrategia y darle seguimiento.

Sin embargo, otros actores indicaron que el comité debía tener un carácter interinstitucional o incluso ser intersectorial, colocando al comité sobre todos los ministerios e instituciones del estado al mismo tiempo que se incorporaba al sector privado y al sector académico. Además, la segunda organización en la que se opinó debería guiar la implementación es el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.

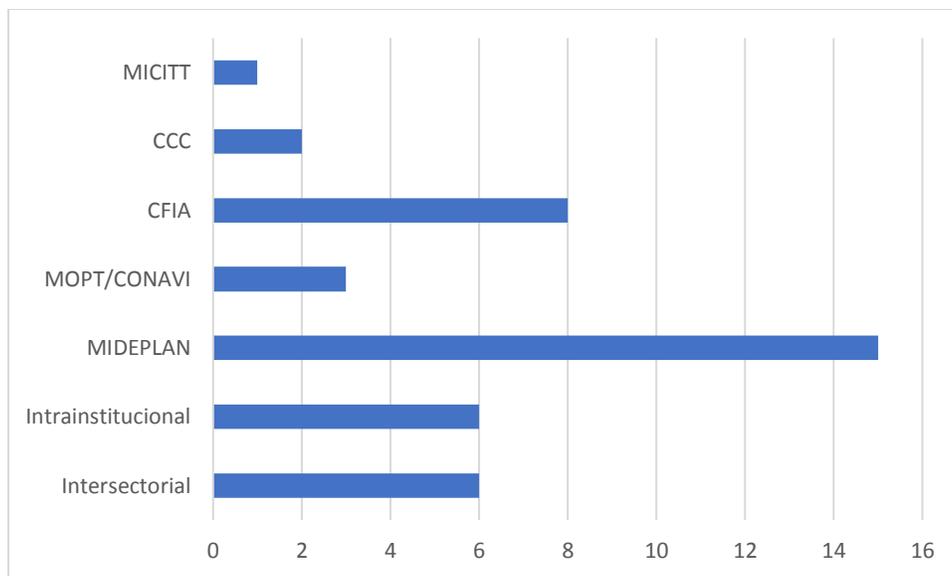


Figura 56. Institución que debe guiar la implementación de la metodología BIM en proyectos de obra pública.

CAPITULO 4. Estrategia para la implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública

4.1. Descripción del modelo propuesto para elaborar la hoja de ruta

En esta sección se detalla el modelo que se generó para elaborar la propuesta de implementación de la metodología BIM con base en los conocimientos internacionales de vanguardia.

El propósito de este modelo servir como una estrategia de alto nivel que permita a los responsables formular el programa a nivel nacional contemplando todos los posibles factores para facilitar el proceso de adopción. En este caso, se presenta una recomendación básica elaborada a partir de la información procedente de tres fuentes diferentes que funcionan como bases teóricas para iniciar el proceso de implementación.

La primera base teórica es el modelo del "Punto de Adopción" que se utilizó como herramienta para elaborar el diagnóstico de la situación en Costa Rica. Suponiendo que el sector público debe trabajar de manera colaborativa y unificada, se puede esquematizar como una organización de gran tamaño. Y el marco de referencia sirve como base para establecer cuáles son las capacidades que se deben ir adquiriendo y en qué temas se deben desarrollar los cambios.

La segunda base teórica será el modelo de "Componentes de Macro-Madurez", el cual se utiliza como un complemento, ya que presenta 8 componentes utilizados para definir cuál es el nivel de madurez a una escala organizacional mayor como la de un país. Considerando que el modelo continúa con los conceptos del modelo de adopción, se tiene la ventaja de que puede funcionar como un complemento para ampliar la propuesta desarrollada. Con los componentes de macro-madurez se definen las capacidades y herramientas para incorporar prácticas, disciplinas y destrezas en forma progresiva para la realización de las actividades.

La tercera y última base teórica que se utilizó para desarrollar el modelo es la hoja de ruta presentada por el Planbim Chile. Como se identificó en el diagnóstico, con el creciente interés de los temas BIM en Costa Rica, se ha ido formando una alianza con la cual se busca aprovechar la experiencia chilena para su realización. Además, es la primera estrategia formal para la implementación del BIM en América Latina, por lo que puede tomarse como base por las similitudes entre los países.

En el modelo para desarrollar la propuesta de implementación se consideraron tres dimensiones, mediante las cuales se busca trabajar los diferentes impactos en las áreas o actividades que se deben realizar; además toma en cuenta el factor temporal para desarrollar en forma gradual el proceso de adopción y las capacidades necesarias para utilizar las herramientas y los nuevos flujos de trabajo de manera más eficiente. Se puede observar en la Figura 57, el modelo en forma gráfica, revelando la sincronización de las dimensiones en un único entorno de trabajo.

La dimensión de los “Campo de Impacto” se refiere a las tres áreas en las que se requieren modificaciones para trabajar en BIM y que deben modificarse para ir desarrollando los protocolos, las habilidades y recursos necesarios para apoyar el cambio cultural que representa el proceso de adopción para integrar la metodología BIM en los proyectos de obra pública. Al ser basado en el marco de referencia propuesto por Bilial Succar y Mohammad Kassan en el año 2015, esta dimensión contiene los campos de impacto denominados: Tecnologías, Procesos y Políticas.

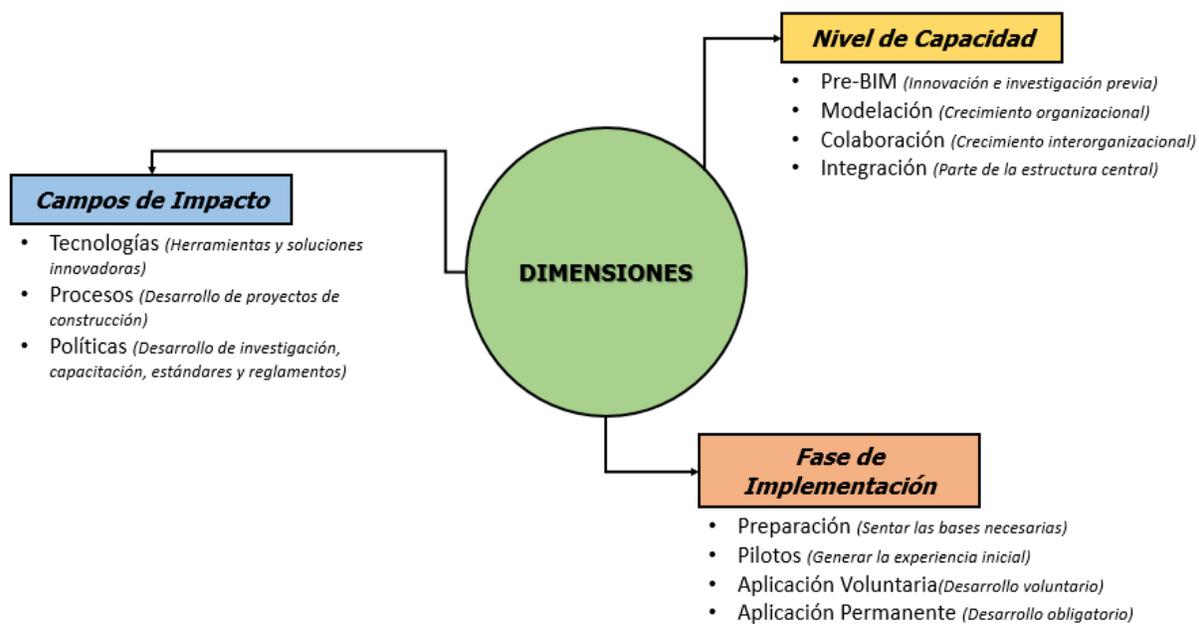


Figura 57. Dimensiones en las que se desarrollan las hojas de ruta

Para los campos de impacto, la tecnología abarca las necesidades para incorporar dentro de las instituciones públicas las herramientas en materia de software y hardware según sus necesidades para optimizar la eficiencia de sus flujos de trabajo y mantener un proceso continuo de actualización en tecnología e innovación para ir incorporando los nuevos conocimientos y productos que surjan sobre la metodología. Además de generar plataformas virtuales de

comunicación e intercambio de información basados en protocolos que permitan una mayor trazabilidad y transparencia de los proyectos de obra pública.

El campo de los procesos incluye el desarrollo de los proyectos de construcción, enfocado en la aplicación de la metodología dentro de los proyectos, analizando su impacto para conocer cuáles son las ventajas de la implementación para el país a lo largo del proceso de adopción. Como es el campo práctico del modelo, va a desarrollar la planificación de los proyectos piloto y las experiencias necesarias para definir las necesidades en temas de capacitación, herramientas, estándares, protocolos y regulaciones para el uso de los trabajos colaborativos en los que se desempeña el BIM.

El último campo de esta dimensión es el de las políticas, de las cuales sería responsable el comité central, cuyas funciones estarán enfocadas en generar la estrategia formal de implementación y seguimiento para la aplicación óptima de la metodología en los proyectos de obra pública. Además, también es el área en la que se van a desarrollar los procesos de capacitación para generar capital humano, impulsar los procesos de difusión a nivel nacional en el uso del BIM, desarrollar investigación para ampliar el conocimiento, generar los protocolos de apoyo o los estándares para facilitar la aplicación y analizar las regulaciones y los planes nacionales para que la estrategia funcione de manera integral en el desarrollo del país.

En seguimiento a lo antes mencionado, el "Nivel de Capacidad" es una dimensión que se basa en las etapas de implementación BIM trabajadas por el marco de referencia. Esta dimensión permite identificar cuáles son los diferentes tipos de capacidad que se deben ir incorporando de manera que se aprovechen todos los beneficios que trae el BIM, y así desarrollar una mejora integral dentro de las instituciones y sus actividades colaborativas. Esta dimensión trabaja 4 tipos de capacidades que se deben ir implementado de forma progresiva, las cuales son:

- Pre-BIM: en este nivel de capacidad se trabaja en la estrategia y la planificación necesarias para llevar el proceso de implementación de manera organizada. Para esto se analizan las características actuales del país en cuanto a su legislación, recursos tecnológicos y la forma en la que se desarrollan los proyectos de obra pública. A su vez, se identifican los requerimientos en capacitación para el capital humano y la generación de grupos de trabajo para abarcar todos los aspectos del proceso de implementación.
- Modelación: se basa en el desarrollo de las capacidades internas de la metodología dentro de cada una de las instituciones y en obtener las primeras experiencias en su uso dentro de los

proyectos de obra pública, de esta manera pueden realizarse ajustes y generar herramientas de evaluación prácticas.

- **Colaboración:** nivel en el que se desarrollan herramientas y protocolos para facilitar los procesos de interacción y retroalimentación entre las instituciones que llevan a cabo los proyectos de obra pública. También impulsa los programas de capacitación al facilitar su acceso, generar conocimiento bajo una línea única para aprovechar recursos, propone el desarrollo de alianzas multisectoriales y la elaboración de una herramienta para verificar los trabajos BIM para asegurar que estos sean de alta calidad.
- **Integración:** trabaja en la combinación de la estructura organizacional de las instituciones con las formas de trabajo BIM para que los tramites de todos los proyectos usen los mismos flujos de trabajo, la información de los proyectos existentes sea adaptada para utilizar las herramientas BIM, que todos conozcan sobre los procesos existentes de manera que no se produzcan reprocesos ni conflictos entre proyectos y establecer la obligatoriedad de usarla. Además, se conforma una línea de implementación institucional para que el proceso sea estandarizado, se aprovechen las experiencias que se vayan desarrollando y el fortalecimiento de alianzas internacionales como apoyo conjunto para el desarrollo del BIM en la región.

Por último, se tiene la "Fase de Implementación" que busca desarrollar una secuencia lógica dentro del proceso de adopción para que los trabajos se realicen de manera complementaria y con un fin común. La fase de preparación con una duración estimada de 1 a 2 años busca sentar las bases y formar los grupos de trabajo para iniciar el proceso de implementación, si como montar una base para realizar una comparación y analizar el impacto de la adopción dentro de los proyectos de obra pública. Seguidamente, sigue la fase de pilotos que duraría entre 2 a 3 años y es en la que se obtienen las primeras experiencias en el uso de la metodología por parte del sector público, se complementa con generación de herramientas prácticas como estándares o aumento en el capital humano y la implementación por parte de las primeras instituciones. Para el caso de la aplicación voluntaria también se consideran de 2 a 3 años, es la fase en la que ya debería haber un mayor capital humano, los estándares ya están conformados en su totalidad y acordes con las necesidades de todos los sectores. En esta fase se debe buscar que la mayoría de los proyectos de obra pública se realizan mediante incentivos. Finalmente, la aplicación obligatoria se daría en 1 año, donde se empieza a solicitar la información de los proyectos a través de los canales de comunicación elaborados y se solicita bajo los estándares establecidos, con el fin de que exista una comunicación ordenada para eficientizar la

ejecución y coordinación de todos los proyectos de obra pública bajo un sistema unificado. Todo el periodo de implementación se realizaría en un rango entre los 6 y 9 años.

4.2. Aplicación del modelo al proceso de implementación en el sector público.

Se aplicó el modelo desarrollado para elaborar una lista de tareas que se realicen en un orden cronológico que ayude a llevar a cabo el proceso de implementación de manera que permee dentro de las estructuras organizacionales del sector público.

El punto de partida se basó en lo observado durante el diagnóstico del estado de Costa Rica para el primer trimestre del 2019. En el sector público se han empezado a dar las primeras iniciativas en el uso de la metodología BIM, donde el principal esfuerzo es realizado por la oficina de la primera dama. Sin embargo, no hay un desarrollo de capacidades por alguna de las instituciones y su conocimiento general sobre el tema es muy limitado.

Es necesaria la participación del sector académico, se encontró que se han empezado a canalizar programas con el tema y se ha identificado la creciente necesidad para formar a los nuevos profesionales del sector construcción en herramientas BIM. Estos esfuerzos se enfocan en el uso de algunas herramientas de modelación, pero no hay un enfoque aplicable explícito para su uso en proyectos y aún hay poca investigación del BIM por parte de las unidades académicas.

El sector con mayor desarrollo en el uso de la metodología BIM es el sector privado, en donde ya han tenido experiencias con esta herramienta. Las empresas que lo han implementado se caracterizan, en su mayoría, por desarrollar proyectos grandes de edificaciones. Además, han iniciado procesos para establecer líneas que les permitan trabajos colaborativos dentro de su interacción entre las empresas. Si bien, este sector está en crecimiento, puede ofrecer su experiencia para impulsar el proceso de implementación en obra pública.

En general, apenas se han empezado a desarrollar objetivos en común a nivel país, sin establecer etapas de implementación o hitos importantes que se vayan a evaluar. Han surgido algunos profesionales que trabajan dentro del sector de la construcción que son reconocidos por sus conocimientos en BIM y han impulsado su uso en Costa Rica, recientemente se han empezado a formar algunos comités para impulsar la implementación que no se han unificado. En el país no hay un marco regulatorio formal sobre BIM, pero en el sector privado se han identificado algunas necesidades en cuanto al manejo del riesgo y la propiedad intelectual. No se encontró evidencia

de publicaciones o algún documento elaborado en el país que sea como un estándar o un protocolo para el uso del BIM, la mayoría de las empresas utilizan documentos de otros países. Se ha iniciado el proceso de identificación de las capacidades BIM que deben incorporarse como temas de aprendizaje, pero no se han incluido de manera integral dentro de la formación o actualización de los profesionales. No se han elaborado métricas en el sector de la construcción que reflejen cuál ha sido el grado de difusión del BIM, la capacidad de las organizaciones para su aplicación o casos de éxito a nivel nacional. La infraestructura tecnológica no es la adecuada dentro del sector de la construcción en el país lo que obstaculiza el proceso de implementación. Además, no hay bibliotecas de objetos en el sector que faciliten información operacional para los proyectos de construcción.

Adicionalmente, se contemplan algunas deficiencias en la gestión de los proyectos de obra pública, de manera que el proceso de implementación también ayudaría a solucionarlas, mejorando la estrategia para cubrir las necesidades en materia de infraestructura en el país.

A continuación, se detallan las tareas en conjunto con el objetivo, la descripción y el fin de cada una en ella. Se clasificaron dentro de los campos de impacto y las fases de implementación para presentarlas de una manera más ordenada. Cada una de las tareas contiene una descripción que explica la tarea, la identificación de sus antecesoras y su alcance o entregable que serían los resultados esperados de realizarla. A nivel general, todas las tareas deben suministrarle información al Comité BIM para que este pueda analizar el proceso de implementación y realizar los cambios necesarios de la estrategia para cumplir con los objetivos planteados.

4.2.1. Listado de tareas para desarrollar el campo de las tecnologías

Para diferenciar los diferentes campos en los que van a trabajar las tareas se va a identificar con la inicial del campo en el cual se esta trabajando. Para esto el campo tecnológico tiene el símbolo "T", el campo de políticas tiene el símbolo "P" y el campo para el desarrollo de procesos tiene el símbolo "D".

- *Pre BIM*

Tarea T1. Establecer un esquema centralizado de gobierno de las tecnologías de la información

- a. Objetivo: Unificar las políticas de adquisición, uso y gestión de las herramientas de software y hardware en el sector público.

- b. Descripción: Se debe buscar una estandarización de los equipos tecnológicos que se utilizan dentro de las instituciones del sector público. Esto permitiría el aprovechamiento de los recursos y del despliegue de las herramientas necesarias de tal manera que sirvan para cumplir con los objetivos estratégicos de las instituciones y mejoren la productividad del personal. Adicionalmente, se desarrollaría una figura centralizada en la gestión de la tecnología "Centro de TI" que esté en constante comunicación con los departamentos encargados de esta área para gestionar las necesidades individuales de una manera controlada. Esta tarea debe sentar las bases del soporte técnico para que se logre desarrollar los trabajos dentro de la metodología BIM, en apoyo a los lineamientos y aplicaciones desarrollados en las áreas de procesos y de políticas.
- c. Alcance/Entregables: Políticas de centralización y estandarización de los recursos tecnológicos del sector público.
- d. Antecesoras:
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM

Tarea T2. Desarrollo de una estrategia para la actualización tecnológica de la institución pública

- a. Objetivo: Impedir la obsolescencia tecnológica del sector público.
- b. Descripción: Se debe desarrollar una estrategia en donde se realicen evaluaciones, dentro de las instituciones públicas, e investigación relacionadas con las mejoras continuas en materia de software, hardware y soluciones de red. La búsqueda debe basarse en la continua mejora de la productividad y en el mantenimiento eficiente de los recursos tecnológicos. Como se identificó a lo largo del trabajo, uno de los puntos que se deben tratar es la obsolescencia tecnológica del sector público y el bajo aprovechamiento de los recursos que se adquieren. Dentro del sistema de actualización que se debe generar, también debe buscarse la forma en que se capacite al personal en el uso de las nuevas herramientas que se vayan incorporando para que se les proporcione un buen mantenimiento y se genere un mayor aprovechamiento de los mismo. Dentro de la estrategia, se deben desarrollar guías y bases de datos actualizadas que faciliten la selección de las

herramientas de software y hardware, dependiendo de las necesidades de las diferentes instituciones.

- c. Alcance/Entregables: Bases de datos y guías para la selección y gestión de los equipos tecnológicos y su renovación constante. Plan de actualización tecnológica del sector público.
- d. Antecedentes:
 - Tarea T1. Establecer un esquema centralizado de gobierno de las tecnologías de la información.

- Modelación

Tarea T3. Aplicación de la estrategia para la actualización tecnológica

- a. Objetivo: Ejecutar el Plan de actualización tecnológica del sector público.
- b. Descripción: Para poder generar las bases necesarias en materia del campo de la Tecnología que se propondrían dentro de la estrategia generada, se debe ejecutar la planificación de manera gradual en coordinación con la estrategia general para la implementación del BIM en donde se apoyaría inicialmente a las instituciones que desarrollen proyectos piloto e ir creciendo paulatinamente para abarcar a un mayor número de instituciones. En este periodo se desarrollarían ajustes a las políticas y guías generadas para mejorarlas continuamente y buscar su fácil aplicación a largo plazo. Esta práctica no debería tener un plazo definido, sino que debe integrarse en los mecanismos institucionales dentro de la mejora continua del sector público.
- c. Alcances/Entregables: Permear dentro de los flujos de trabajo de las instituciones para incorporar la actualización tecnológica. Generar las bases para facilitar la implementación de la metodología BIM dentro de los proyectos de obra pública.
- d. Antecedentes:
 - Tarea T2. Desarrollo de una estrategia para la actualización tecnológica de la institución pública

- Colaboración

Tarea T4. Desarrollo de una plataforma para la cooperación intersectorial

- a. Objetivo: Generar un instrumento de colaboración para unificar los esfuerzos del sector público con los que se desarrollan en el sector privado y la academia.
- b. Descripción: Al desarrollar un mecanismo que facilite la cooperación intersectorial, se puede compartir la experiencia y el conocimiento de todo el país, desarrollando un crecimiento en conjunto. En esta plataforma se pueden presentar los acontecimientos importantes que surjan en el proceso de adopción, publicar los resultados del proceso de mejora, difundir casos de éxito para impulsar la implementación a nivel nacional, coordinar esfuerzos y otorgar transparencia al proceso de implementación.
- c. Alcances/Entregables: Sitio web informativo para el almacenamiento de la información relacionada de la metodología BIM y facilitar su acceso a los interesados.
- d. Antecedentes:
 - Tarea T2. Desarrollo de una estrategia para la actualización tecnológica de la institución pública

Tarea T5. Banco de Proyectos como una plataforma centralizada para la gestión y el control de los proyectos de obra pública

- a. Objetivo: Centralizar la información de los proyectos de obra pública
- b. Descripción: Desarrollar una modificación y optimización a la plataforma unificada de proyectos elaborada por el MIDEPLAN para que se integre dentro de los flujos de trabajo en BIM. Esto permitiría el almacenamiento de la información de los proyectos de obra pública de una manera más organizada y la accesibilidad de la información otorgaría mayor transparencia y trazabilidad a los proyectos de inversión pública. Con el desarrollo de la plataforma, se incorporarían todos los actores relacionados con aspectos regulatorios de las inversiones públicas y las instituciones encargadas de ejecutar los proyectos.
- c. Alcances/Entregables: Plataforma renovada del Banco de Proyectos que impulsa el Mideplan y su modificación para trabajar dentro de la metodología BIM.
- d. Antecedentes:

- Tarea T2. Desarrollo de una estrategia para la actualización tecnológica de la institución pública.
- Tarea P4. Coordinación con los planes nacionales existentes.

- Integración

Tarea T6. Cierre de plataformas antiguas para el desarrollo de obra pública

- a. Objetivo: Abandonar los mecanismos antiguos para unificar la inversión pública en el sistema de Banco de Proyectos del MIDEPLAN.
- b. Descripción: Para garantizar que todo el sector público realice la transición gradual en búsqueda de unificar las estrategias para desarrollar inversión en proyectos de obra pública, es conveniente que se abandonen las viejas prácticas de tal manera que el control de la información sea estandarizado. Esto eliminaría los costos por el mantenimiento y la operación de flujos de trabajo poco eficientes, que no se adapten a los cambios que se han desarrollado en el proceso de adopción BIM.
- c. Alcances/Entregables: Plan de transición para el cierre de las todas las formas antiguas de comunicación y la apertura del Banco de Proyectos como única vía para la planificación e inversión de proyectos de obra pública a nivel nacional.
- d. Antecedentes:
 - Tarea T4. Desarrollo de una plataforma para la cooperación intersectorial e interinstitucional.
 - Tarea T5. Banco de proyectos como una plataforma centralizada para la gestión y el control de los proyectos de obra pública.

4.2.2. Listado de tareas para desarrollar el campo de los procesos

- Pre BIM

Tarea D1. Desarrollo de roles BIM en los proyectos e identificaciones de capacidades necesarias

- a. Objetivo: Identificar las necesidades de formación para el mejor uso de la metodología BIM en los proyectos de construcción.
- b. Descripción: Se deben identificar las características y capacidades que deben tener los profesionales que sean parte de los grupos de trabajo responsables de la administración de los proyectos de construcción. De esta manera se pueden desarrollar programas de capacitación específicos para los diferentes papeles del

personal de tal manera que logren adaptar sus funciones a los nuevos flujos de trabajo.

- c. Alcances/Entregables: Establecimiento de las competencias del personal, necesarias para trabajar en BIM.
- d. Antecedentes:
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM.

Tarea D2. Plan para mejorar la gestión de proyectos en obra pública

- a. Objetivo: Trabajar en las debilidades actuales en los procesos de inversión para el desarrollo de obra pública.
- b. Descripción: Como se indicó anteriormente, uno de los problemas más grandes dentro de la inversión pública es la falta de una cultura en gerencia de proyectos unificada. Si bien existen esfuerzos de parte del MIDEPLAN para solucionarlos, se deben establecer estándares y directrices para desarrollar una mejora continua. La base para generar la cultura de gestión de proyectos debe ser la más usada por todo el país, donde se indique la importancia de la planificación de los proyectos, así como su mantenimiento a lo largo del ciclo de vida (durante la revisión bibliográfica y el diagnóstico se pudo identificar que las mayores carencias estaban en las últimas dos fases mencionadas). Es importante recordar que el uso de la metodología BIM se enfoca en desarrollar mayores esfuerzos dentro de la etapa de planificación, además de que los mayores costos se desarrollan en la etapa de operación. Como lo expusieron algunos de los entrevistados, la metodología BIM es un complemento para la gestión de proyectos.
- c. Alcances/Entregables: Desarrollo de una cultura de gestión de proyectos única, para los proyectos de obra pública.
- d. Antecedentes:
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM.

Tarea D3. Establecimiento de una línea base de proyectos de obra pública

- a. Objetivo: Desarrollar una base comparativa para el control de las mejoras durante la implementación de la metodología BIM.

- b. Descripción: Conocer el estado actual de la obra pública de forma específica para desarrollar una línea de control que permita tener un mayor control dentro del proceso de implementación, de tal manera que les permita a los tomadores de decisiones realizar los ajustes necesarios para alcanzar los objetivos propuestos de la mejor forma posible.
- c. Alcances/Entregables: Línea base comparativa para el control y seguimiento de la estrategia a lo largo del proceso de implementación.
- d. Antecedentes:
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM.

Tarea D4. Desarrollo del programa de proyectos piloto

- a. Objetivo: Desarrollar una estrategia para obtener destrezas y pruebas de concepto para realizar ajustes de la estrategia formulada.
- b. Descripción: Para poder desarrollar estándares y alinear las estrategias, es necesario desarrollar proyectos piloto para observar la incorporación del BIM en proyectos de obra pública y generar conocimiento para identificar puntos de mejora. Como se identificó dentro del diagnóstico realizado, algunas instituciones ya trabajan en esfuerzos aislados, se deben centralizar estos esfuerzos dentro del programa de proyectos piloto, de tal manera que se tenga una visión en común. Además, debe desarrollarse la preparación adecuada para que el desarrollo de los proyectos se realice de la mejor forma posible, identificando cuales son las instituciones que los deben llevar a cabo para tener una amplia variedad de tipos de proyecto y las dimensiones que estos deben tener.
- c. Alcances/Entregables: Línea estratégica para la visualización del uso de la metodología BIM en los diferentes tipos de proyecto de obra pública que se realiza en el país.
- d. Antecesoras:
 - Tarea T2. Desarrollo de una estrategia para la actualización tecnológica de la institución pública
 - Tarea D1. Desarrollo de roles BIM en los proyectos e identificaciones de capacidades necesarias.
 - TareaD3. Establecimiento de una línea base de proyectos de obra pública.

- Modelación

Tarea D5. Ejecución de los proyectos piloto

- a. Objetivo: Ejecutar el programa de proyectos piloto.
- b. Descripción: Una vez planificadas las pruebas de concepto, se deben ejecutar de manera controlada para minimizar los riesgos y cumplir con los objetivos de crecimiento y generación de experiencia planteados con anterioridad.
- c. Alcances/Entregables: Informe final y evaluación de cada proyecto para transmitir el conocimiento y experiencia en el uso de la metodología BIM en diferentes tipos de proyectos públicos.
- d. Antecesoras:
 - Tarea T2. Desarrollo de una estrategia para la actualización tecnológica de la institución pública
 - Tarea D4. Desarrollo del programa de proyectos piloto.
 - Tarea P5. Generación de programas académicos.
 - Tarea P9. Elaboración de un estándar nacional para el uso de BIM en proyectos

Tarea D6. Generación de indicadores para proyectos de obra pública

- a. Objetivo: Generar mecanismos de medición dentro de los proyectos de obra pública.
- b. Descripción: El desarrollo de un instrumento que permita evaluar de forma estandarizada es esencial. Con el desarrollo de indicadores que estén dirigidos a aspectos de costos, duración, calidad, riesgo y trabajabilidad; se pueden desarrollar comparaciones con la línea base y determinar el nivel de mejora a lo largo del tiempo.
- c. Alcances/Entregables: Elaboración de un método de evaluación de proyectos que permita identificar el nivel de mejora obtenido y realizar ajustes en la estrategia de implementación BIM y en planificación de la inversión pública.
- d. Antecesoras:
 - Tarea D4. Desarrollo del programa de proyectos piloto.

Tarea D7. Generación de indicadores de impacto

- a. Objetivo: Valorar el impacto de la adopción del BIM en proyectos de obra pública.
- b. Descripción: Se deben conocer cuáles son las consecuencias de la implementación de la metodología BIM en la economía nacional. Algunos de estos indicadores pueden ser la variación del porcentaje del BIM o indicadores de competitividad. Mejora la calificación en términos de competitividad y calidad de la infraestructura, es uno de los puntos centrales que se mencionan en el PNIP 2019-2022.
- c. Alcances/Entregables: Mecanismo de medición para monitorizar el impacto y las repercusiones de la implementación de la metodología BIM en la competitividad del país.
- d. Antecesoras:
 - Tarea D4. Desarrollo del programa de proyectos piloto.

- Colaboración

Tarea D8. Desarrollar un programa de evaluación de los productos y servicios BIM

- a. Objetivo: Establecer un proceso de control de calidad y de mejora continua de los trabajos realizados con el uso de esta metodología.
- b. Descripción: Después de la implementación de las herramientas y flujos de trabajo se debe dar seguimiento a su funcionamiento para optimizar la productividad, buscando soluciones oportunamente en caso de errores y que los productos y servicios generados tengan una utilidad mayor con el paso del tiempo, acorde con las innovaciones.
- c. Alcances/Entregables: Programa de revisión periódica que permita detectar debilidades y que genere retroalimentación para evitar que se presenten desperdicios (generar madurez)
- d. Antecesoras:
 - Tarea D5. Ejecución de proyectos piloto.

- Integración

Tarea D9. Generación de un grupo de apoyo para la implementación en las instituciones

- a. Objetivo: Destinar recursos de las instituciones del sector público para la implementación de la metodología BIM.
- b. Descripción: Realizar una evaluación en cada entidad, para generar recomendaciones de acuerdo con las condiciones de cada una, con el propósito de satisfacer sus necesidades y buscando el control de los aspectos tecnológicos, políticos y de procesos. Éstas deben guiar a la institución para la mejora en la gestión del conocimiento, en los flujos de trabajo, favorezca el liderazgo en los altos mandos y que se desarrolle un programa de capacitación para el personal de la institución.
- c. Alcances/Entregables: Creación de un grupo experimentado que facilite la implementación de esta metodología en las instituciones.
- d. Antecesoras:
 - Tarea T2. Desarrollo de una estrategia para la actualización tecnológica de la institución pública
 - Tarea D5. Ejecución de proyectos piloto.
 - Tarea P5. Generación de programas académicos.
 - Tarea P9. Elaboración de un estándar nacional para el uso de BIM en proyectos

Tarea D10. Desarrollar un plan para la digitalización en sistemas BIM en la infraestructura de obra pública

- a. Objetivo: Desarrollar una base de datos con la información de la infraestructura existente, de manera que en el futuro se apliquen las herramientas BIM para la conservación y mejora en la infraestructura pública.
- b. Descripción: Con el propósito de utilizar la metodología a lo largo de la vida útil de todos los proyectos se debe crear una base de datos con la información de los mismos para planificar su mantenimiento y en caso de ser necesario realizar ampliaciones o remodelaciones en forma oportuna dependiendo del fin para el cual se construyeron. El aprovechamiento de la información que permite la base de datos promovería el uso de esta metodología para futuros proyectos.
- c. Alcances/Entregables: Contar con una base de datos actualizada de la infraestructura nacional.
- d. Antecesoras:

- Tarea T4. Desarrollo de una plataforma para la cooperación intersectorial e interinstitucional.
- Tarea T5. Banco de proyectos como una plataforma centralizada para la gestión y el control de los proyectos de obra pública.
- Tarea D5. Ejecución de proyectos piloto.
- Tarea P11. Establecer un programa de investigación.
- Tarea P13. Aplicación de los estándares elaborados.

Tarea D11. Integración de las bases de datos para utilizarlas en las estrategias de desarrollo del país

- a. Objetivo: Aplicar la base de datos generadas en la planificación del desarrollo y la inversión de la infraestructura nacional.
- b. Descripción: Con la ayuda de la herramienta se pueden definir las necesidades de mantenimiento de la infraestructura existente. Además, se obtendría de una manera más ordenada y accesible la información para priorizar las acciones en búsqueda del desarrollo de inversiones que requiera el país.
- c. Alcances/Entregables: Sistema de apoyo para la priorización de la inversión pública.
- d. Antecesoras:
 - Tarea D10. Desarrollo de un plan para la digitalización en sistemas BIM de la obra pública.
 - Tarea P13. Aplicación de los estándares elaborados.
 - Tarea P15. Incorporación del proceso de la tramitología de todo proyecto de construcción dentro del marco de la metodología BIM.

4.2.3. Listado de tareas para desarrollar el campo de las políticas

- Pre BIM

Tarea P1. Formación de un comité BIM

- a. Objetivo: Establecer una coordinación centralizada para la adopción de la metodología BIM en el sector público.
- b. Descripción: se debe crear un grupo que centralice los esfuerzos de las entidades públicas, para controlar el proceso en forma eficiente y buscar apoyo en el sector privado y la academia para sacar el mayor provecho posible en beneficio del país. Este grupo debe desarrollar un estudio de retorno sobre la inversión para estimar

el impacto en los proyectos de obra pública, y desarrollar una estrategia que disminuya la resistencia al cambio con respecto a las formas de trabajo tradicionales. De la misma manera debe indicar cuál es la visión, los objetivos de mejora y los tiempos de desarrollo para su implementación. Este Comité debe conformarse de manera que siempre se tengan recursos destinados específicamente a la innovación y que no sean afectados por emergencias nacionales para evitar la pérdida de la continuidad en el proceso de transformación.

- c. Alcances/Entregables: Creación de un grupo que funcione como un comité central para la generación de la estrategia a nivel país, con misión, visión, objetivos, alcances, recursos, funciones, entre otros; y el seguimiento adecuado para la correcta implementación de la metodología BIM coordinada por un comité central.
- d. Antecesoras:
 - No tiene

Tarea P2. Validación del marco normativo

- a. Objetivo: Comparar el marco normativo actual en las políticas de obra pública para determinar si se debe modificar de acuerdo con los requerimientos para el uso del BIM
- b. Descripción: El desarrollo de esta metodología impacta en las directrices, estándares y normativa dentro de la organización; se debe hacer un análisis de la legislación existente para que sea compatible con BIM, favorecer su implementación para hacer competitivos y más eficientes los procesos de obra pública en el país.
- c. Alcances/Entregables: La creación o modificación de la legislación existente que permitan la integración de los flujos de trabajo BIM en los procedimientos institucionales del sector público.
- d. Antecesoras:
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM

Tarea P3. Formación de un comité para la estandarización BIM

- a. Objetivo: Crear un grupo de trabajo para desarrollar un estándar, protocolos y guías para la implementación de BIM en proyectos de obra pública.
- b. Descripción: Se han desarrollado esfuerzos en el sector privado para establecer estándares en la metodología BIM y las organizaciones normativas del país como INTECO y el CFIA han iniciado investigaciones en esta materia.
- c. Alcances/Entregables: Se debe organizar un grupo de trabajo con actores de experiencia para el desarrollo de la estandarización de esta metodología en el país.
- d. Antecesoras:
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM

Tarea P4. Coordinación con los planes nacionales existentes

- a. Objetivo: Alinear la estrategia BIM dentro de los planes de desarrollo nacionales
- b. Descripción: Se debe buscar la optimización de los recursos públicos alineando esta metodología a las políticas existentes sobre el tema.
- c. Alcances/Entregables: Se busca que esta metodología contribuya con los objetivos para la estrategia del desarrollo nacional en materia de inversión pública y desarrollo de proyectos.
- d. Antecesoras:
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM

Tarea P5. Desarrollo de programas académicos

- a. Objetivo: Capacitar a las personas que laboran dentro del campo de la construcción en el uso de la metodología.
- b. Descripción: Dentro del diagnóstico realizado, varios profesionales que tienen amplia experiencia en el uso de la metodología BIM indicaron que la mayor inversión era la formación del capital humano necesario para el desarrollo de proyectos. Impulsar el desarrollo de programas de capacitación que contemplen no solo el uso de software, sino que integren también flujos de trabajo y estándares dentro del proceso de formación es un paso importante para que la implementación sea exitosa. Como se pudo observar en el diagnóstico, el sector académico está iniciando sus pasos y los esfuerzos importantes se centran en pocas unidades académicas. Debe

trabajarse en conjunto con el sector académico para que las universidades, colegios técnicos e instituciones como el INA desarrollen sus programas orientados a las necesidades del país.

- c. Alcances/Entregables: Desarrollo en coordinación en el sector académico, de un plan de formación obra capital humano.
- d. Antecedentes:
 - Tarea D1. Desarrollo de roles BIM en los proyectos e identificación de capacidades necesarias.

Modelación

Tarea P6. Difusión de la estrategia

- a. Objetivo: Dar a conocer la existencia de la estrategia BIM y sus beneficios estimados
- b. Descripción: La difusión de esta herramienta es importante con el propósito de aprovechar los recursos de que dispone el sector público, generar interés de los distintos sectores a nivel país, de manera que todos los actores se preparen y participen de manera activa en los cambios que se van a desarrollar. Esto debe seguir la línea que se ha trazado desde el esfuerzo de Casa Presidencial a inicios de 2019 bajo el interés del Sector Público de desarrollar un Plan Nacional de manera que se visualice el esfuerzo realizado en beneficio de estos proyectos.
- c. Alcances/Entregables: Estrategia y Plan de comunicación atención a los cambios que favorezca la modernización en los proyectos de obra pública.
- d. Antecesoras:
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM

Tarea P7. Implementación y actualización de la estrategia

- a. Objetivo: Ejecutar la estrategia elaborada por el comité BIM para desarrollar la adopción de la metodología en los proyectos de obra pública.
- b. Descripción: Una vez desarrollado y presentado la estrategia, se debe ejecutar de manera que haya un seguimiento continuo en el que se obtenga la información de las diferentes líneas de trabajo para realizar los ajustes necesarios de la estrategia de manera que se alcancen los objetivos propuestos desde el inicio de la planificación.

- c. Alcances/Entregables: Inicio de la transformación de los flujos de trabajo y de la preparación para la adopción de la metodología BIM realizando una gestión del proceso de cambio para evitar la mayor cantidad de resistencia posible.
- d. Antecesoras:
 - Tarea P6. Difusión de la estrategia.

- Colaboración

Tarea P8. Establecer alianzas entre los sectores privado y académico.

- a. Objetivo: Incorporar al sector público y a la academia para cooperar en conjunto en alcanzar los beneficios de la implementación de la metodología BIM.
- b. Descripción: Para la implementación de la metodología BIM de manera efectiva se requiere la colaboración del sector público y el sector privado como se estableció dentro de la estrategia chilena. Estos sectores se deben integrar dentro del comité BIM y en los grupos de trabajo y así generar una articulación efectiva de actores. Es importante recordar que el sector privado tiene una experiencia valiosa en el uso de la metodología y que es de gran valor para desarrollar los primeros pasos.
- c. Alcances/Entregables: Articulación de esfuerzos entre los principales sectores involucrados.
- d. Antecesoras:
 - Tarea P6. Difusión de la estrategia.

Tarea P9. Elaboración de un estándar nacional para el uso de BIM en proyectos

- a. Objetivo: Desarrollar lineamientos, directrices y un marco de referencia estandarizado que establezca las bases de los requerimientos y los flujos de trabajo en BIM
- b. Descripción: Es necesario generar un marco de referencia mediante el cual la codificación y la comunicación permitan la comprensión de todo el sector de la construcción. Además, la elaboración de guías y protocolos debe basarse en estos estándares, con el objetivo de facilitar el uso de la metodología dentro de la gestión de los proyectos. Por ejemplo, el establecimiento de un esquema unificado para la elaboración del BEP. Esto es importante para asegurar la interoperabilidad de la información desarrollada y permitir una coordinación e integración óptima de los

actores involucrados en los proyectos de obra pública. Esto se debe desarrollar durante la ejecución de los proyectos piloto para permitir desarrollar ajustes y debe culminar con una revisión general.

- c. Alcances/Entregables: Documento preliminar con el estándar nacional y las guías para la ejecución de proyectos en BIM.
- d. Antecedentes:
 - Tarea P3. Formación de un comité para la estandarización BIM
 - Tarea P6. Difusión de la estrategia.

Tarea P10. Impulsar los programas de capacitación

- a. Objetivo: Aumentar el alcance de los programas de capacitación relacionados con la metodología BIM.
- b. Descripción: Se debe buscar un aumento en el desarrollo del capital humano dado que este es un recurso escaso, principalmente en el sector público, de acuerdo al diagnóstico elaborado y a la percepción de los entrevistados. Para esto se debe facilitar el acceso mediante ayudas económicas y difusión de oportunidades en todo el país.
- c. Alcances/Entregables: Generación de becas para facilitar la accesibilidad a los programas de capacitación e incremento del capital humano con capacidades de desarrollar actividades en proyectos BIM.
- d. Antecedentes;
 - Tarea P5. Desarrollo de programas académicos.

Tarea P11. Establecer un programa de investigación

- a. Objetivo: Generar una línea de investigación conjunta
- b. Descripción: Para optimizar recursos y evitar que se generen investigaciones en competencia, se debe desarrollar una línea de investigación unificada que tenga como objetivo evaluar aspectos de la metodología, buscar la solución a un problema existente o ampliar los conocimientos existentes. Para esto se puede desarrollar un banco de proyectos que sea alimentado por los tres sectores. Una idea similar la ha planteado el BIM Forum.
- c. Alcances/Entregables: Creación de un banco de proyectos para la adquisición de conocimientos necesarios en el proceso de adopción BIM.

d. Antecedentes:

- Tarea P5. Desarrollo de programas académicos.
- Tarea P8. Establecer alianzas entre los sectores privado y académico.

Tarea P12. Elaboración de programa de certificación para los programas académicos

- a. Objetivo: Asegurar la calidad del recurso humano que se genera de los programas de capacitación.
- b. Descripción: Se debe tener un control de los programas que se desarrollan con el objetivo para capacitar a las personas dentro de la gestión de proyectos en BIM. Para esto se debe generar un proceso de control de calidad para asegurar que el recurso humano tenga las capacidades optimas durante el proceso de implementación. Se debe contemplar tanto las unidades académicas que están formando nuevos profesionales como a los centros de actualización para profesionales ya incorporados en el campo laboral y los centros de formación técnica. El objetivo a largo plazo de este programa es que la metodología BIM permee en los procesos de formación de los profesionales para que se vuelva conocimiento básico en la labor profesional.
- c. Alcances/Entregables: Programa de certificación para el desarrollo de capacitaciones en BIM.
- d. Antecedentes:
 - Tarea P5. Desarrollo de programas académicos.

- Integración

Tarea P13. Aplicación de los Estándares elaborados

- a. Objetivo: Establecer una base regulatoria para el control de los proyectos que apliquen la metodología BIM en la administración de los proyectos de obra pública.
- b. Descripción: Una vez desarrollados los estándares y ajustados con base en la experiencia obtenida de los proyectos piloto, se deben publicar para su uso general en todos los proyectos. Las directrices deben incentivar la aplicación de la metodología, no como una imposición, sino como un beneficio para las partes involucradas en los proyectos. Además, se deben hacer uso de las guías para la gestión de la información BIM de tal manera que se controlen los procesos y se

generen facilidades que disminuyan el riesgo de la aplicación de las herramientas BIM.

- c. Alcances/Entregables: Colocación y difusión del estándar generado por los sectores involucrados dentro de las practicas existentes.
- d. Antecedentes:
 - Tarea P9. Elaboración de un estándar nacional para el uso de BIM en proyectos

Tarea P14. Desarrollo de seminarios y foros para impulsar el conocimiento sobre la metodología y presentar las experiencias a nivel nacional

- a. Objetivo: Difundir la metodología BIM en el sector de la construcción y homologar el conocimiento actual.
- b. Descripción: Con el desarrollo de Congreso de la Construcción y la presentación organizada por la Oficina de la Primera Dama, se ha generado un interés por parte en el sector de la construcción, según los entrevistados en el proceso de diagnóstico. Sin embargo, se determinó que todavía es necesario realizar una mayor difusión de la metodología, en donde se presenten los casos de éxito y las experiencias dentro del país, así como los planes a futuro por parte de actores interesados como el BIM Fórum o el Comité BIM que se está desarrollando. Además, todavía hay ideas erróneas de parte de algunos sobre la metodología BIM y la forma de su aplicación, estos espacios permitirán solucionar parte de las brechas del conocimiento actual.
- c. Alcances/Entregables: Impulso de la adopción de la metodología BIM a nivel nacional.
- d. Antecedentes:
 - Tarea P5. Desarrollo de programas académicos.
 - Tarea P6. Difusión de la estrategia.

Tarea P15. Incorporación del proceso de la tramitología de todo proyecto de construcción dentro del marco de la metodología BIM.

- a. Objetivo: Alinear la tramitología para obtener los permisos de construcción en una forma de trabajo BIM.
- b. Descripción: De manera que la metodología BIM facilite todos los puntos que conlleva el desarrollo de un proyecto de obra pública, se debe integrar a las instituciones y organizaciones que otorgan los permisos de construcción. Este proceso ya ha tenido una serie de mejoras como la incorporación del APC por parte del CFIA, pero es necesario que el proceso se ajuste a las nuevas formas de documentación y los flujos de trabajo en BIM. Además, da el potencial de desarrollar formas más simples y eficientes realizar sus labores.
- c. Alcances/Entregables: Incorporación de los permisos de construcción en la gestión de proyectos con BIM.
- d. Antecesoras:
 - Tarea D2. Plan para mejorar la gestión de proyectos en obra pública
 - Tarea D5. Ejecución de proyectos piloto.
 - Tarea P2. Validación del marco normativo.

Tarea P16. Seguimiento de la coordinación con la alianza latinoamericana

- a. Objetivo: Cooperar con países de la región para transmitir experiencia y buscar el desarrollo conjunto de los países latinoamericanos.
- b. Descripción: Los esfuerzos de la primera dama y el apoyo del BID deben aprovecharse, la experiencia de países como Chile que han dado pasos importantes será de gran utilidad. Los esfuerzos conjuntos también facilitarían la generación de información e impulsarían el desarrollo de capacidades y madurez.
- c. Alcances/Entregables: Fortalecimiento continuo de las relaciones multinacionales desarrolladas para la cooperación en temas BIM.
- d. Antecesoras:
 - Tarea P1. Formación de un comité BIM

Tarea P17. Generar obligatoriedad del uso de la metodología BIM para los proyectos de obra pública

- a. Objetivo: Eliminar viejas metodologías para desarrollar los procesos para desarrollar y gestionar obra pública.
- b. Descripción: Pasados los procesos de preparación y con una madurez más sólida en el uso de la metodología BIM, se deben abandonar viejas formas de trabajo y centralizar los esfuerzos de forma unificada. Para este punto el sector público ya integro la metodología BIM en los flujos de trabajo al igual que los otros sectores. Los procesos, las políticas y la tecnología incorpora los conceptos de madurez y se gestiona con procesos de mejora continua para incorporar en la práctica los avances desarrollados por la investigación y la innovación.
- c. Alcances/Entregables: Programa de implementación obligatoria y total de la metodología BIM en los proyectos de obra pública.
 - Tarea T6. Cierre de plataformas antiguas para el desarrollo de obra pública
 - Tarea D11. Integración de las bases de datos para utilizarlas en las estrategias de desarrollo del país
 - Tarea P15. Incorporación del proceso de la tramitología de todo proyecto de construcción dentro del marco de la metodología BIM.

4.3. Mapa de ruta para la implementación de la metodología BIM

En esta sección se procede a plantear la estrategia que se propone de manera gráfica, en ésta se incorporan las diferentes dimensiones del modelo de implementación para desarrollar un proceso integral de amplio alcance con una lista de macro actividades en el sector público que se desarrollarán mediante las 34 tareas previamente definidas. Esta hoja de ruta establece una estrategia teórica de alto nivel que funcionaría como base para definir y detallar las diferentes acciones que se establezcan de manera formal dentro del proceso de implementación a nivel nacional.

Parte de las ventajas que presenta el mapa de ruta es que transmite una primera visión general con el objetivo claro de implementación del BIM en Costa Rica para obra pública. Además, se presenta en una forma gráfica clara y simple, de tal manera que funcione como visualización general de la estrategia completa apoyada a través de grandes actividades que se deben elaborar durante el periodo de implementación. Para esto se realizaron dos representaciones gráficas que

se complementan y sirven para darle seguimiento a la implementación y gestionar la información de manera que se fácil de manipular.

La hoja de ruta presentada en la Figura 59, corresponde a un diagrama de barras (Gantt) que muestra cómo las tareas deben desarrollarse de manera paralela para ir aumentando capacidades en los diferentes campos de manera que se complementen entre sí y sean más fluidas dentro de los proyectos de obra pública. Al mismo tiempo se muestra de una manera simple, cómo algunas tareas van a trabajarse en diferentes fases para aportar experiencia e información que apoye a los tomadores de decisiones y así ir modificando la estrategia cuando sea necesario y siempre en la búsqueda de optimizar más la forma en como el país invierte en su infraestructura para mejorar su competitividad.

De la misma forma, la hoja de ruta presentada en la Figura 60, también muestra las tareas propuestas para una implementación progresiva de la metodología BIM. En este caso se utilizó un diagrama de etapas concéntricas que representan todos los esfuerzos confluyendo en un mismo punto conforme se avanza en el proceso de adopción. Las tareas se colocaron dentro de la etapa en la que comienzan a desarrollarse y su extensión se indica a partir de diferentes tipos de señalización. Adicionalmente, se agregaron las etapas que ya deben irse trabajando con anterioridad para poder identificar con mayor facilidad cual es el orden de las tareas de manera secuencial. Es importante aclarar que esta representación no muestra el orden en el que las tareas van a desarrollarse dentro de cada una de las fases, pero sí permite identificar cuáles son los campos y las fases en las que se van a desarrollar la mayoría de las tareas.

Por la complejidad que presenta la hoja de ruta mostrada en la Figura 60, se presenta en la una simbología para su mejor comprensión.

SIMBOLOGÍA	
 Pre-BIM	 Antecesoras
 Modelación	 Continua por una fase
 Colaboración	 Continua en todas las fases
 Integración	 Continua por dos fases

Figura 58. Simbología de la hoja de ruta representada mediante un diagrama de etapas concéntricas.

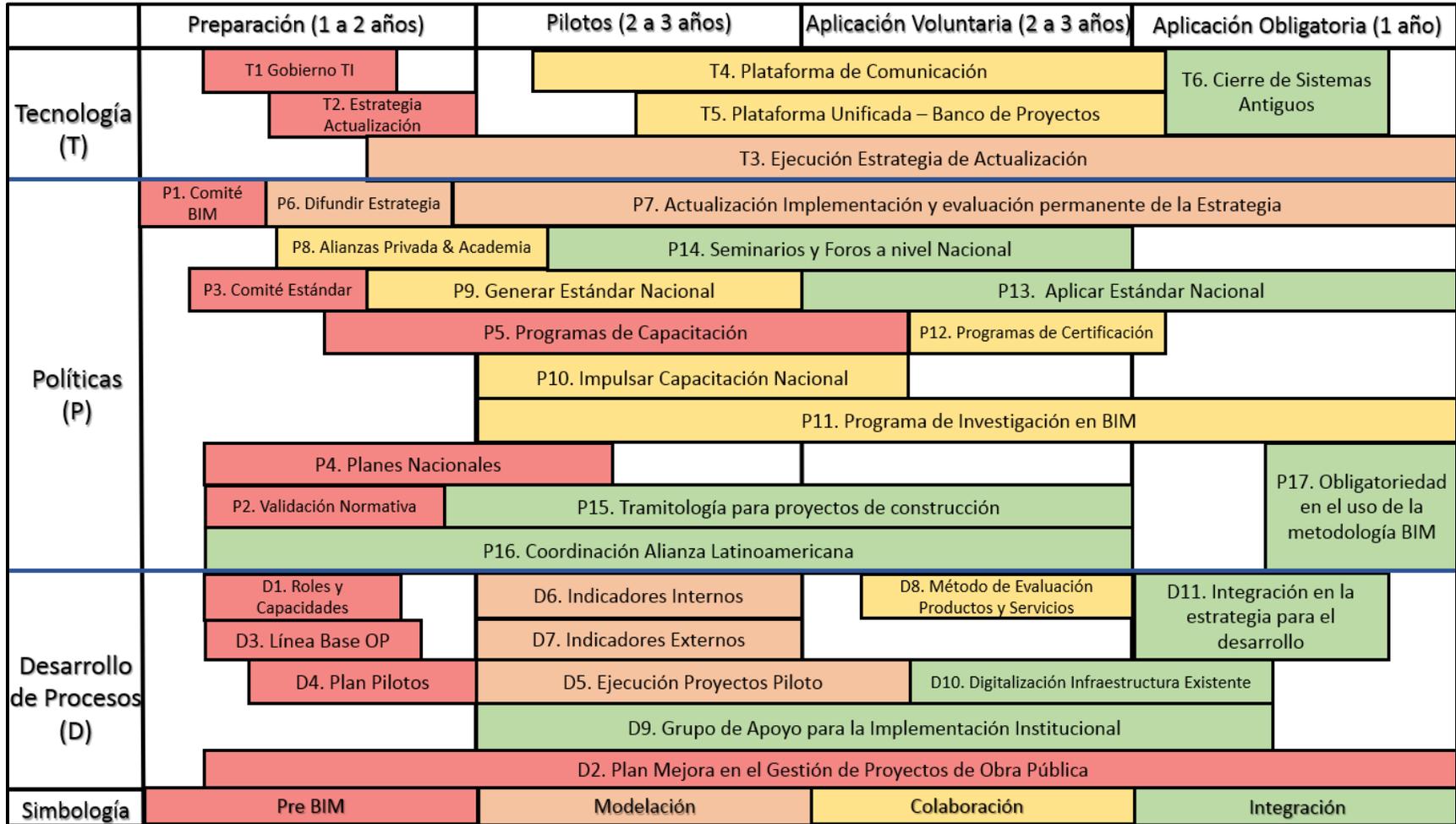


Figura 59. Hoja de ruta para la implementación de la metodología BIM en Costa Rica representada mediante un diagrama Gantt
Elaborado por autor

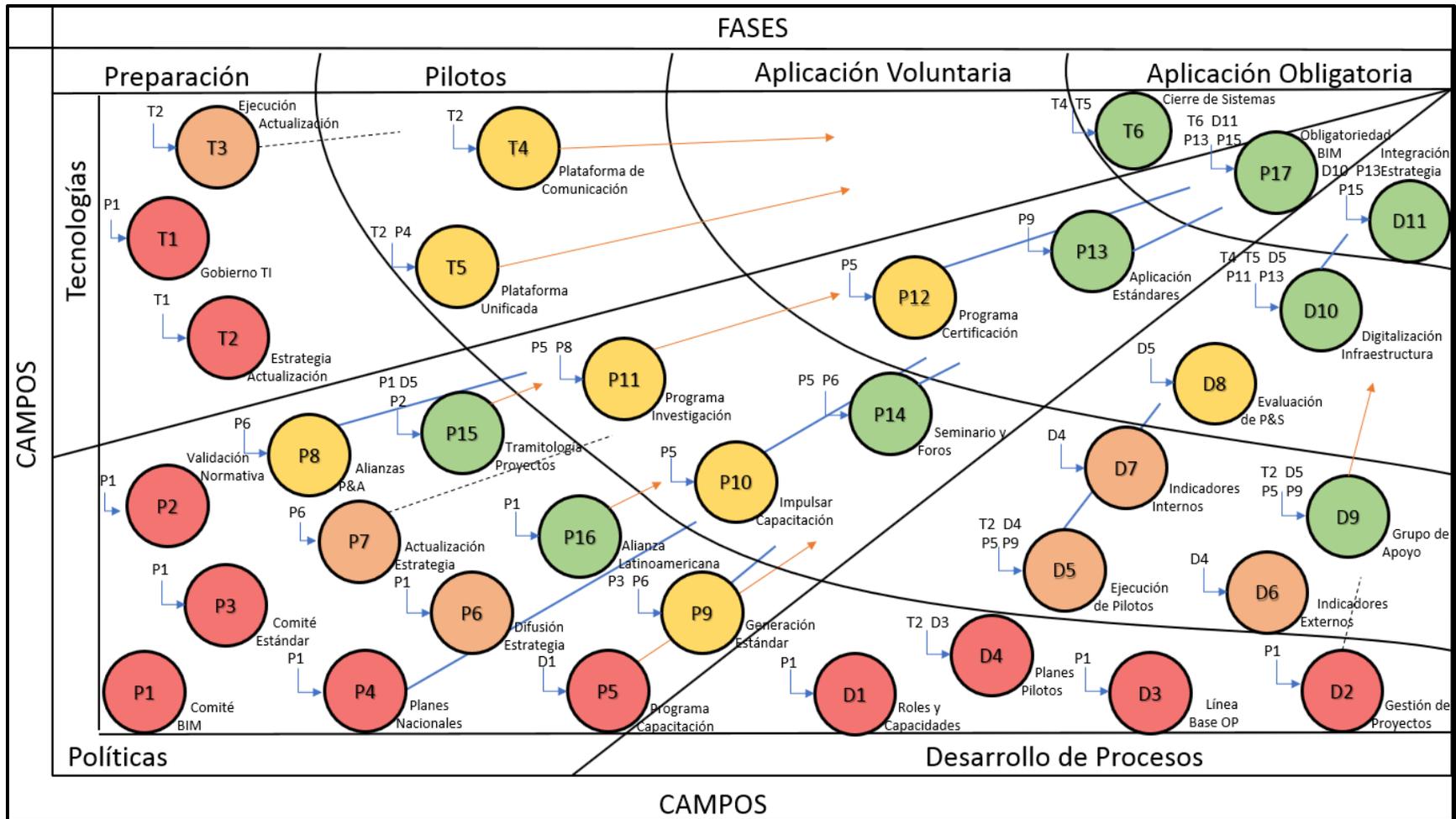


Figura 60. Hoja de ruta para la implementación de la metodología BIM en Costa Rica representada mediante un diagrama de etapas concéntricas
Elaborado por autor

Se debe resaltar que, para ambos casos, la secuencia de las tareas dentro de las diferentes fases busca generar una base de conocimiento y capacidades mínimas que permitan desarrollar las tareas en forma secuencial y que al final, busquen una integración completa donde la metodología se utilice de manera eficiente en todos los proyectos de obra pública, actualizando los procedimientos con base en las experiencias y en los avances tecnológicos.

No deben omitirse las limitaciones que se presentan dentro de esta propuesta. Una de las más importantes, que parte de supuestos que se deben cumplir son los relacionados con la voluntad política para impulsar la implementación del BIM dentro de la cultura organizacional de los procesos para desarrollar proyectos de obra pública y que se basa en una perspectiva estratégica no técnica, por lo que requiere de rigurosidad su seguimiento y que las micro decisiones técnicas no atenten contra la visión integral.

Esta propuesta se basa en una perspectiva de alto nivel, es decir, hay una serie de detalles que se deben abordar cuando se realice la planificación detallada de cada una de las actividades o etapas. Esto se puede ejemplificar en la falta de incorporación de elementos relacionados con los costos o recursos necesarios que si los debe incluir un plan de proyecto. Igualmente, no lleva un mapa de riesgos ya que este se debe elaborar para cada una de las actividades detalladas.

Adicionalmente, esta propuesta no es una hoja de ruta rígida, por lo que debe irse ajustando en el tiempo conforme se van realizando las actividades detalladas o cambian las condiciones del entorno. El detalle de las precedencias es general por lo que cuando se vayan refinando las actividades pueden existir condiciones que deban darse antes de iniciar alguna tarea. Adicionalmente, la perspectiva de tiempo es relativa dado que depende a la planificación que debe desarrollarse en los proyectos detallados.

4.4. Actores recomendados dentro del proceso de la implementación BIM

Para desarrollar con éxito la estrategia de implementación a nivel nacional, se requiere identificar las instituciones que puedan aportar al desarrollo de experiencia y que tienen un conocimiento sobre el tema BIM. En la Figura 61, se presenta una recomendación de los actores que pueden involucrarse al corto o mediano plazo dentro del proceso de implementación. Esta lista surge a partir del diagnóstico, la búsqueda de información sobre los proyectos de obra pública y la información suministrada por los planes nacionales de desarrollo.

Como puede observarse, se propone un comité intersectorial con el MIDEPLAN a la cabeza como se propuso por los profesionales encuestados. De esta manera se aprovechan los esfuerzos realizados por la oficina de la primera dama para empoderar al MIDEPLAN y se incluyen todas las instituciones o sectores que pueden aportar al proceso de adopción BIM. Para poder tener un esquema más organizado se plantea dividir a los actores en dos grupos: un comité líder y otros actores participantes.

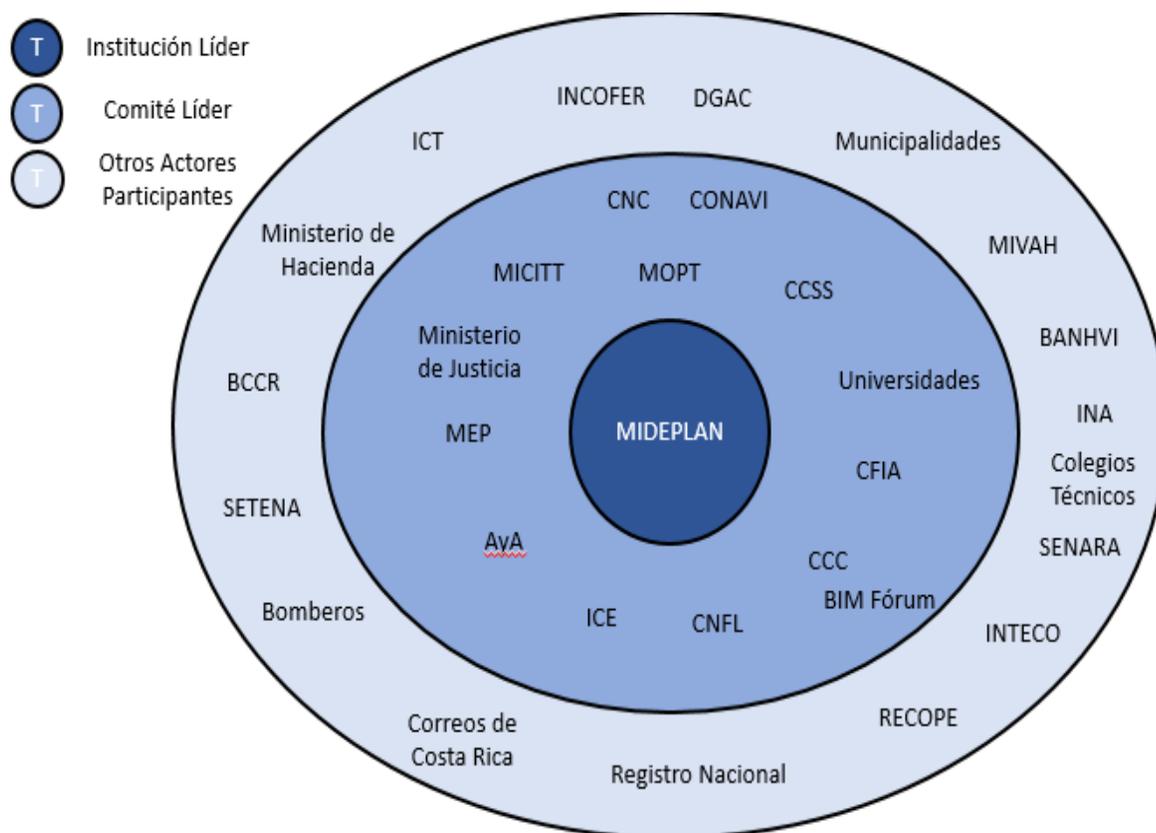


Figura 61. Actores recomendados dentro de la estrategia para la implementación de la metodología BIM

El comité líder debe estar conformado por instituciones que desarrollen la mayor cantidad de obra pública que sería la relacionada con el sector transporte o servicios básicos, como lo son MOPT, CONAVI, AyA, ICE, CNFL y CNC. También debe aprovecharse los esfuerzos realizados hasta el momento e incorporar al MEP, CCSS, Ministerio de Justicia y al MICITT ya que han formado parte de los esfuerzos realizados por la primera dama y han participado en la visita a Chile para conocer el proceso de implementación en ese país. Además, se debe incorporar dentro de este comité a al sector privado (como los son la CCC y al BIM Forum) y a la academia

(específicamente a las universidades) para aprovechar sus capacidades y facilitar el proceso de implementación.

Posteriormente, debe haber un grupo de otros actores involucrados que apoyen el proceso de implementación dando sus opiniones sobre las decisiones que se van a aplicar. En este caso deben aparecer actores como el Ministerio de Hacienda o el BCCR que son los entes encargados de regular economía nacional, ver el impacto que tiene la inversión sobre las finanzas del país y el presupuesto del estado. También se integran a las instituciones encargadas de tramitar los permisos para la construcción como lo son SETENA, Bomberos o las municipalidades. En el caso de las municipalidades también debe aclararse que se deben tomar en cuenta por las obras de infraestructura que realizan como parte de la red vial cantonal. Adicionalmente, se agregaron a todas aquellas instituciones que tienen iniciativas para la implementación del BIM de manera interna (es el caso del Registro Nacional, Correos de Costa Rica y DGAC) o que tienen proyectos ya establecidos dentro del Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2022.

Cabe aclarar que el CFIA e INTECO se incorporan por los esfuerzos que han estado realizando y las tareas que pueden desempeñar dentro del proceso de implementación, deben seguir realizando el desarrollo de normas y fiscalización. Asimismo, se aclara que la lista de actores puede crecer ya que al final del proceso de implementación la idea es que todas las instituciones logren planificar, diseñar, construir y mantener toda la infraestructura necesaria para operar y dar el servicio para el que fueron creadas con la ayuda de la metodología BIM.

Finalmente, en el Cuadro 6 se presenta la forma en la que se deben integrar los diferentes grupos dentro de las distintas tareas de la hoja de ruta. Cabe aclarar que los grupos planteados pueden crecer dependiendo de la futura estrategia planteada por el comité y la continua difusión de la metodología BIM. A su vez, las instituciones pueden cambiarse de agrupación dependiendo de las decisiones que se tomen.

Cuadro 6. Relación entre los grupos de actores recomendados y las tareas de la hoja de ruta propuesta.

Información de tareas		Grupos de actores		
Código	Nombre	Institución Líder	Comité Líder	Otros Actores Participantes
T1	Gobierno TI	√	√	
T2	Estrategia Actualización	√	√	
T3	Ejecución Estrategia Actualización	√	√	√
T4	Plataforma de comunicaciones	√	√	√
T5	Plataforma unificada	√	√	√
T6	Cierre de sistemas Antiguos	√		
D1	Roles y Capacidades		√	
D2	Plan de Mejora en la Gestión de Proyectos de Obra Pública	√	√	√
D3	Línea Base OP	√		
D4	Plan Pilotos	√	√	
D5	Ejecución de Proyectos Piloto	√	√	
D6	Indicadores Internos	√	√	√
D7	Indicadores Externos	√	√	√
D8	Método de Evaluación Productos & Servicios	√	√	
D9	Grupo de Apoyo para la Implementación Institucional	√	√	
D10	Digitalización de la Infraestructura Existente	√	√	√
D11	Integración en la Estrategia para el desarrollo	√		
P1	Comité BIM	√	√	
P2	Validación Normativa	√		
P3	Comité Estándar	√	√	√
P4	Planes Nacionales	√		
P5	Programas de Capacitación		√	
P6	Difundir Estrategia	√	√	
P7	Actualización Implementación y evaluación permanente de la Estrategia	√	√	
P8	Alianzas Privada & Academia	√		
P9	Generación Estándar Nacional	√	√	√
P10	Impulsar Capacitación Nacional	√	√	√
P11	Programa de Investigación en BIM		√	
P12	Programas de Certificación		√	
P13	Aplicar Estándar Nacional	√	√	
P14	Seminarios y Foros a nivel Nacional	√	√	
P15	Tramitología para proyectos de construcción		√	√
P16	Coordinación Alianza Latinoamericana	√		
P17	Obligatoriedad en el uso de la metodología BIM	√	√	√

Al igual que el caso de Chile y como se plantea por parte de algunos entrevistados, se propone que la formación del "Comité BIM" (Tarea P1) se realice integrando representantes de los tres sectores involucrados en el proceso de implementación, sector público, sector privado y la academia. La estructura del comité se presenta en la Figura 62.

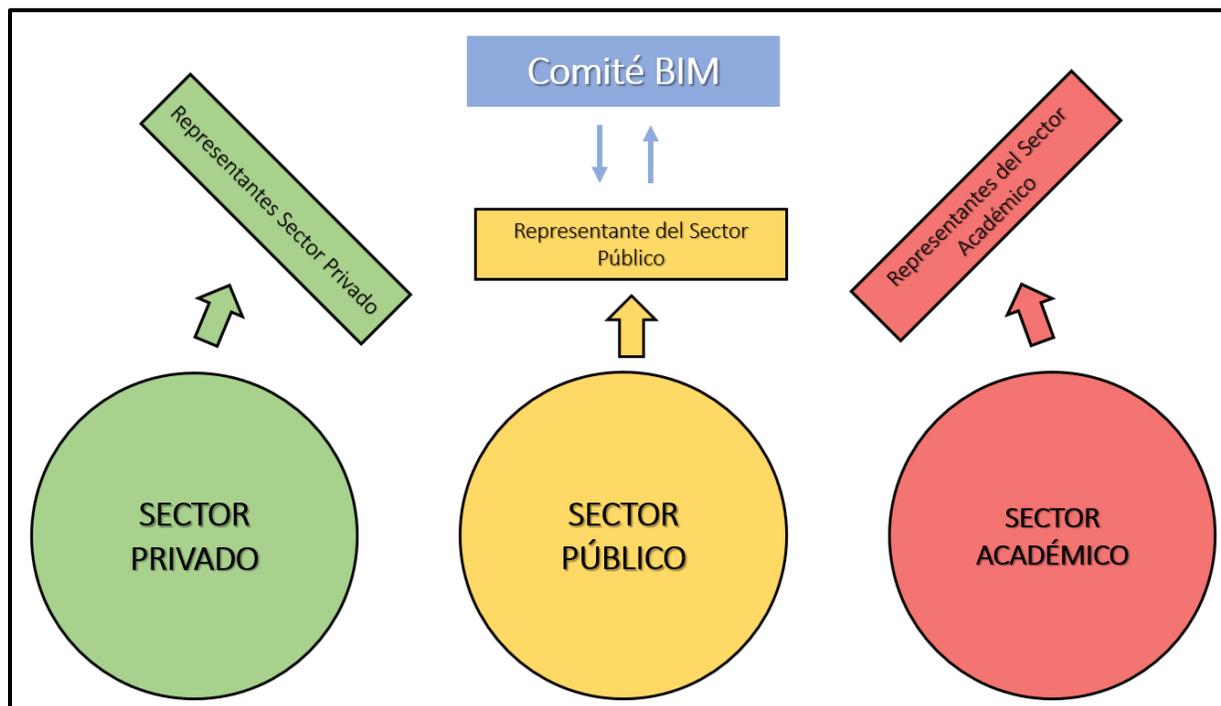


Figura 62. Estructura organizacional del Comité BIM.

Como se vio en el diagnóstico realizado, se han empezado a formar algunas agrupaciones que tienen el fin de impulsar la implementación de la metodología BIM, por lo tanto se deben unificar de manera que tengan representación dentro del proceso del cambio, estableciendo protocolos de consulta y una comunicación bilateral de manera que las decisiones no se enfoquen en las necesidades y los beneficios de un solo sector. Para esto se deben asignar roles a los diferentes sectores y dividir la carga de los esfuerzos por realizar. Con base en el marco de referencia y las experiencias internacionales se puede distribuir los roles como se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Roles de los sectores dentro del proceso de implementación.

Sector	Roles
Académico	<ul style="list-style-type: none"> → Capacitar o incorporar docentes que van a desarrollar los cursos en donde se va a integrar las herramientas BIM. → Desarrollar programas de capacitación para generar capital humano con conocimiento de la metodología BIM. → Impulsar la investigación dentro de la metodología BIM para desarrollar conocimiento a nivel nacional. → Gestionar programas de becas o de financiamiento para facilitar la capacitación en BIM. → Desarrollar y mantener una infraestructura tecnológica actualizada. → Identificar de los roles y las capacidades BIM dentro de la industria.
Privado	<ul style="list-style-type: none"> → Promover la capacitación y la implementación de la metodología BIM en el sector. → Apoyar al sector académico en la identificación de los roles y las capacidades BIM dentro de la industria. → Impulsar la difusión de la metodología y fomentar su uso dentro del sector de la construcción. → Capacitar al personal de las empresas en el uso de la metodología BIM. → Compartir las experiencias y los casos de éxito para apoyar al sector público en la elaboración de estándares y protocolos.
Público	<ul style="list-style-type: none"> → Liderar el proceso de implementación a nivel nacional. → Apoyar en el proceso de difusión de la metodología BIM en Costa Rica. → Capacitar al personal del sector público dentro de los entornos BIM, → Desarrollar un estándar para el uso de la metodología BIM dentro de los proyectos de obra pública. → Dar seguimiento continuo al proceso de implementación. → Fomentar la implementación de la metodología BIM dentro de las instituciones públicas.

4.5. Validación de la hoja de ruta con la ayuda de un comité de expertos.

Como último paso, se procedió a presentar los resultados obtenidos y la propuesta elaborada a un comité experto conformado por 8 profesionales que representan a los 3 sectores involucrados en el proceso de adopción. Esta presentación fue realizada el miércoles 15 de mayo del 2019 a las 6:30 pm, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica.

A continuación, se explican los resultados obtenidos a partir de un instrumento de evaluación que contempla los puntos más relevantes en los que se basa la propuesta identificando el nivel de aceptación en una escala del 1 al 10. El instrumento se presenta en la sección 7.5 y sus resultados se representan en la Figura 63.

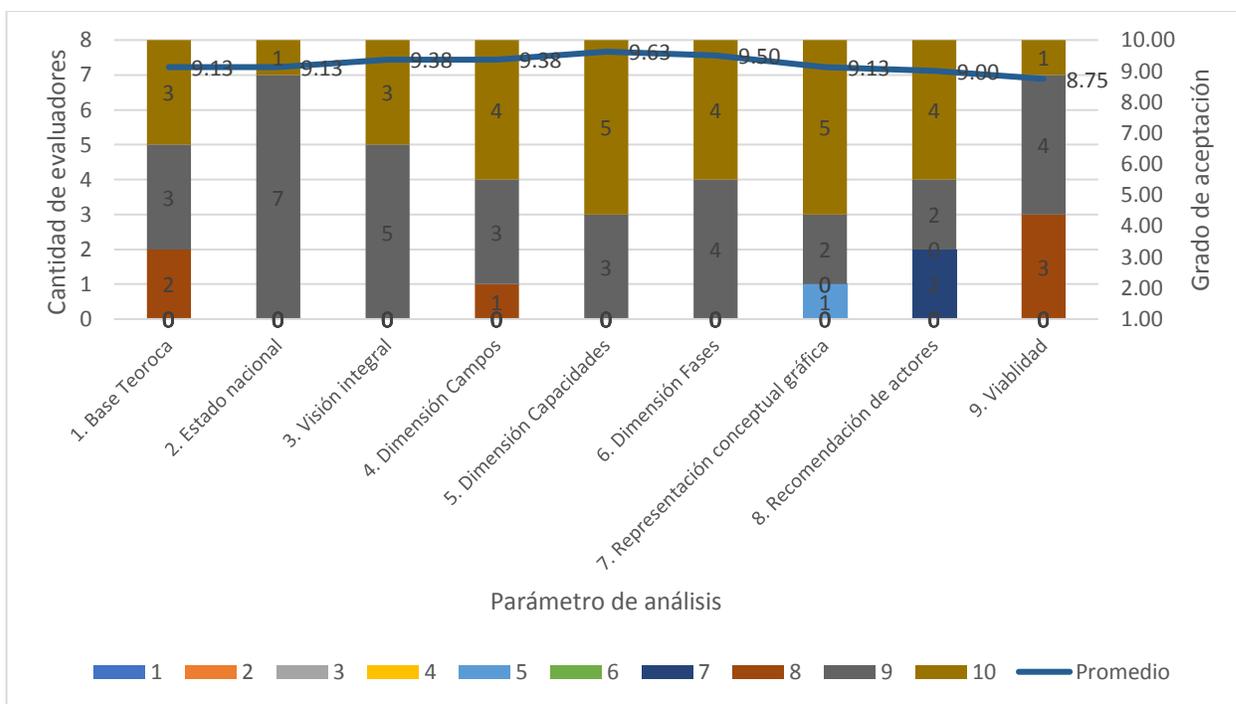


Figura 63. Resultados de la validación realizada al comité experto.

Como se puede apreciar, la mayoría de los evaluadores indicaron que estaban totalmente de acuerdo con los conceptos teóricos utilizados para elaborar la hoja de ruta con un promedio de 9,13. Esto implica éstos están bien fundamentadas para el comité de validación y se relacionan con los procesos de implementación a nivel internacional.

Para el caso del estado nacional, los evaluadores analizaron el diagnóstico elaborado para describir las características actuales del sector público y dar una idea clara de las oportunidades que tienen el sector privado y la academia, como apoyo a todo el proceso de implementación. Estos indicaron que estaban conformes con el trabajo realizado y los resultados presentados. El promedio de evaluación también fue de 9,13 lo que implica que el diagnóstico permite determinar el punto de partida para generar la propuesta de implementación en los proyectos de obra pública.

El comité también se mostró satisfecho con la visión integral de la propuesta otorgando una nota promedio de 9,38. Basado en el resultado, se puede indicar que la propuesta describe actividades de manera que se generen las capacidades y herramientas necesarias para progresar de manera gradual y ordenada dentro del proceso de implementación con el fin de desarrollar destrezas y herramientas BIM para apoyar los proyectos de obra pública.

El comité de validación también muestra un alto grado de aceptación en las 3 dimensiones utilizadas para realizar la propuesta. La dimensión de campos de impacto tuvo una calificación promedio de 9,38. Por lo tanto, los evaluadores están de acuerdo en que se representa de manera adecuada la forma en la que se desarrollan las políticas, los procesos y las tecnologías para trabajar de manera conjunta y lograr un avance integral en la implementación de la metodología BIM. En el caso de la dimensión de capacidades, se tuvo un promedio de aceptación de 9,63 indicando que la propuesta muestra cómo se van desarrollando los diferentes tipos de capacidades necesarias para un manejo amplio de las oportunidades que brinda la metodología BIM en los proyectos de construcción para infraestructura o edificaciones. En el caso de la dimensión fases, se obtuvo una calificación promedio de 9,5 por parte de los evaluadores indicando que están de acuerdo en que la propuesta muestra una serie de fases que permiten una visión de crecimiento gradual de manera que permita a todos los actores involucrados ir realizando cambios para adaptarse a las nuevas formas metodológicas para desarrollar la obra pública en el país.

Para el caso de la representación gráfica, los evaluadores indicaron que están conformes con la forma en la que se esquematiza visualmente la propuesta, presentando la información de manera que sea fácil de comprender y lo suficiente mente detallada para funcionar como una posible guía para el control de la estrategia de implementación.

Considerando los actores que se recomendaron en la propuesta, se obtuvo un grado de aceptación general de 9,0 por parte del comité de validación. Esto indica que están de acuerdo en que éstos representan las áreas de mayor impacto dentro de las inversiones en obra pública dentro de sus funciones y pueden generar el impulso necesario para que se dé una implementación generalizada en el sector público en el mediano o largo plazo.

Contemplando la viabilidad de la propuesta, el resultado general indicó que la hoja de ruta que se propone puede ser aplicada en el contexto nacional como una herramienta base que funcione para desarrollar la implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública. Además, sienta las bases para la gobernabilidad en el proceso para que este se desarrolle de manera incremental, controlada y medible. Esto con base en que se obtuvo un nivel de aceptación general de 8,75 por parte del comité de evaluación.

Entre los comentarios que dieron, se resalta la necesidad de que en un futuro se determine cuáles son los costos de la metodología a nivel nacional y cuáles son sus beneficios económicos a largo plazo. Además, se deben establecer los tipos de estructuras organizacionales y de comunicación entre los diferentes sectores y detallar a mediano plazo cuales deben ser las acciones que deben realizarse para iniciar el proceso de implementación.

En resumen, se logró obtener un alto nivel de satisfacción por parte del comité de validación en donde el promedio general de toda la propuesta es de 9,22. En este caso se puede afirmar que la propuesta elaborada puede servir como una primera aproximación para establecer una estrategia formal en el país, contemplando los diferentes aspectos necesarios para el proceso de adopción y detallando cuales son las capacidades que se deben ir adquiriendo de manera que el proceso es medible y gobernable.

CAPITULO 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se logró elaborar una hoja de ruta para la incorporación de la metodología BIM durante las fases de planificación, diseño, construcción y operación de la obra pública en Costa Rica.
- Hay desconocimiento en cuanto a la metodología BIM por parte de los profesionales que laboran en el sector público para desarrollar sus labores con mayor eficiencia en temas relacionados con la administración de los proyectos para mejorar la infraestructura del país.
- A nivel internacional ya se cuenta con experiencia en el uso de la metodología BIM y se han generado procesos de adopción por parte de algunos gobiernos con el fin de generar mandatos para la ejecución de proyectos de inversión pública con el uso de esta metodología. Por lo que, Costa Rica puede aprovechar las lecciones aprendidas para buscar una implementación más ágil.
- El BIM requiere poner en coordinación las distintas entidades públicas, esta es una de las principales deficiencias que tiene el país y que se necesita solucionar para sistematizar la ejecución de las obras, sin que se desarrollen interferencias o sobretrabajo.
- El proceso de adopción de la metodología BIM en la academia está en sus fases iniciales, todavía no hay ningún programa formalmente establecido por las unidades académicas para incorporar la metodología dentro de sus mallas curriculares. Sin embargo, se reconoce la necesidad y ya han empezado a incorporar algunas herramientas tecnológicas en algunos cursos que se basan principalmente en la elaboración de modelos.
- Actualmente, no hay una gran cantidad de investigaciones desarrolladas con base en la metodología BIM en el país. La mayoría de éstas están enfocadas en la administración de la construcción y en la elaboración de modelos.
- Se requiere dar capacitación a los docentes que pertenecen a las unidades académicas que forman profesionales en el campo de la construcción para que incorporen el uso de las herramientas y los flujos de trabajo dentro de los procesos de formación.
- El sector privado es el que tiene un mayor avance y una mayor madurez en cuanto al uso de la metodología BIM, principalmente en las capacidades que tienen que ver con desarrollar modelos que faciliten los trabajos de gestión de proyectos.
- El impulso desarrollado por el BIM Fórum y la Cámara Costarricense de la Construcción han logrado una mayor difusión de la metodología BIM a nivel nacional.

- Hay una necesidad creciente de parte de las empresas que utilizan BIM para que el país desarrolle regulaciones necesarias para un uso más amplio de la metodología.
- Recientemente surgió un interés para implementar esta metodología Costa Rica cuyo punto central ha sido la Oficina de la Primera Dama, que ha logrado el apoyo del sector privado y la colaboración de una alianza latinoamericana para la adopción del BIM en la región.
- Las entidades públicas que participaron en el diagnóstico no han desarrollado capacidades mínimas ni madurez para el uso de la metodología BIM y no se encontró evidencia de que alguna otra institución tenga importantes avances en una implementación.
- Existen algunas instituciones con el interés de desarrollar un proceso de implementación de la metodología BIM y han propuesto algunos proyectos piloto como pruebas de concepto para analizar su uso.
- Esta investigación facilita el punto de partida para el proceso de implementación de la metodología BIM en los proyectos de obra pública y cuáles deberían ser las funciones de los diferentes actores involucrados en el proceso de adopción.
- La hoja de ruta establece la formulación de algunos grupos de trabajo para iniciar el proceso de implementación así como el establecimiento de las tareas necesarias para desarrollar capacidades mínimas, herramientas y procesos que apoyen la implementación BIM y que incluyen la tarea de considerar los requerimientos para Costa Rica y los marcos de referencia utilizados de manera que exista un control y una gobernanza unificada para todos los proyectos de obra pública y las instituciones involucradas.
- Basado en lo descrito por los entrevistados y sobre el tema de administración de obra pública en las instituciones; se revela carencia de la gestión de los proyectos, especialmente en las fases de planificación, operación y mantenimiento en donde se desarrollan proyectos con pocos estudios y no se les da el mantenimiento adecuado.
- Se evidenció la falta de canales de comunicación dentro de las entidades del sector público para la sincronización de los planes de inversión en infraestructura pública para coordinar los proyectos basados en los trabajos que se van a realizar, por parte de algunos de los profesionales encuestados.
- Existen instituciones públicas que ya han desarrollado inversiones en adquisición de equipos y software para realizar trabajos de modelación que en algunos casos no se les saca provecho por falta de conocimiento y de capacitación para los funcionarios.

- Se desarrolló una lista con sugerencia de los actores que deben participar dentro del proceso de implementación en el corto y mediano plazo basado en el diagnóstico realizado y el Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2022.
- Considerando las cualidades de la herramienta BIM, y su aplicabilidad en otros países, así como la necesidad en el país de mejorar los requerimientos de obra pública, se considera que la factibilidad y buen aprovechamiento de esta metodología van a beneficiar al país.
- Se validó la propuesta con la ayuda de un comité experto conformado por profesionales del sector académico, sector público y sector privado.

5.2. Recomendaciones

- Como se menciona en la hoja de ruta desarrollada en este trabajo se propone que el Comité BIM contribuya con la coordinación para desarrollar diagnósticos en varios momentos del proceso de implementación de manera que se puedan realizar ajustes, controlar los esfuerzos y asignar los recursos que sean necesarios para que el cambio se lleve a cabo de manera gradual y continua dentro del desarrollo de obra pública.
- Determinar el nivel de difusión actual de la metodología BIM en Costa Rica y cuáles son las características de los proyectos que lo pueden aplicar y las empresas que la utilizan.
- Buscar apoyo internacional, principalmente para los proyectos de infraestructura de manera que se logren generar grupos de trabajo que obtengan experiencia en el uso del BIM para este tipo de estructuras.
- Fomentar a través de los programas académicos de los centros educativos en las carreras de ingeniería y arquitectura el conocimiento y la investigación del uso de la metodología BIM para analizar su impacto dentro de los proyectos de construcción y ayudar en el proceso de difusión para generar interés en todo el país.
- Aprovechar el Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública para elaborar el programa de proyectos piloto de manera que cubra todos los tipos de infraestructura y edificaciones de obra pública que se pueden realizar en el país.
- Analizar la aplicabilidad de otras tendencias que son compatibles con la metodología BIM como lo son la filosofía LEAN y las Ciudades Inteligentes para incorporarlos dentro del proceso de adopción y temas de sostenibilidad.

- Desarrollar estrategias formales de implementación dentro de las universidades en donde las unidades académicas que forman ingenieros y arquitectos determinen cuál es su visión de la forma en la que van a abordar proceso de cambio y cuáles son los recursos que van a necesitar.
- Realizar foros, charlas y otras actividades que muestren casos de éxito como retroalimentación de las diferentes formas en las que se puede aplicar el BIM y el impacto que tiene el uso de esta metodología para el sector construcción y la economía nacional.
- Enfocar la estrategia de implementación BIM para que todos comprendan que se trata de un cambio cultural en la forma en la que se realizan los proyectos y que uno de los pilares fundamentales es la generación de capital humano que permita realizar el cambio.
- Desarrollar un centro de investigación que se enfoque en la aplicación de las nuevas tendencias de la construcción a nivel mundial para analizar su viabilidad en el país.
- Se recomienda que el Comité BIM evalúe los recursos y las disponibilidades de financiamiento con las que cuenta el país de manera que la herramienta les facilite aprovecharlos de la forma más eficiente posible.
- Realizar una revisión constante de la actividad para garantizar el cumplimiento de las metas.
- Definir categorías y clasificación de los proyectos de obra pública según su tamaño y complejidad para que el proceso de obligatoriedad se realice de manera controlada y paulatina.
- Dar talleres y campamentos para jóvenes de escuelas y colegios que estén interesados en el campo de la construcción para que empiecen a desarrollar sus habilidades colaborativas y a conocer los conceptos fundamentales de las nuevas formas para elaborar proyectos de construcción como lo es la metodología BIM.

6. Referencias bibliográficas

- Aca, N. (4 de octubre de 2017). *EMPRESAS & MANAGEMENT*. Obtenido de EMPRESAS & MANAGEMENT: <http://www.estrategiaynegocios.net/empresasymanagement/1113886-330/resistencia-al-cambio-desaf%C3%ADo-de-las-empresas>
- AcadémiA Centroamérica. (2017). *La infraestructura vial en Costa Rica: desafíos y oportunidades para las asociaciones público-privadas*. San José: Academia de Centroamérica.
- Arreola, J. (17 de Agosto de 2018). La productividad en la construcción, muy baja. México. Recuperado el 24 de Septiembre de 2018, de <https://www.forbes.com.mx/la-productividad-en-la-construccion-muy-baja/>
- Artavia Gutiérrez, L., & Ortiz Madrigal, G. (2018). *La encrucijada de la infraestructura en Costa Rica*. Estudio EY. Obtenido de <https://www.construccion.co.cr/Multimedia/Archivo/4583>
- Autodesk Inc. (2015). *Las diez ventajas principales de BIM*. Autodesk Inc.
- Banco Central de Costa Rica. (enero de 2019). *Página Oficial: Banco Central de Costa Rica*. Recuperado el 16 de junio de 2018, de *Página Oficial: Banco Central de Costa Rica*: <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%202986>
- Barbosa, F., Woetzel, J., Mischke, J., Ribeirinho, M. J., Sridhar, M., Parsons, M., . . . Brown, S. (2017). Global construction has a productivity problem. En F. Barbosa, J. Woetzel, J. Mischke, M. J. Ribeirinho, M. Sridhar, M. Parsons, . . . S. Brown, *Reinventing construction through a productivity revolution* (págs. 15-19). McKinsey Global Institute.
- Basanez, E. (s.f.). *Usos del BIM según Pennsylvania State University*. Pennsylvania: Pennsylvania State University.
- Beague, G., Wachtelaer, P., Loncke, M., Bie, A. D., Marynissen, B., Pauwels, P., & Denis, F. (2015). *Building Information Modelling – Belgian Guide for the construction Industry*. Bruselas: Universidad Libre de Bruselas.
- BibLus. (10 de Julio de 2018). *¡El BIM llega a Brasil! Aquí están los 9 puntos más importantes para su difusión*. Obtenido de Biblus: <http://biblus.accasoftware.com/es/el-bim-llega-a-brasil-aqui-estan-los-9-puntos-mas-importantes/>

- BIM FORUM. (2019). *Level of Development (LOD) Specifications Part I & Commentary*. BIM FORUM.
- BIMCommunity. (14 de Octubre de 2016). *BIM in the world*. Obtenido de BIMCommunity: <https://www.bimcommunity.com/news/load/269/bim-en-el-mundo>
- BIMCommunity. (24 de Octubre de 2016). *La situación actual del BIM en el mundo*. Obtenido de BIMCommunity: https://www.bimcommunity.com/news/load/329/view_original
- BIMe Initiative. (2016). *Matriz de Madurez BIM*. Change Agents AEC.
- BIMThinkSpace. (10 de febrero de 2015). *BIMThinkSpace*. Obtenido de BIMThinkSpace: <http://www.bimthinkspace.com/bim-maturity/>
- Briones, C. (23 de Junio de 2017). *La Revolución del BIM en la coordinación de proyectos*. Punta Arenas, Chile.
- Calcagno, F. (agosto de 2018). *BIM EN EL SECTOR INDUSTRIAL*. San José, San José, Costa Rica: Miller Co.
- Campos, E. (2018). *Revisión de Proyectos en BIM*. Santiago, Chile: PuntoLab.
- Cardenas, L. (9 de Junio de 2015). *Ingeniería para disfrutar*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2018, de Ingeniería para disfrutar: <https://ingenieriaparadisfrutar.wordpress.com/2015/06/09/la-curva-de-macleamy-cuando-cuesta-menos-construir/>
- Change Agents AEC. (2016). *Matriz de Madurez BIM*. Melbourne: BIMe Initiative.
- Chonkan, L. (2016). *Modelado de Información de la Edificación como Herramienta para la Programación de Obra y Mejoramiento de la Constructibilidad*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Tarea P1. CICE. (2018). *BIM, obligatorio en España desde 2018*. Obtenido de CICE: La Escuela Profesional de Nuevas Tecnologías: <https://www.cice.es/noticia/landing-blog/bim-obligatorio-espana-2018/>
- Cisneros, M. F. (26 de octubre de 2014). *Sugeval abre tres vías para financiar obra pública y privada*. *El Financiero*.

- Cisneros, M. F. (23 de Febrero de 2019). Inversión de obra pública se dinamizará este año. *EL FINANCIERO*, pág. 12.
- De Cicco, R. (25 de Enero de 2018). *AECMAGAZINE*. Obtenido de AECMAGAZINE: <https://www.aecmag.com/comment-mainmenu-36/1521-bim-born-in-the-usa>
- Eastman, C., Teicholz, P., Liston, K., & Sacks, R. (2008). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Editeca. (22 de Febrero de 2018). *El BIM en Latinoamérica* . Obtenido de EDITECA: <https://editeca.com/bim-en-latinoamerica/>
- ENLACE Arquitectura. (12 de Abril de 2018). *El futuro de BIM en México*. Obtenido de ENLACE Arquitectura: <https://enlacearquitectura.com/el-futuro-de-bim-en-mexico/>
- Eseverri, A. E. (19 de Octubre de 2017). *BIM OBLIGATORIO EN ESPAÑA – 2018*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2018, de ESPACIOBIM: <https://www.espaciobim.com/bim-obligatorio-espana-2018/>
- EUBIM TaskGroup. (2018). *Manual para la introducción de la metodología BIM por parte del sector público europeo*. EUBIM TaskGroup.
- Garrido, A. C., Torres, P. C., & Rodríguez, A. M. (2016). *BIM. DISEÑO Y GESTION DE LA CONSTRUCCION*. Malaga, España: ANAYA MULTIMEDIA.
- Gosalves Lopez, J., Murad Mateu, M., Cerdán Castillo, A., Fuentes Giner, B., Hayas Lopez, R., Lopez Garcia, J., & Zuñeda Ruiz, P. P. (2016). *BIM EN 8 PUNTOS: Todo lo que debes conocer sobre el BIM*. es.BIM. Obtenido de https://www.esbim.es/wp-content/uploads/2017/01/Documento_difusion_BIM.pdf
- Gutierrez, T. (18 de enero de 2016). *Freno en obras de infraestructura “se debe a mala gestión”*. Obtenido de Freno en obras de infraestructura “se debe a mala gestión”: <https://archivo.crhoy.com/freno-en-obras-de-infraestructura-se-debe-a-mala-gestion/nacionales/><https://archivo.crhoy.com/freno-en-obras-de-infraestructura-se-debe-a-mala-gestion/nacionales/>
- Holzer, D. (2016). *The BIM Manager's Handbook: Guidance for Professionals in Architecture, Engineering, and Construction*. West Sussex: Willey & Sons Ltd.

- Hore, A., McAuley, B., & West, R. (2017). *Global BIM Study: Lessons for Ireland's BIM Programme*. Dublin: Construction Alliance Limited.
- International Organization for Standardization. (2019). *International Organization for Standardization*. Obtenido de International Organization for Standardization: <https://www.iso.org/committee/49180.html?view=participation>
- Johannes, M. (2 de Abril de 2019). *BIM SOFTWARE TOOLS FOR ALL OCCASIONS*. Obtenido de ZIGURAT: <https://www.e-zigurat.com/blog/es/bim-software-tools-for-all-occasions/>
- La Gaceta. (22 de mayo de 1998). LEY GENERAL DE CONCESIÓN DE OBRAS PÚBLICAS CON SERVICIOS PÚBLICOS Ley 7762. San José, San José, Costa Rica.
- Loría, M., & Martínez, J. (2019). *La economía costarricense en el quinquenio 2014-2018*. San José: Academia Centroamérica.
- McGovern, J. (2018). *Classify Roadmap Styles to Guide Roadmap Development*. Stamford: Gartner.Inc.
- McGraw Hill Construction. (2014). *The Business Market of BIM for Construction Major Global Markets*. Bedford, Massachusetts: McGraw Hill Construction.
- McGraw-Hill Construction. (2012). *The Business Value of BIM in North America*. Bedford, Massachusetts: The Business Value of BIM in North America.
- Messner, J., Anumba, C., Dubler, C., Goodman, S., Kasprzak, C., Kreider, R., . . . Zikic, N. (2010). *Building Information Modeling Project Execution Planning Guide*. Pennsylvania: The Computer Integrated Construction Research Group.
- Ministerio de Planificación y Política Económica. (2016). *Plan Nacional de Inversión Pública para el Desarrollo 2015-2018*. San José: MIDEPLAN.
- Ministerio de Planificación y Política Económica. (2018). *Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2022*. San José: MIDEPLAN.
- Mischke, J., & BaveyStock, N. (17 de Agosto de 2017). A la espera de una revolución en la construcción. (ElFinanciero, Ed.) San José, Costa Rica. Recuperado el 20 de Septiembre de 2018, de <https://www.elfinancierocr.com/opinion/a-la-espera-de-una-revolucion-en-la-construccion/DF2SNJKW4NADTP23X5SIM5NOK4/story/>

- Montenegro, J., Garro, D., Trejos, C., Murillo, P., Piedra, A., Sauma, R., & Rojas, V. (2018). *Guía de Implementación BIM para las empresas*. San José: Camara Costarricense de la Construcción.
- Murillo, P. (abril de 2018). (M. C. Zúñiga, Entrevistador)
- Pérez, C. G. (2015). *Building Information Modeling: Metodología, aplicaciones y ventajas. Casos prácticos en gestión de proyectos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Planbim. (29 de junio de 2018). *Chile es miembro participante del comité ISO / TC 59 / SC 13*. Obtenido de Planbim.cl: <https://planbim.cl/chile-es-miembro-participante-del-comite-iso-tc-59-sc-13/>
- Planbim. (2019). *Estándar BIM para Proyectos Públicos*. Santiago: Planbim.
- Planbim. (s.f). *Metodologías y tecnologías para una construcción colaborativa*. Santiago: CORFO.
- Planbim. (s.f.). *Papeles de los sectores involucrados*. Recuperado el 23 de Mayo de 2019, de <https://planbim.cl/publico/>
- PMG . (2016). *Diagnóstico de Formación de Capital Humano en BIM*. Santiago: PMG Business Improvement.
- Presidencia de la República de Costa Rica. (6 de Septiembre de 2018). \$4.600 millones en obras viales reactivarán la economía nacional. San José, San José, Costa Rica.
- Project Management Institute, Inc. (2013). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (GUÍA PMBOK)*. Newtown Square, Pensilvania: PMI Publications.
- Quintanilla, S. (s.f.). *MUNDOHAVACR*. Obtenido de MUNDOHAVACR: <https://www.mundohvacr.com.mx/2017/08/bim-ban-boom-la-onda-expansiva-del-diseno-modelado-virtual/>
- Quiros, F. D. (2019). *“Actualización precios de mercado de referencia para alquiler de inmuebles para oficinas de entidades del Gobierno Central*. San José: Ministerio de Hacienda.
- Real Academia Española. (2018). *Real Academia Española*. Obtenido de Real Academia Española: <http://dle.rae.es/?id=LYf3lhz>
- Rojas, L. (11 de Agosto de 2014). CCSS requiere \$1.500 millones para superar rezago de 14 años en infraestructura hospitalaria. San José, San José, Costa Rica. Recuperado el 23

de Septiembre de 2018, de <https://archivo.crhoy.com/ccss-requiere-1-500-millones-para-superar-rezago-de-14-anos-en-infraestructura-hospitalaria/nacionales/>

Sánchez, A. (9 de diciembre de 2016). *ESPACIOBIM*. Obtenido de ESPACIOBIM: <https://www.espaciobim.com/bim-3d-4d-5d-6d-7d/>

Solano, J. (11 de Enero de 2017). Contraloría: El Estado paga más por alquiler de edificios. San José, San José, Costa Rica.

Soto, C. (29 de Noviembre de 2016). Seminario BIM Estrategia Pública 2020, lineamientos, beneficios y avances. Santiago, Chile.

Succar, B. (2008). *Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders*. Newcastle, Australia: University of Newcastle.

Succar, B., & Kassem, M. (2015). *Macro-BIM adoption: Conceptual structures*. Melbourne: ELSEVIER.

Succar, B., & Mohamad, K. (2016). *Building Information Modelling: Point of Adoption*. Tampere Finland: CIB World Congress.

SUGEVAL. (17 de septiembre de 2010). Reglamento sobre Oferta Pública de Valores. *VALORES PROVENIENTES DE PROCESOS DE TITULARIZACIÓN, FIDEICOMISOS DE DESARROLLO DE OBRA PÚBLICA Y OTROS VALORES ESTRUCTURADOS*. San José, Costa Rica: SUGEVAL.

The British Standar Institute. (7 de Junio de 2018). *bsi*. Obtenido de BIM standards update from BSI: <https://www.bsigroup.com/en-GB/about-bsi/media-centre/press-releases/2018/june/bim-standards-update-from-bsi/>

Thomas, K. L., Amhoff, T., & Beech, N. (2018). Industry of Architecture. En K. L. Thomas, T. Amhoff, & N. Beech, *Industry of Architecture* (pág. 317). Nueva York: ROUTLEDGE.

Trejos, J. A. (17 de Febrero de 2017). Problemas de gestión retrasan avances en obra pública en Costa Rica. *Problemas de gestión retrasan avances en obra pública en Costa Rica*. (E. Construir, Ed.) San José, San José, Costa Rica. Recuperado el 22 de Septiembre de 2018, de <http://revistaconstruir.com/problemas-gestion-retrasan-avances-obra-publica-costa-rica/>

Vargas, M. G. (29 de octubre de 2015). *Contralora: Rezago y atrasos en obras e infraestructura*. San José, Costa Rica.

Vilet, G. (1999). *La tecnología y los sistemas de información aplicados en los negocios y la educación*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma San Luis Potosí.

Villalobos, F. (15 de marzo de 2017). *Decalogo para el desarrollo de la obra pública*. Obtenido de LA NACIÓN: <https://www.nacion.com/opinion/foros/decalogo-para-el-desarrollo-de-obra-publica/K5G7JYM6LFFKNLMSGCCHIN26YA/story/>

Villalobos, F. (15 de Marzo de 2017). *Decálogo para el desarrollo de obra pública*. San José, Costa Rica.

Vinocour Fornieri, M. M. (2008). *APUNTES SOBRE LA CONCESIÓN DE OBRA Y SERVICIO PÚBLICO EN COSTA RICA*. Revista de Ciencias Jurídicas.

ZIGURAT GLOBAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. (7 de Noviembre de 2017). *e-zigurat.com*. Recuperado el 27 de septiembre de 2018, de e-zigurat.com: <https://www.e-zigurat.com/blog/en/bim-in-the-united-states/>

ZIGURAT GLOBAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY. (9 de Agosto de 2018). *IFC: ¿POR QUÉ AHORA?* Obtenido de Zigurat: <https://www.e-zigurat.com/blog/es/ifc-por-que-ahora/>

7. ANEXOS

7.1. Herramientas de diagnóstico para el sector público y el sector privado.

- Objetivo del proyecto de graduación:
 - Desarrollar una propuesta para implementar el BIM dentro de los proyectos de obra pública. (Conocer el nivel de madurez, impacto dentro de los proyectos y ruta base para la implementación)
- Objetivos de la entrevista:
 - Conocer las capacidades de la organización en cuando al uso de la metodología BIM.
 - En caso de utilizar la metodología BIM, determinar el nivel de madurez dentro de la organización.
 - Determinar los impactos positivos y negativos de la implementación en los proyectos de la organización.
 - Conocer la opinión de expertos en relación con la implementación de la metodología BIM en proyectos de obra pública.

Las preguntas que se van a desarrollar en esta entrevista contemplan como base el desarrollo de todo el ciclo de vida dentro de un proyecto de construcción (planificación, diseño, construcción y operación). Las respuestas deben tomar en cuenta el contexto organizacional y no solo el contexto de un departamento específico.

1. Estado de Capacidad

El objetivo de esta sección es determinar las capacidades en el uso de la metodología BIM. Es decir, se busca conocer las habilidades mínimas que posee la organización para realizar los trabajos y generar los entregables que sean requeridos.

1.1. Modelación basada en objetos

Es la primera etapa de implementación después de realizar la investigación y análisis previo para determinar la estrategia a seguir. Se caracteriza porque los modelos se utilicen en una única fase del ciclo de vida del proyecto y no se genera una coordinación de los diferentes actores.

- 1.1.1. ¿Usan herramientas de modelación dentro de los proyectos de construcción o exigen su uso a terceros?

1.1.1.1. NO:

¿Han trabajado en la realización de una prueba de concepto o de un piloto sobre el uso de programas de modelación?

- SI: Pre-BIM pasar a 1.1.2
- NO: Pre-BIM pasar a 1.1.2

1.1.1.2. SI: ¿Los modelos que desarrollan con el software, permiten obtener información básica de los elementos que son generados con base en los diseños propuestos y/o los trabajos construidos?

- SI: Estado 1a pasar a 1.1.2
- NO: Pre-BIM pasar a 1.1.2

1.1.2. ¿Existe una estrategia o programa en desarrollo para la implementación de la metodología BIM?

1.1.2.1. NO: estado anterior

- ¿Tienen pensado abordar una estrategia de adopción para el BIM?
- SI: Estado anterior pasar a 3
- NO: ¿Por qué (No aporta valor, no conoce la metodología, costos de la implementación, otros)? pasar a 3

1.1.2.2. SI:

- ¿La estrategia esta formalmente establecida en la organización con visión, alcance, asignación de roles, metodología, recursos y métricas (indicadores) de avance?
- ¿Tienen en ejecución o ya completaron algún proyecto piloto?
 - Si en ambas: estado 1b (posible) pasar a 1.1.2.3
 - No en alguna: estado anterior pasar a 1.2

1.1.2.3. ¿Se han identificados los requisitos en cuanto estándares, protocolos y flujos de trabajo para la implementación de la metodología BIM?

- SI: estado 1b (posible) pasar a 1.1.2.4
- NO: estado anterior pasar a 1.2

SI: 1.1.2.2 y 1.1.2.3 son estado 1b: estado 1b

1.1.2.4. ¿Se han desarrollado formalmente estándares, normas y controles para los procesos y las políticas?

- NO: estado anterior, pasar a 1.2
 - SI: estado 1c pasar a 1.1.2.5
- 1.1.2.5. ¿La tecnología, los procesos y las políticas de la metodología BIM se toman en cuenta o se integran de manera explícita en la estrategia organizacional y los planes de negocio?
- NO: estado anterior, pasar a 1.2
 - SI: estado 1d pasar a 1.1.2.6
- 1.1.2.6. ¿Se realizan auditorías periódicas internas o externas que validen el plan de implementación, así como el uso normado de las tecnologías, los procesos y las políticas?
- NO: estado anterior, pasar a 1.2
 - SI: estado 1e pasar a 1.2

1.2. Colaboración basada en modelos

En esta etapa de capacidades se puede apreciar un trabajo colaborativo entre dos o varios actores involucrados en los proyectos de construcción que se intercambian información y trabajan entre si con la ayuda de las herramientas BIM.

- 1.2.1. Dentro de la metodología BIM, ¿Se maneja algún tipo de colaboración ad-hoc para un proyecto o para algunas etapas del proyecto entre organizaciones?
- NO: no entra en etapa 2 pasar a 2
 - SI: etapa 2a pasar a 1.2.2
- 1.2.2. ¿Existe de manera formal un proceso de colaboración con otras organizaciones para algunas etapas del proyecto?
- NO: estado anterior pasar a 1.3
 - SI: En el proceso de colaboración, ¿Se logran identificar evidencias de los niveles de confianza y respeto mutuo entre las organizaciones?
 - NO: estado anterior pasar a 1.3
 - SI: estado 2b pasar a 1.2.3
- 1.2.3. ¿Se establecen y acuerdan los términos de referencia para el trabajo colaborativo donde se distribuyan los riesgos y los beneficios? (Se establece un contrato)
- NO: estado anterior pasar a 1.2.4
 - SI: posible estado 2c pasar a 1.2.4

- 1.2.4. ¿Se documentan los protocolos de colaboración (herramientas como reuniones periódicas, minutas, foros, etc) para definir las actividades de cada organización participante?
- NO: estado anterior pasar a 1.3
 - SI: posible estado 2c pasar a 1.2.5
- 1.2.5. ¿Los actores de las actividades más importantes dentro del proyecto se incorporan directamente al grupo colaborativo?
- NO: estado anterior pasar a 1.3
 - SI: estado 2d pasar a 1.2.6
- 1.2.6. ¿El proceso de colaboración se lleva a cabo a través de todas las etapas del proyecto e incorpora a todos los involucrados directamente?
- NO: estado anterior pasar a 1.3
 - SI: estado 2e pasar a 1.3
- 1.3. Implementación basada en red

En esta etapa, los modelos son desarrollados con una mayor cantidad de información, comienzan a desarrollarse una mayor cantidad de relaciones interdisciplinarias y la metodología BIM empieza a abarcar todo el ciclo de vida del proyecto.

- 1.3.1. Dentro de la forma de trabajo BIM, ¿Existe una colaboración interdisciplinaria de al menos el 25% de los responsables de los proyectos que se ejecutan?
- NO: no alcanza el estado pasar a 2
 - SI: ¿Existen guías, aunque sean de manera parcial, para el intercambio de información?
 - SI: estado 3a pasar a 1.3.2
 - NO: no alcanza estado pasar a 2
- 1.3.2. ¿Existe una participación interdisciplinaria de al menos el 50% de los actores involucrados dentro de los proyectos BIM?
- NO: estado anterior pasar a 2
 - SI: ¿Están definidos y normados para la integración los protocolos de intercambio de información entre las partes involucradas?
 - NO: estado anterior pasa a pasar a 2
 - SI: ¿Se define la distribución de las responsabilidades y el manejo de los riesgos con la ayuda de métodos contractuales?

- NO: estado anterior pasar a pasar a 2
- SI: estado 3b pasar a pasar a 1.3.3

1.3.3. ¿Existe un 75% de participación interdisciplinaria de los actores involucrados en el proyecto?

- NO: estado anterior pasar a 2
- SI: ¿Existen alianzas temporales o asociaciones a más largo plazo de los grupos interdisciplinarios?
 - NO: estado anterior pasar a 2
 - SI: ¿La gestión de riesgos y beneficios se trabaja de manera dinámica a lo largo del proyecto?
 - No: estado anterior pasar a 2
 - SI: estado 3c pasar a 1.3.4

1.3.4. ¿Hay un 100% de participación interdisciplinaria de los actores involucrados en el proyecto?

- NO: estado anterior pasar a 2
- SI: ¿Se trabaja basándose en las redes de colaboración y el enfoque se define en la detección y resolución proactiva de los desajustes de tecnologías, procesos y políticas?
 - SI: estado 3d pasar a 1.3.5
 - NO: estado anterior pasar a 2

1.3.5. ¿Se realizan auditorías periódicas para verificar la calidad de los modelos y los flujos de trabajo?

- NO: estado anterior pasar a 2
- SI: ¿Se formó un equipo de trabajo para la investigación, el desarrollo y la innovación dentro del BIM?
 - NO: estado anterior pasar a 2
 - SI: estado 3e pasar a 2

2. Campos de trabajo

2.1. Tecnología

Este campo trabaja con el desarrollo, implementación y uso de herramientas físicas y programas de computadora que permiten trabajar en la forma de trabajo BIM

2.1.1. Software

- 2.1.1.1. ¿La introducción de software en la organización se realiza de manera unificada y monitorizada?
- NO: madurez a pasar a 2.1.2
 - SI: ¿Los modelos 3D se utilizan como base para generar entregables 2D y 3D?
 - NO: estado anterior pasar a 2.1.2
 - SI: posible madurez b pasar a 2.1.1.2
- 2.1.1.2. ¿El uso y almacenamiento de intercambio de datos interoperables está bien definidos dentro de la organización?
- NO: estado anterior pasar a 2.1.2
 - SI: posible madurez b pasar a 2.1.1.3
- 2.1.1.3. ¿La selección de software y su uso se controlan y gestionan dependiendo de los entregables definidos?
- NO: estado anterior pasar a 2.1.2
 - SI: ¿Los modelos tridimensionales se utilizan para representaciones visuales en 2D y 3D así como para estudios analíticos y especificaciones?
 - NO: estado anterior pasar a 2.1.2
 - SI: posible madurez c pasar a 2.1.1.4
- 2.1.1.4. ¿EL uso, almacenamiento e intercambio de datos esta monitoreado y controlado?
- NO: estado anterior pasar a 2.1.2
 - SI: ¿El intercambio de datos interoperables es obligatorio y riguroso?
 - NO: etapa anterior pasar a 2.1.2
 - SI: **posible** madurez c pasar a 2.1.1.5
- 2.1.1.5. ¿La selección e implementación de software toma en cuenta los objetivos estratégicos de la organización y no solo los aspectos operacionales de la herramienta?
- NO: estado anterior pasar a 2.1.2

- SI: ¿Los entregables del modelado están estrechamente relacionados con las estrategias de negocios y están sincronizados para los distintos proyectos?
 - NO: estado anterior pasar a 2.1.2
 - SI: **posible** madurez d pasar a 2.1.1.6
- 2.1.1.6. ¿El uso, almacenamiento e intercambio de datos interoperables están regulados y forman parte de la estrategia global de la organización?
- NO: estado anterior pasar a 2.1.2
 - SI: nivel de madurez d pasar a 2.1.1.7
- 2.1.1.7. ¿Se realiza una revisión periódica para la optimización en los procesos de la selección y el uso del software, de manera que se enfoquen en objetivos estratégicos de la organización?
- NO: estado anterior pasar a 2.1.2
 - SI: ¿Se revisan y actualizan los entregables basados en las actualizaciones de las herramientas utilizadas y en la optimización de los entregables?
 - NO: estado anterior pasar a 2.1.2
 - SI: posible madurez e pasar a 2.1.1.8
- 2.1.1.8. ¿Todo lo relacionado con el almacenamiento, uso y gestión de los datos interoperables está documentada, controlado, analizado y tiene un proceso de mejora continua?
- NO: estado anterior pasar a 2.1.2
 - SI: nivel de madurez e pasar a 2.1.2
- 2.1.2. Hardware
- 2.1.2.1. ¿Utilizan equipos de cómputo basados en los requerimientos especificadas por los proveedores de las herramientas BIM?
- NO: nivel de madurez a pasar a 2.1.3
 - SI:
 - ¿Se definen, estandarizan y presupuestan los equipos dentro de toda la organización?
 - NO: estado anterior
 - SI: posible madurez b

- ¿Se definen los costos periódicos en materia de actualización y sustitución del hardware?
- NO: estado anterior
- SI: posible estado b

Si ambos tienen respuesta SI es un nivel de madurez b y pasan a 2.1.2.2, sino se encuentran en el estado anterior y pasan a 2.1.3

2.1.2.2. ¿Se controla el uso del hardware mediante una estrategia definida para documentar, gestionar y mantener los equipos BIM?

- NO: estado anterior pasar a 2.1.3
- SI: ¿La inversión en hardware está enfocado a mejorar la productividad y la movilidad del personal?
 - NO: estado anterior pasara a 2.1.3
 - SI: nivel de madurez c pasar a 2.1.2.3

2.1.2.3. ¿El despliegue de los equipos se enfocan en facilitar al personal sus labores y en mejorar su productividad?

- NO: estado anterior pasar a 2.1.3
- SI: ¿Las inversiones en materia de hardware se realizan tomando en cuenta las estrategias de negocio y los objetivos organizacionales de desempeño?
 - NO: estado anterior pasar a 2.1.3
 - SI: nivel de madurez d pasar a 2.1.2.4

2.1.2.4. ¿Se realizan auditorias para probar y mejorar los equipos de toda la organización y se toman como ventaja competitiva?

- NO: estado anterior pasar a 2.1.3
- SI: nivel de madurez e pasar a 2.1.3

2.1.3. Red

2.1.3.1. ¿Se tienen soluciones de red para poder compartir la información del proyecto y dar acceso a todos los involucrados en el?

- NO: nivel de madurez a pasar a 2.2.1
- SI: ¿Se establecen los requisitos para el intercambio de información entre las partes involucradas?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.1

- SI: ¿La velocidad de conexión es mayor a 10 MB/s?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.1
 - SI: nivel de madurez b pasar a 2.1.3.2
- 2.1.3.2. ¿Se da uso a las plataformas comunes para la recopilación, el almacenamiento y la gestión de la información y el conocimiento?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.1
 - SI: ¿Se utilizan herramientas de gestión de contenido para regular el flujo de información estructurada y no estructurada?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.1
 - SI: ¿La velocidad de conexión es mayor a 15 MB/s?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.1
 - SI: nivel de madurez c pasar a 2.1.3.3
- 2.1.3.3. ¿Las soluciones de red permiten la integración de todas las fases del ciclo de vida del proyecto BIM a través del intercambio de información a tiempo real?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.1
 - SI: ¿Estas soluciones incluyen portales exclusivos del proyecto para el intercambio de información de manera intensiva?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.1
 - SI: nivel de madurez d pasar a 2.1.3.4
- 2.1.3.4. ¿Se realiza una evaluación constante para mejorar o sustituir las soluciones existentes por otras más modernas y se busca integrar a todos los actores dentro del ciclo de vida del proyecto?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.1
 - SI: nivel de madurez e pasar a 2.2.1

2.2. Procesos

En este campo se trabaja con los profesionales en el sector de la construcción, se trabaja con los procesos y los requerimientos para desarrollar cada fase del ciclo de vida de un proyecto constructivo.

2.2.1. Recursos

- 2.2.1.1. ¿Tienen identificados cuales son los factores en afectan la motivación y la productividad en el entorno de trabajo y las herramientas utilizadas?
- NO: nivel de madurez a pasar a 2.2.2
 - SI: ¿Se reconoce la importancia del conocimiento dentro de la organización y se documenta?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.2
 - SI: nivel de madurez b pasar a 2.2.1.2
- 2.2.1.2. ¿EL entorno de trabajo se gestiona para aumentar la productividad y la motivación del personal?
- NO: estado anterior pasar a 2.2.2
 - SI: ¿Se estandariza la forma en cómo se gestiona y almacena el conocimiento dentro de la organización?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.2
 - SI: nivel de madurez c pasar a 2.2.1.3
- 2.2.1.3. ¿EL entorno de trabajo se incorpora dentro de las estrategias de la organización para aumentar la productividad y la motivación del personal?
- NO: estado anterior pasar a 2.2.2
 - SI: ¿El conocimiento se integra dentro de los sistemas organizacionales para que sea de fácil acceso para todas las personas dentro de la organización?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.2
 - SI: nivel de madurez d pasar a 2.2.1.4
- 2.2.1.4. ¿Se realizan revisiones periódicas del ambiente de trabajo para asegurarse de que la productividad sea alta?
- NO: nivel de madurez anterior
 - SI: ¿Se realizan revisiones y modificaciones constantes en el sistema de adquisición y gestión del conocimiento?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.2
 - SI: nivel de madurez e pasar a 2.2.2

2.2.2. Actividades y Flujos de trabajo

- 2.2.2.1. ¿Se definen los roles dentro los proyectos de construcción?
- NO: nivel de madurez a pasar a 2.2.3
 - SI: ¿Se definen los objetivos con base en las competencias BIM de la organización?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.3
 - SI: ¿Se disponen de indicadores para medir la productividad de los trabajos?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.3
 - SI: nivel de madurez b pasar a 2.2.2.2
- 2.2.2.2. ¿Existe una cooperación BIM entre los diferentes proyectos que maneja la organización?
- NO: estado anterior pasara a 2.2.3
 - SI: ¿Los roles se integran dentro de la organización y los equipos de trabajo?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.3
 - SI: ¿La productividad es poco variable entre los proyectos?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.3
 - SI: nivel de madurez c pasar a 2.2.2.3
- 2.2.2.3. ¿Los roles y los objetivos BIM se estandarizan y documentan dentro de los protocolos y manuales de la organización?
- NO: estado de madurez anterior pasar a 2.2.3
 - SI: ¿Las formas de trabajo tradicionales desaparecen dentro de la empresa mientras que la cultura BIM se refuerza?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.3
 - SI: ¿La productividad de los equipos de trabajo se puede describir como constante y predecible?
 - NO: estado anterior pasar a 2.2.3
 - SI: nivel de madurez d pasar a 2.2.2.4
- 2.2.2.4. ¿Los objetivos de competencias BIM y las prácticas de recursos humanos se revisan y mejoran para mantenerlos actualizados y vinculados con las nuevas tecnologías y los objetivos organizacionales?

- NO: estado anterior pasar a 2.2.3
- SI: nivel de madurez e pasar a 2.2.3

2.2.3. Productos & Servicios

2.2.3.1. ¿Se establece un documento para identificar y establecer el nivel de detalle que requieren los modelos 3D?

- NO: nivel de madurez a pasar a 2.2.4
- SI: nivel de madurez b pasar a 2.2.3.2

2.2.3.2. ¿Se adoptan especificaciones de servicios o productos relacionadas con los niveles de detalle y la cantidad de información que deben poseer los modelos BIM?

- NO: estado anterior pasar a 2.2.3.3
- SI: nivel de madurez c pasar a 2.2.4

2.2.3.3. ¿Los productos y servicios se especifican y diferencian en función de los estándares de modelado establecidos por organizaciones normativas?

- NO: estado anterior pasar a 2.2.4
- SI: nivel de madurez d pasar a 2.2.3.4

2.2.3.4. ¿Se establece un sistema de retroalimentación para la mejora continua de los modelos desarrollados en los distintos proyectos de la organización?

- NO: estado anterior pasar a 2.2.4
- SI: nivel de madurez e pasar a 2.2.4

2.2.4. Liderazgo & Gestión

2.2.4.1. ¿Se tiene adoptada una visión común entre los gerentes y líderes de la organización?

- NO: nivel de madurez a pasar a 2.3.1
- SI: ¿El BIM se trata como una corriente de cambio relacionada con la tecnología donde la innovación de los procesos y productos es importante?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.1
 - SI: ¿Se identifican las oportunidades de negocio derivadas del BIM?

- NO: estado anterior pasar a 2.3.1
 - SI: nivel de madurez b pasar a 2.2.4.2
- 2.2.4.2. ¿La visión del BIM dentro de la organización es entendida y manejada por más del 50% del personal de la empresa?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.1
 - SI: ¿Se establece un plan de gestión detallado y un régimen de vigilancia que cuente con indicadores para obtener datos procesables?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.1
 - SI: ¿Se fomenta la innovación al mismo tiempo que se reconoce al BIM como una serie de tecnologías, procesos y políticas en constante cambio?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.1
 - SI: ¿Se utilizan las oportunidades de negocio con fines de marketing?
 - NO: Estado anterior pasar a 2.3.1
 - SI: nivel de madurez c pasar a 2.2.4.3
- 2.2.4.3. ¿La visión del BIM es compartida por todo el personal dentro de la organización?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.1
 - SI: ¿La implementación del BIM, sus requisitos y sus procesos de innovación están integrados dentro de las estrategias organizacionales y los canales de comunicación de la organización?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.1
 - SI: ¿Las oportunidades derivadas del BIM se integran dentro de las ventajas competitivas de la organización?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.1
 - SI: nivel de madurez d pasar a 2.2.4.3
- 2.2.4.4. ¿Se ha internalizado la adopción del BIM dentro de la organización y se logra alcanzar los objetivos propuestos de manera activa?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.1

- SI: ¿La estrategia de implementación BIM se realiza de manera continua para evaluar sus efectos y alinearla con otras estrategias?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.1
 - SI: ¿Se busca la innovación y las oportunidades de negocio de forma activa?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.1
 - SI: nivel de madurez e pasar a 2.3.1

2.3. Políticas

En este campo se integran los encargados de formular estándares, las instituciones académicas encargadas de formar capital humano y las instituciones encargadas de revisar los aspectos contractuales.

2.3.1. Preparatorio

2.3.1.1. ¿Se definen los requisitos de formación BIM para el personal?

- NO: nivel de madurez a pasar a 2.3.2
- SI: ¿Los medios de formación son diversos y permiten flexibilidad en la distribución de contenido?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.2
 - SI: nivel de madurez b pasar a 2.3.1.2

2.3.1.2. ¿Se establecen requisitos de formación para cumplir con las competencias necesarias y los objetivos de desempeño?

- NO: estado anterior pasar a 2.3.2
- SI: ¿Los medios de formación se adaptan a los alumnos y para alcanzar los objetivos de aprendizaje de una manera rentable?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.2
 - SI: nivel de madurez c pasar a 2.3.1.3

2.3.1.3. ¿La formación del personal se integró dentro de la estrategia organizacional y los objetivos de desempeño?

- NO: estado anterior pasar a 2.3.2
- SI: ¿Los medios de formación se incorporan con los canales de conocimiento y de formación dentro de la organización?

- NO: estado anterior pasar a 2.3.2
- SI: nivel de madurez d pasar a 2.3.1.4

2.3.1.4. ¿La formación se evalúa y mejora de manera constante?

- NO: estado anterior pasar a 2.3.2
- SI: ¿La disponibilidad de la formación y los métodos de enseñanza permiten una formación multimodal?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.2
 - SI: nivel de madurez e pasar a 2.3.2

2.3.2. Regulator

2.3.2.1. ¿La organización posee directrices BIM como estándares de ejecución y manuales de formación?

- NO: nivel de madurez a pasar a 2.3.3
- SI: ¿Los estándares de modelación están bien definidos de acuerdo con estándares de mercado?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.3
 - SI: ¿Los objetivos de calidad y desempeño están bien definidos?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.3
 - SI: nivel de madurez b pasar a 2.3.2.2

2.3.2.2. ¿Las directrices BIM están detalladas en cuanto a formación, estándares, flujos de trabajo, excepciones, entre otros?

- NO: estado anterior pasar a 2.3.2.2
- SI: ¿Los estándares de modelos 3D así como su información y propiedades analíticas se gestionan mediante estándares de modelado detallado y planes de calidad?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.3
 - SI: ¿Se monitorea el desempeño en relación con las referencias del mercado?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.3
 - SI: nivel de madurez c pasar a 2.3.2.3

2.3.2.3. ¿Las directrices BIM están integradas en las políticas globales y estrategias de negocio de la organización?

- NO: estado anterior pasar a 2.3.3
 - SI: ¿Los estándares BIM y las referencias de desempeño se integran a los sistemas de control de calidad y mejora de ejecución?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.3
 - SI: nivel de madurez d pasar a 2.3.2.4
- 2.3.2.4. ¿Las directrices BIM se evalúan y mejoran con base en las lecciones aprendida y las mejores prácticas de la industria?
- NO: estado anterior pasar a 2.3.3
 - SI: ¿Las referencias del mercado se revisan para asegurar la mejor calidad en los procesos, productos y servicios?
 - NO: estado anterior pasar a 2.3.3
 - SI: nivel de madurez e pasar a 2.3.3

2.3.3. Contractual

- 2.3.3.1. ¿Se reconocen los requisitos BIM y se definen las responsabilidades de cada una de las partes interesadas para la gestión de la información?
- NO: nivel de madurez a pasar a 3
 - SI: nivel de madurez b pasar a 2.3.3.2
- 2.3.3.2. ¿Existe un mecanismo para la gestión compartida de la propiedad intelectual BIM, la confidencialidad, la responsabilidad y un sistema de resolución de conflictos BIM?
- NO: estado anterior pasar a 3
 - SI: nivel de madurez c pasar a 2.3.3.3
- 2.3.3.3. ¿Las relaciones entre las partes interesadas en los proyectos no son restringidas por las barreras contractuales?
- NO: estado anterior pasar a 3
 - SI: nivel de madurez d pasar a 2.3.3.4
- 2.3.3.4. ¿Los modelos contractuales se ajustan de manera activa para lograr las mejores prácticas; las responsabilidades, riesgos y beneficios se revisan de manera continua?
- NO: estado anterior pasar a 3

- SI: nivel de madurez e pasar a 3

3. Escala Organizacional

- 3.1. ¿Existe un liderazgo BIM establecido formalmente dentro de la institución que define los roles en el proceso de implementación BIM?
- NO: nivel de madurez a pasar a 4
 - SI: nivel de madurez b pasar a 3.2
- 3.2. ¿Los role BIM establecidos se complementan entres si para la gestión en el proceso de implementación?
- NO: estado anterior pasar a 4
 - SI: nivel de madurez c pasar a 3.3
- 3.3. ¿Los roles BIM están incorporados dentro de la estructura de la organización?
- NO: estado anterior pasar a 4
 - SI: nivel de madurez c pasar a 3.4
- 3.4. ¿El liderazgo BIM se transforma y actualiza constantemente dependiendo de los cambios en la tecnología, los procesos y las políticas?
- NO: estado anterior pasar a 4
 - SI: nivel de madurez c pasar a 4

4. Preguntas generales

4.1. Verificación del análisis FODA

4.1.1. Indicar si las fortalezas mencionadas se relacionan con la metodología BIM dentro del contexto nacional:

- Apoya el desarrollo de una estrategia en la obra pública
- Disminuye los costos de las obras públicas
- Otorga una mayor agilidad para la toma de decisiones en proyectos de obra pública
- Disminuye los riesgos de los proyectos de obra pública
- Disminución del tiempo para los procesos contractivos de obra pública
- Mejorar los procesos de mantenimiento de la obra pública
- Facilita la planificación de los proyectos de la obra pública
- Mejora la coordinación y la comunicación entre los encargados de los proyectos de obra pública

- Otorga trazabilidad y transparencia a la información de los proyectos de obra pública

4.1.2. Indicar si las oportunidades mencionadas se relacionan con la metodología BIM dentro del contexto nacional:

- Disminuye el rezago de la brecha que existe en la inversión de obra pública
- Posibilidades de realizar alianzas público-privadas a través de concesiones en obra pública
- Mecanismos de colaboración o financiamiento internacional en proyectos de obra pública
- Incentiva la cooperación de grupos de trabajo interdisciplinario para el desarrollo de proyectos de obra pública
- Aumento en la inversión de organizaciones internacionales para mejorar la competitividad del país

4.1.3. Indicar si las debilidades mencionadas se relacionan con la metodología BIM dentro del contexto nacional:

- Costos de la implementación BIM dentro de las organizaciones
- Experiencias relacionadas con el uso de la metodología en proyectos de obra pública
- Tiempo que se requiere para la adopción de la metodología
- Los esfuerzos para mejorar los niveles de madurez tienen un comportamiento exponencial
- La metodología sigue en evolución constante (no existe un marco definitivo de trabajo)
- La combinación de múltiples disciplinas dificulta la generación de un gobierno centralizado
- Las experiencias iniciales son por lo general un desmotivaste para su uso futuro

4.1.4. Indicar si las amenazas mencionadas se relacionan con la metodología BIM dentro del contexto nacional:

- Resistencia al cambio desde las formas de trabajo tradicionales a la forma de trabajo BIM
- Cantidad de profesionales capacitados para desarrollar proyectos BIM
- La obsolescencia tecnológica en el sector público
- El manejo de la madurez en términos de tecnologías, procesos y políticas del sector público
- La situación económica actual del país (déficit fiscal)

4.2. Desarrollo de capital humano

4.2.1. ¿Conoce usted centros de formación nacionales dentro del campo de la metodología BIM? ¿Cuáles?

4.3. Experiencia dentro de la organización

4.3.1. ¿Cuántos proyectos han desarrollado basados en el uso de la metodología BIM?

4.3.2. Si ya han avanzado en el proceso de implementación BIM, ¿Cuánto tiempo han durado en las distintas fases de implementación?

4.4. Opiniones

4.4.1. ¿Cuál institución debe guiar la implementación BIM dentro de los proyectos de obra pública? ¿Por qué?

- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones
- Ministerio de Planificación Nacional y Política Económica
- Ministerio de Economía

4.4.2. ¿Cómo percibe el avance del desarrollo de la metodología BIM dentro del sector de la construcción en Costa Rica?

4.4.3. ¿Cuál es el papel que tiene el sector público dentro de la implementación de la metodología BIM en Costa Rica?

7.2. Herramienta de diagnóstico para el sector académico

1.1. ¿Tienen un programa establecido para el desarrollo de la metodología BIM?

- POSITIVO: ¿Cuáles son los objetivos de la institución en cuanto a los programas de desarrollo en la metodología BIM?
- NEGATIVO: ¿Cómo planean desarrollar el tema de la metodología BIM en la institución?

- 1.2. ¿Cuántos cursos desarrollan trabajos o temas relacionados con la metodología BIM?
¿Cada cuánto se abren y cuantos participantes pueden entrar en el proceso de formación a la vez?
- 1.3. Dentro de los programas que se desarrollan, ¿Cuáles es el tipo de software que manejan?
¿Hay una gran variedad de marcas?
 - Uso de herramientas 3D
 - Uso para planificación y presupuestación de los proyectos
 - Factores que afectan en la decisión del uso de software
- 1.4. ¿Se enseñan procesos y estándares con respecto al uso de la metodología BIM?
- 1.5. ¿Qué herramientas y/o material didáctico poseen para desarrollar los procesos de formación?
- 1.6. ¿Cómo percibe el desarrollo de la metodología BIM dentro del sector de la construcción en Costa Rica?
- 1.7. ¿Cuál es el papel que tiene la academia dentro de la implementación de la metodología BIM en Costa Rica?
- 1.8. ¿Han desarrollado trabajos de investigación enfocados en el uso de la metodología BIM en proyectos de ingeniería? ¿Cuántos?
- 1.9. ¿Cuáles son los recursos que considerarían necesarios para incrementar la cantidad de personas que ingresan al proceso de formación de las metodologías BIM?
- 1.10. ¿Tienen algún convenio o alianza con empresas o instituciones dentro del sector de la construcción donde puedan colocar a las personas capacitadas para el uso?
- 1.11. ¿Cuál institución debe guiar la implementación BIM dentro de los proyectos de obra pública? ¿Por qué?

2. Verificación del análisis FODA

2.1. Indicar si las fortalezas mencionadas se relacionan con la metodología BIM dentro del contexto nacional:

- Apoya el desarrollo de una estrategia en la obra pública
- Disminuye los costos de las obras públicas
- Otorga una mayor agilidad para la toma de decisiones en proyectos de obra pública
- Disminuye los riesgos de los proyectos de obra pública
- Disminución del tiempo para los procesos contractivos de obra pública
- Mejorar los procesos de mantenimiento de la obra pública
- Facilita la planificación de los proyectos de la obra pública
- Mejora la coordinación y la comunicación entre los encargados de los proyectos de obra pública
- Otorga trazabilidad y transparencia a la información de los proyectos de obra pública

2.2. Indicar si las oportunidades mencionadas se relacionan con la metodología BIM dentro del contexto nacional:

- Disminuye el rezago de la brecha que existe en la inversión de obra pública
- Posibilidades de realizar alianzas público-privadas a través de concesiones en obra pública
- Mecanismos de colaboración o financiamiento internacional en proyectos de obra pública
- Incentiva la cooperación de grupos de trabajo interdisciplinario para el desarrollo de proyectos de obra pública
- Aumento en la inversión de organizaciones internacionales para mejorar la competitividad del país

2.3. Indicar si las debilidades mencionadas se relacionan con la metodología BIM dentro del contexto nacional:

- Costos de la implementación BIM dentro de las organizaciones
- Experiencias relacionadas con el uso de la metodología en proyectos de obra pública
- Tiempo que se requiere para la adopción de la metodología
- Los esfuerzos para mejorar los niveles de madurez tienen un comportamiento exponencial
- La metodología sigue en evolución constante (no existe un marco definitivo de trabajo)

- La combinación de múltiples disciplinas dificulta la generación de un gobierno centralizado
- Las experiencias iniciales son por lo general un desmotivaste para su uso futuro

2.4. Indicar si las amenazas mencionadas se relacionan con la metodología BIM dentro del contexto nacional:

- Resistencia al cambio desde las formas de trabajo tradicionales a la forma de trabajo BIM
- Cantidad de profesionales capacitados para desarrollar proyectos BIM
- La obsolescencia tecnológica en el sector público
- El manejo de la madurez en términos de tecnologías, procesos y políticas del sector público
- La situación económica actual del país (déficit fiscal)

7.3. Matrices de madurez presentadas por el marco de referencia utilizado para realizar el diagnóstico y la propuesta de la investigación.

Cuadro 8. Matriz de madurez BIM para la escala organizacional.

	a INICIAL (0 puntos)	b DEFINIDO (max 10 puntos)	c MANEJADO (max 20 puntos)	d INTEGRADO (max 30 puntos)	e OPTIMIZADO (max 40 puntos)
Áreas de Madurez (nivel de detalle 1)	Uso de aplicaciones de software no monitorizado ni regulado. Los modelos 3D se usan como base para generar principalmente representaciones en 2D entregables precisos. El uso de almacenamiento e intercambio de datos no se define dentro de la organización o equipos de proyecto. Los intercambios sufren de una falta grave de interoperabilidad.	El uso / introducción de Software se unifica dentro de una organización o equipos de proyecto (múltiples organizaciones). Los Modelos 3D se utilizan como base para generar tanto entregables 2D como 3D. El uso, almacenamiento e intercambio de datos están bien definidos dentro de las organizaciones y equipos de proyecto. Los intercambios de datos interoperables están definidos y priorizados.	La selección de software y su uso se controla y gestiona de acuerdo con los entregables definidos. Los modelos son la base para las vistas 3D, representaciones 2D, cuantificación, especificación y estudios analíticos. El uso, almacenamiento e intercambio de datos son monitoreados y controlados. El flujo de datos está documentado y bien gestionado. Los intercambios de datos interoperables son obligatorios y se controlan con rigor.	La selección e implementación de software sigue objetivos estratégicos, no sólo necesidades operacionales. Los entregables del modelado están bien sincronizados a través de proyectos y estrechamente integrados con los procesos de negocio. El uso, almacenamiento e intercambio de datos interoperables están regulados y se llevan a cabo como parte de una estrategia global de la organización o equipo de proyecto.	La selección / uso de herramientas de software se revisa continuamente para mejorar la productividad y se alinea con los objetivos estratégicos. Los entregables del modelado se revisan / optimizan cíclicamente para beneficiarse de las nuevas funcionalidades y extensiones disponibles de software. Todos los asuntos relacionados con el almacenamiento, uso e intercambio de datos interoperables están documentados, controlados, reflexionados y mejorados de forma proactiva.
Hardware: equipos, entregables y localización/movilidad	Los equipos BIM son inadecuados; las especificaciones son demasiado bajas o inconsistentes en toda la organización. La sustitución o mejora de equipos se considera un coste y sólo se realiza cuando es inevitable.	Las especificaciones de los equipos - adecuadas para la realización de productos y servicios BIM - se definen, presupuestan y estandarizan en toda la organización. Las sustituciones y actualizaciones de hardware son partidas de coste bien definidas.	Se dispone de una estrategia para documentar, gestionar y mantener los equipos BIM con transparencia. La inversión en hardware está bien orientada para mejorar la movilidad del personal (en caso necesario) y ampliar la productividad BIM.	Los despliegues de equipos se tratan como facilitadores BIM. La inversión en equipos se integra perfectamente con los planes financieros; estrategias de negocio y los objetivos de desempeño.	Los equipos existentes y las soluciones innovadoras se prueban, actualizan y despliegan continuamente. El hardware BIM se convierte en parte de la ventaja competitiva de la organización
Red: soluciones, entregables y control de seguridad/acceso	Las soluciones de red no existen o son ad-hoc. Profesionales, organizaciones (en un lugar/disperso) y equipos de proyecto usan cualquier herramienta para comunicarse o partes interesadas carecen de la infraestructura de red necesaria para recopilar, almacenar y compartir conocimientos.	Se identifican soluciones de red para compartir información y controlar su acceso en y entre organizaciones. A nivel de proyecto, los agentes identifican sus requerimientos para compartir datos/información. Las organizaciones y equipos de proyecto dispersos están conectados a través de conexiones de ancho de banda relativamente bajo.	Las soluciones de red para recopilar, almacenar y compartir el conocimiento en y entre organizaciones se gestionan bien a través de plataformas comunes (por ejemplo: intranets o extranets). Se despliegan herramientas de gestión de contenidos y activos para regular los datos estructurados y no estructurados y a través de conexiones de banda ancha.	Las soluciones de red permiten la integración de múltiples facetas del proceso BIM a través del intercambio en tiempo real continuo de datos, información y conocimientos. Las soluciones incluyen redes / portales específicos del proyecto que permiten el intercambio de datos intensivos (intercambio interoperable entre las partes interesadas).	Las soluciones de red se evalúan continuamente y se sustituyen por las últimas innovaciones probadas. Las redes facilitan la adquisición, almacenar y compartir conocimientos entre todas las partes interesadas. La optimización de datos integrados, los procesos y los canales de comunicación es implacable.
Tecnología					

Fuente: (Change Agents AEC, 2016)
Modificado por autor

Cuadro 8. Matriz de madurez BIM para la escala organizacional.(continuación)

	a INICIAL (0 puntos)	b DEFINIDO (max 10 puntos)	c MANEJADO (max 20 puntos)	d INTEGRADO (max 30 puntos)	e OPTIMIZADO (max 40 puntos)
Áreas de Madurez (nivel de detalle 1)	El entorno de trabajo, o bien no se reconoce como un factor de la satisfacción del personal o puede no ser propio para la productividad. El conocimiento no es reconocido como un activo; el conocimiento BIM suele compartirse de manera informal entre el personal (a través de consejos, técnicas y lecciones aprendidas).	El entorno de trabajo y las herramientas en el lugar de trabajo se identifican como factores que influyen en la motivación y la productividad. Del mismo modo, el conocimiento es reconocido como un activo; el conocimiento compartido es recopilado, documentado y después transferido de tácito a explícito.	El entorno de trabajo es controlado, modificado y sus criterios gestionados para aumentar la motivación del personal, la satisfacción y la productividad. Además, el conocimiento documentado se almacena adecuadamente.	Los factores ambientales se integran en las estrategias de desempeño. El conocimiento se integra en los sistemas de organización; el conocimiento almacenado se hace accesible y fácilmente recuperable.	Los factores físicos del lugar de trabajo se revisan constantemente para asegurar la satisfacción del personal y un entorno propio para la productividad. Del mismo modo, las estructuras de conocimiento responsables de la adquisición, representación y difusión se revisan y modifican sistemáticamente.
	No hay procesos definidos; los roles son ambiguos y estructuras de equipo / dinámicas son inconsistentes. El rendimiento es impredecible y la productividad depende de heroísmos individuales. Florece una mentalidad de "trabajo en torno al sistema".	Los roles BIM se definen informalmente y los equipos se forman en consecuencia. Cada proyecto BIM se planifica de forma independiente. Se identifican las competencias BIM y se objetivan; el heroísmo BIM se desvanece a medida que aumenta la competencia, pero la productividad sigue siendo impredecible	La cooperación en las organizaciones aumenta a medida que se ponen a disposición las herramientas para la comunicación entre proyectos. Flujo de información constante; los roles BIM son visibles y los objetivos se consiguen de forma más consistente.	Los roles BIM y los objetivos de competencia se arraigan en la organización. Los equipos tradicionales son sustituidos por otros orientados a BIM a medida que los nuevos procesos se convierten en parte de la cultura de la organización / del equipo del proyecto. La productividad es ahora consistente y predecible.	Los objetivos de competencia BIM mejoran de manera continua para que coincidan con los avances tecnológicos y se alineen con los objetivos organizacionales. Las prácticas de recursos humanos se revisan de forma proactiva para asegurar que el capital intelectual coincida con las necesidades del proceso
Procesos	Los entregables de modelos 3D (un producto BIM) sufren de niveles de detalle demasiado altos, demasiado bajos o inconsistentes.	Se dispone una "declaración que define la estructuración de los objetos del modelo 3D".	Adopción de especificaciones de productos / servicios similares a Especificaciones de Progreso del Modelo, 'niveles de información' BIPS o similares.	Los productos y servicios se especifican y diferencian en función de las Especificaciones de Progreso del Modelo o similar.	Los productos y servicios BIM son evaluados constantemente; los bucles de retroalimentación promueven la mejora continua.
	Los líderes / gerentes tienen varias visiones sobre BIM. La implementación de BIM (según los requisitos BIM de la etapa) se lleva a cabo sin una estrategia. En este nivel de madurez, BIM se trata como una corriente tecnológica; la innovación no se reconoce como un valor independiente y no se reconocen las oportunidades de negocios que surgen de BIM.	Los líderes / gerentes adoptan una visión común sobre BIM. La estrategia de implementación de BIM carece de datos procesables. BIM se trata como un proceso de cambio, una corriente tecnológica. Se reconocen las innovaciones de producto y proceso; Se identifican las oportunidades de negocio derivadas de BIM, pero no se explotan.	Se comunica la visión de implementar BIM y es entendida por la mayoría del personal. La estrategia de implementación de BIM va de la mano con planes de acción detallados y un régimen de vigilancia. BIM es reconocido como una serie de tecnología, procesos y cambios gestionados sin poner trabas a la innovación. Se reconocen las oportunidades de negocio derivadas de BIM y se utilizan las acciones de marketing.	La visión es compartida por el personal de toda la organización y / o los socios del proyecto. La implementación de BIM, sus requisitos y la innovación de procesos / productos están integrados en los canales organizativos, estratégicos, de gestión y de comunicación. Las oportunidades de negocio derivadas de BIM son parte de la ventaja competitiva del equipo, organización o del equipo de proyectos y se utilizan para atraer y mantener a los clientes.	Las partes interesadas han internalizado la visión BIM y se logra activamente. La estrategia de implementación de BIM y sus efectos en los modelos de organización se revisa de forma continua y alineada con otras estrategias. Si son necesarias modificaciones, se implementan de forma proactiva. El producto innovador / las soluciones de negocio son codiciados y se persiguen de forma implacable.

Fuente: (Change Agents AEC, 2016)
Modificado por autor

Cuadro 8. Matriz de madurez BIM para la escala organizacional.(continuación)

	a INICIAL (0 puntos)	b DEFINIDO (max 10 puntos)	c MANEJADO (max 20 puntos)	d INTEGRADO (max 30 puntos)	e OPTIMIZADO (max 40 puntos)
Áreas de Madurez (nivel de detalle 1)	Muy poca o ninguna formación a disposición del personal BIM. Los medios educativos / formativos no son adecuadas para alcanzar los resultados buscados.	Se definen los requisitos de formación y por lo general se proporcionan sólo cuando es necesario. Los medios de formación son diversos, permitiendo flexibilidad en la distribución de contenidos.	Los requisitos de formación se gestionan para cumplir con las competencias pre-establecidas y los objetivos de desempeño. Los medios de formación se adaptan a los alumnos y para alcanzar los objetivos de aprendizaje de una manera rentable.	La formación se integra en las estrategias de organización y objetivos de desempeño. La formación se basa típicamente en las funciones del personal y los objetivos de competencia respectivos. Los medios de formación se incorporan en los canales de conocimiento y comunicación.	La formación se evalúa y mejora de forma continua. La disponibilidad de formación y los métodos de entrega se diseñan para permitir el aprendizaje continuo
Políticas	No hay directrices BIM, protocolos de documentación o estándares de modelado. No hay estándares de documentación y control de calidad son informales o no existen; tampoco para los modelos 3D o la documentación. No hay referencias para procesos, productos o servicios.	Existen unas directrices BIM disponibles (ex: manual de formación y estándares de ejecución BIM). Los estándares de Modelado y documentación están bien definidos, de acuerdo con los estándares aceptados del mercado. Se fijan los objetivos de calidad y las referencias de desempeño.	Hay unas directrices BIM detalladas disponibles (formación, estándares, flujos, excepciones...). El modelado, la representación, la cuantificación, las especificaciones y las propiedades analíticas de los modelos 3D se gestionan mediante estándares de modelado detallado y planes de calidad. Se monitoriza y controla estrechamente el desempeño frente a referencias del mercado.	Las directrices BIM están integradas en las políticas globales y las estrategias de negocio. Los estándares BIM y las referencias de desempeño se incorporan en los sistemas de gestión de calidad y de mejora de ejecución.	Las directrices BIM se redefinen continua y proactivamente para reflejar las lecciones aprendidas y las mejores prácticas de la industria. Se alinean continuamente la mejora de calidad y el cumplimiento de normativa y regulaciones. Las referencias se revisan de forma reiterada para asegurar la mayor calidad en procesos, productos y servicios.
	La dependencia de los acuerdos contractuales pre-BIM. No se reconocen los riesgos relacionados con la colaboración basada en el modelo o se ignoran.	Se reconocen los requisitos BIM. "La declaración que define la responsabilidad de cada una de las partes interesadas en relación con la gestión de la información" ya está disponibles.	Existe un mecanismo para la gestión compartida de la propiedad intelectual BIM, la confidencialidad, la responsabilidad y un sistema para la resolución de conflictos BIM.	Las organizaciones están alineadas a través de la confianza y la dependencia mutua más allá de las barreras contractuales.	Las responsabilidades, riesgos y beneficios se analizan de forma continua y readaptan al esfuerzo. Se modifican los modelos contractuales para lograr mejores prácticas y mayor valor para todas las partes interesadas.

Fuente: (Change Agents AEC, 2016)
Modificado por autor

Cuadro 8. Matriz de madurez BIM para la escala organizacional.(continuación)

	a INICIAL (0 puntos)	b DEFINIDO (max 10 puntos)	c MANEJADO (max 20 puntos)	d INTEGRADO (max 30 puntos)	e OPTIMIZADO (max 40 puntos)
Áreas de Madurez (nivel de detalle 1)	Implementación de una herramienta basada en objetos. No se identifican cambios de proceso o en las políticas para acompañar esta implementación.	Se han acabado los proyectos piloto. Se identifican los requisitos del proceso y de la política BIM. Se prepara la estrategia de implementación y los planes de detalle.	Se insisten, estandarizan y controlan los procesos y la política BIM.	Las tecnologías, procesos y política BIM están integradas en las estrategias de organización y alineadas con los objetivos de negocio.	Las tecnologías, procesos y política BIM se revisan continuamente para beneficiarse de la innovación y alcanzar los objetivos de desempeño más altos.
ETAPA 1	Modelado basado en objetos: uso en una sola disciplina en una fase del ciclo de vida	Colaboración Ad-hoc BIM; las capacidades internas de colaboración son incompatibles con los socios del proyecto. Puede faltar confianza y respeto entre los participantes en el proyecto.	Colaboración proactiva entre las múltiples partes; los protocolos están bien documentados y gestionados. Existe confianza mutua, respeto y riesgos y beneficios compartidos entre los participantes del proyecto.	Colaboración entre las múltiples partes que incluye a los actores aguas abajo. Se caracteriza por la participación de los actores clave durante las fases iniciales del ciclo de vida del proyecto.	Equipo integrado por múltiples partes que incluye a todos los actores clave en un entorno caracterizado por la buena voluntad, la confianza y el respeto.
ETAPA 2	Colaboración basada en modelos: multidisciplinaria, intercambio por la vía rápida de modelos	Los modelos integrados son generados por un gran subconjunto de los participantes en el proyecto. La integración sigue guías de proceso, normas y protocolos de intercambio predefinidas. Se distribuyen las responsabilidades y los riesgos se mitigan a través de medios contractuales.	Los modelos integrados (o partes de) son generados y gestionados por la mayoría de los participantes en el proyecto. Las responsabilidades dentro de alianzas temporales de proyecto o asociaciones a más largo plazo son claras. Los riesgos y beneficios se gestionan y distribuyen de forma activa.	Los modelos integrados son generados y gestionados por todos los participantes clave del proyecto. La integración basada en la red es la norma y el foco no está en la forma de integrar modelos / flujos de trabajo, sino en la detección y resolución proactiva de los desajustes de tecnología, procesos y políticas.	Se revisa y optimiza continuamente la integración de modelos y flujos de trabajo. Un equipo de proyecto interdisciplinar, estrechamente unido, persigue de forma activa nuevas eficiencias, entregables y alineaciones. Los modelos integrados son resultado de la aportación de muchos participantes en la cadena de suministro de la construcción.
ETAPA 3	Integración basada en la red: intercambio concurrente multidisciplinario de modelos de nD a lo largo de las fases del ciclo de vida del proyecto	Se formaliza el liderazgo BIM; los diferentes roles en el proceso de implementación están definidos.	Los roles BIM Pre-definidos se complementan entre ellos en la gestión del proceso de implementación.	Los roles BIM están integrados en las estructuras de liderazgo de la organización.	El liderazgo BIM muta continuamente para permitir nuevas tecnologías, procesos y entregables
MICRO	Organizaciones: dinámicas y entregables BIM				

Fuente: (Change Agents AEC, 2016)
Modificado por autor

Cuadro 9. Matriz con los componentes de Macro Madurez

Nivel de madurez	a	b	c	d	e
Componentes	Madurez baja	Madurez media-baja	Madurez media	Madurez media-alta	Madurez alta
Objetivos, etapas e hitos	No hay objetivos BIM a nivel de mercado o etapas de implementación bien definidas con sus respectivos hitos	Existen objetivos BIM bien definidos a nivel de mercado en conjunto con etapas de implementación y sus respectivos hitos	Los objetivos, las etapas y los hitos están centralizados y manejados con monitores formal	Los objetivos y las etapas BIM se integran dentro de las tecnologías, procesos y políticas y se manifiestan dentro de los otros componentes del modelo de macro madurez	Los objetivos BIM y sus etapas se ajustan de manera continua para incorporar los avances tecnológicos, facilitar el proceso de innovación y beneficiarse de las mejores prácticas internacionales
Campeones y guías	No se identifican campeones en el mercado o algún intento de implementación BIM	Hay uno o varios campeones o guías informales que trabajan dentro del sector	Hay un comité o grupo unificado que lleva a cabo el impulso para la implementación y difusión de la metodología BIM	Los guías coordinan las actividades de la adopción en todo el sector, eliminan los sobreesfuerzos y disminuyen las brechas de difusión	El rol de los guías disminuye y es sustituido por un sistema optimizado, estándares y protocolos
Marco regulatorio	No existe un marco regulatorio formal sobre BIM	Existe un marco regulatorio formal para los proyectos en BIM con sus derechos y responsabilidades para algunos actores involucrados en los proyectos	El marco regulatorio formal cubre los derechos y las responsabilidades de todos los actores dentro de un proyecto en BIM	El marco regulatorio se integra dentro de los requisitos, los roles, los procesos y los entregables	El marco regulatorio se ajusta continuamente para integrar los avances tecnológicos y la optimización de los trabajos colaborativos
Publicaciones relevantes	Existen pocas o ninguna publicación relevante en el sector	Existen varias publicaciones con conocimiento redundante o que contienen brechas en el conocimiento	Las publicaciones son coordinadas por una sola entidad que minimiza la redundancia y las brechas de conocimiento	Las publicaciones se interconectan e integran a través del ciclo de vida de los proyectos y toda la cadena de valor del sector construcción	Las publicaciones son optimizadas para reflejar las mejores prácticas internacionales
Aprendizaje y educación	Los temas de aprendizaje BIM no se han identificado ni incluidos dentro de los sistemas de capacitación; se carece de habilidad para infundir los conocimientos BIM	Los temas de aprendizaje BIM son identificados e incorporados en los programas de capacitación; existen varios proveedores de capacitación para diferentes disciplinas	Los temas de aprendizaje BIM son enlazados con los roles existentes y emergentes en el sector; se desarrollan programas de acreditación para las diferentes disciplinas	Los temas BIM se integran dentro de las fibras del sector académico y reconocen todas las necesidades de capacitación para la toda la industria de las construcciones	Los temas BIM son infundido dentro de los sistemas de capacitación a nivel técnico y profesional
Mediciones y puntos de referencia	No hay mediciones en el sector de la construcción aplicables a la difusión del BIM, la capacidad de las organizaciones y el desarrollo de los proyectos	Las métricas formales son usadas como puntos de referencia en los proyectos y observar las habilidades de los individuos, equipos y organizaciones en el sector	Se utilizan métricas estandarizadas como punto de referencia para los resultados de los proyectos; se desarrollan programas de verificación para las habilidades BIM, los programas de capacitación y las herramientas de trabajo	Las métricas estandarizadas y los puntos de referencia son integradas de manera obligatoria dentro de los requisitos para los proyectos; utilizados para precalificar las habilidades de los individuos, equipos y organizaciones	Las métricas estandarizadas se ajustan de manera continua para involucrar los sistemas de acreditación y las mejores prácticas a nivel internacional
Estándares y entregables	No hay una biblioteca de objetos en el sector; los servicios requieren el uso de modelos y el uso de información operacional	Hay bibliotecas de objetos disponibles, pero no siguen una norma de modelación y clasificación centralizada; los usos de los modelos y los requisitos de información se definen de manera informal	Las bibliotecas de objetos estandarizadas están disponibles y se utilizan en la prestación de servicios y en los requisitos para datos operativos que se integran de forma parcial en el ciclo de vida de los proyectos	Las bibliotecas de objetos son estandarizadas, los flujos de trabajo y el uso de los modelos se basan en el ciclo de vida del proyecto, y los requisitos de datos operacionales están integrados en los mecanismos de adquisición y operación de las instalaciones	Los usos y requerimientos de información para las bibliotecas estandarizadas son mejoradas de manera continua para optimizar su interoperabilidad y accesibilidad
Infraestructura tecnológica	La infraestructura tecnológica es inexistente, inadecuada o inaccesible obstaculizando la adopción generalizada de BIM	Existe una adecuada calidad y accesibilidad de la infraestructura tecnológica que permite la implementación del BIM dentro de las organizaciones y su difusión dentro de los diferentes sectores	La calidad de la infraestructura tecnológica y su accesibilidad permiten el intercambio, almacenamiento y gestión eficiente de los complejos modelos entre los equipos de proyecto	La infraestructura tecnológica se integra de manera uniforme e interoperable a través de las redes de bases de datos en tiempo real	La infraestructura tecnológica es intuitiva y accesible, lo que permite un intercambio de datos sin problemas entre los sistemas virtuales y objetos físicos durante todo el ciclo de vida del proyecto

Fuente: (Succar & Kassem, 2015)
Modificado por autor

7.4. Listado de proyectos que se plantean dentro del Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública entre los años 2019 y 2022.

Cuadro 10. Proyectos del Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2022

Proyecto	Costo	Institución encargada	Observaciones
Proyecto Sistema Control de Inundaciones Áreas del río Limoncito, Limón. (Finalización de la I Etapa obras en cauce pendientes)	∅ 2,625,000,000.00	Senara	
Programa de Integración Fronteriza (Modernización de los puestos fronterizos)	∅ 62,090,000,000.00	Ministerio de Comercio Exterior	Mejorar la infraestructura del área metropolitana para la movilidad de usuarios de autobuses
Programa de Movilidad Urbana	∅ 17,620,000,000.00	MOPT	Mejorar el servicio de transporte ferroviario
Programa de Movilidad Urbana	∅ 18,450,000,000.00	INCOFER	Ampliación Ruta 32
Programas de obras de construcción, rehabilitación, mejoramiento, ampliación y/o conservación de la red vial estratégica de alta capacidad conectores de integración y distribuciones regionales.	∅ 280,470,750,000.00	CONAVI	San José-San Ramón
	∅ 59,470,000,000.00	CONAVI	Ampliación Ruta 1 (Cañas-Barranca)
	∅ 196,461,750,000.00	MOPT	Ampliación Ruta 160 (Playa Naranjo-Paquera)
	∅ 18,277,800,000.00	MOPT	Carretera a San Carlos
	∅ 141,450,000,000.00	CONAVI	Sección Taras-La Lima
	∅ 30,750,000,000.00	MOPT	Conservación red vial nacional asfaltada
	∅ 200,000,000,000.00	CONAVI	Construcción Circunvalación Norte
	∅ 90,552,600,000.00	CONAVI	Paso a desnivel Garantías Sociales
	∅ 11,070,000,000.00	CONAVI	Paso a desnivel Intersección Guadalupe
	∅ 12,300,000,000.00	CONAVI	Paso a desnivel La Bandera
Programas de obras del Gran Área Metropolitana	∅ 15,375,000,000.00	CONAVI	Ampliación Ruta Nacional 147
	∅ 6,765,000,000.00	CONAVI	Construcción del puente binacional Sixaola
	∅ 15,252,000,000.00	CONAVI	Construcción de la duplicación puente sobre el río Virilla Ruta Nacional 32
	∅ 3,413,250,000.00	CONAVI	Construcción de 28 puentes a nivel nacional
Programa de rehabilitación y construcción de la Red Vial Cantonal	∅ 10,550,000,000.00	CONAVI	Kilómetros rehabilitados de la red cantonal
	∅ 44,636,700,000.00	MOPT	Construcción de puentes en la red vial cantonal
Programa de rehabilitación y mejoramiento de infraestructura portuaria	∅ 3,345,600,000.00	MOPT	Mejorar la infraestructura aeroportuaria
	∅ 17,104,430,000.00	DGAC	Mejorar la infraestructura portuaria
Mejoramiento y ampliación de la infraestructura de RECOPE	∅ 12,115,500,000.00	MOPT	Mejorar la infraestructura portuaria
	∅ 20,802,600,000.00	RECOPE	Construcción esteras de mantenimiento
	∅ 2,237,300,000.00	RECOPE	Sistema contra incendios en el muelle petrolero
	∅ 8,959,000,000.00	RECOPE	Planta de Emulsión Asfáltica
	∅ 1,450,000,000.00	RECOPE	Instalación de suministros Tobías Bolaños
	∅ 1,150,050,000.00	INCOFER	Preinversión del tren rápido de pasajeros
	∅ 953,250,000.00	INCOFER	Etapas de reinversión
	∅ 2,152,500,000.00	MOPT	Etapas de preinversión Ruta 32 (Tibás-Cruce Río Frío)
	∅ 615,000,000.00	MOPT	Etapas de preinversión Ruta 23 (Caldera-Barranca)
	∅ 550,000,000.00	MIDEPLAN/MOPT/MIVAH/JINU	Etapas de preinversión
Mejoramiento y ampliación de la infraestructura de RECOPE	∅ 12,300,000,000.00	RECOPE	Etapas de preinversión construcción de la Terminal del Pacífico
	∅ 3,575,000,000.00	RECOPE	Etapas de preinversión Planta Chorotega
	∅ 3,575,000,000.00	RECOPE	Preinversión de la ampliación de capacidad de trasiego de producto limpio (La Gaita-Barranca)
Programas de obras de construcción, rehabilitación, mejoramiento, ampliación y/o conservación de la red vial estratégica de alta capacidad conectores de integración y distribuciones regionales.	∅ 150,750,000.00	CNC	Ampliación y mejoramiento Ruta 27

Fuente: (Ministerio de Planificación y Política Económica, 2018)

Modificado por autor

Cuadro 10. Proyectos del Plan Nacional de Desarrollo e Inversión Pública 2019-2022.(continuación)

Proyecto	Costo	Institución encargada	Observaciones
Programa de rehabilitación y mejoramiento de infraestructura portuaria	∅	JAPDEVA	Construcción y operación de la marina de Limón y terminal de cruceros
	∅	JAPDEVA	Construcción y equipamiento de la zona de Transferencia Intermodal de Carga u de Actividad Logística
Programa de Fortalecimiento del Sistema Penitenciario	∅	Dirección de Adaptación Social	Ampliar la infraestructura del Sistema Penitenciario
	∅	JUDESUR/DINADECO/IMAS	
Programa de la infraestructura social en el marco de la ODS	∅	Aya/CCSS	Proyectos sociales en zonas indígenas
	∅	PANI	Infraestructura dirigida a niños y adolescentes
	∅	CCSS	Unidad de Medicina Reproductiva, Hospital de Las Mujeres
	∅	CCSS	Nuevo Hospital Monseñor Sanabria Martínez
	∅	CCSS	Nuevo Hospital Dr. William Allen Taylor, Turrialba
	∅	CCSS	Tercera Etapa de la Torre Este del Hospital Calderón Guardia
	∅	CCSS	Quirófanos del Hospital México
	∅	CCSS	Nuevo Hospital Dr. Maximiliano Peralta Jiménez
	∅	Aya	Servicio de Saneamiento
Proyecto de Mejoramiento Ambiental del Área Metropolitana de San José	∅	CEN CINAI	Mejorar la infraestructura de CEN CINAI para mejorar los servicios de nutrición, prevención, protección y atención infantil
Zonas Prioritarias	∅	Aya	Servicio de Alcantarillado Sanitario en las ciudades de Palmares, Quepos, Jacó y Golfito
Ampliación y Mejoramiento del Sistema de Alcantarillado en la Ciudad de Limón	∅	Aya	Mejoramiento del sistema de alcantarillado para el desarrollo de la actividad turística
Programa de Mejoramiento de la Infraestructura Educativa	∅	MEP	Centros educativos nuevos
	∅	MEP	Centros educativos con ampliación
	∅	MEP	Mantenimiento
Desarrollo de proyectos habitacionales en territorios rurales	∅	INDER-INJU	
Construcción, Centro de Exhibición de Productos, Eventos y Negocios PYMA en la provincia de Heredia	∅	ICT	
Diseño y Construcción del Muelle Turístico, Provincia de Puntarenas	∅	ICT	
Diseño y Construcción del Muelle Turístico, Isla San Lucas	∅	ICT	
Construcción de dos atracaderos turísticos	∅	ICT	
Construcción de la Delegación Turística de la provincia de Guanacaste, Cantón de Santa Cruz	∅	ICT	
Mejoramiento de la infraestructura del Parque Nacional Volcán Tenorio	∅	ICT	
Construcción de la Delegación Turística de la provincia de Guanacaste, Cantón de Liberia	∅	ICT	
Programa Integral de Abastecimiento de Agua para Guanacaste	∅	MINAE	Asegurar el aprovechamiento óptimo del recurso hídrico
	∅	PIMA	
Programa Nacional de Mercados Regionales	∅	INCOPECA	

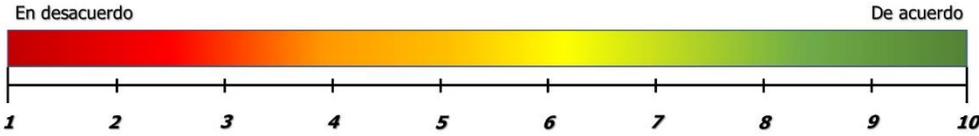
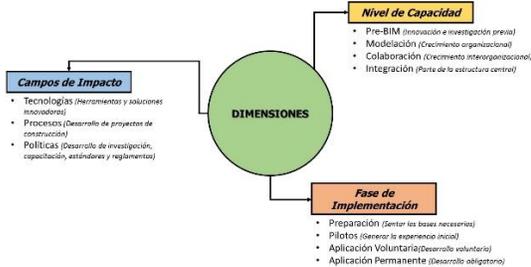
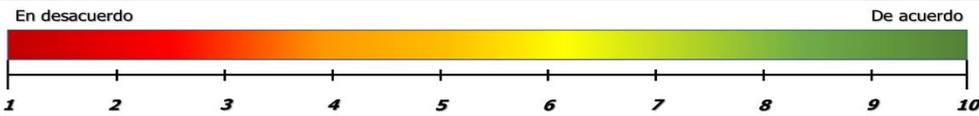
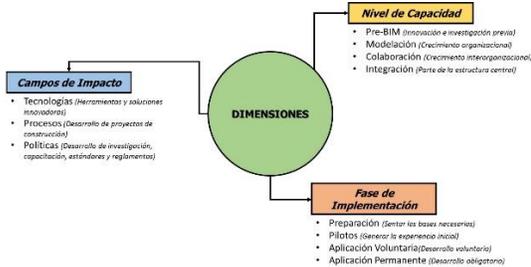
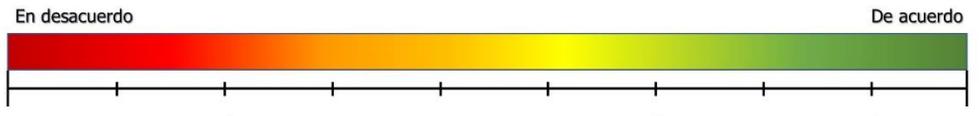
Fuente: (Ministerio de Planificación y Política Económica, 2018)

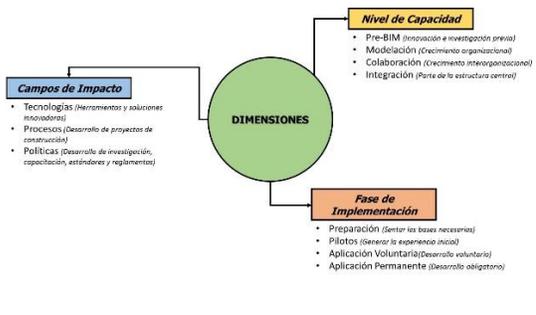
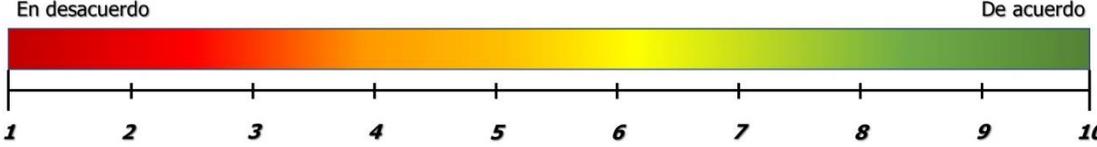
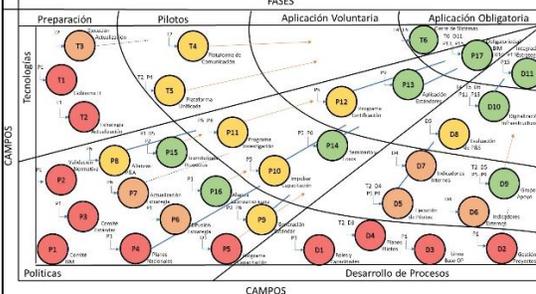
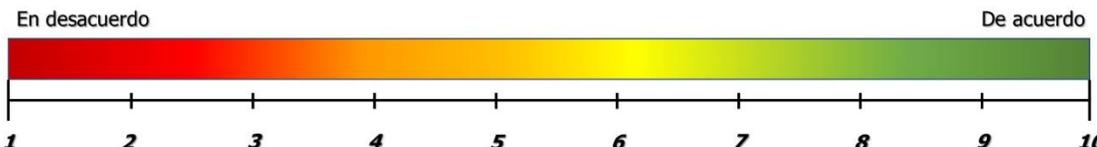
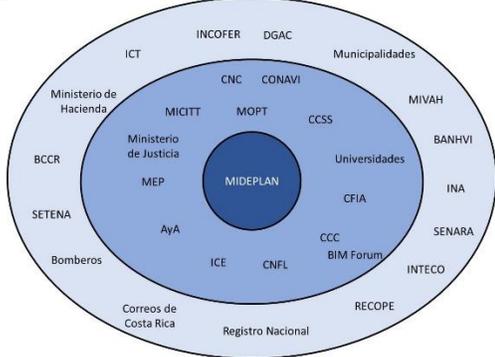
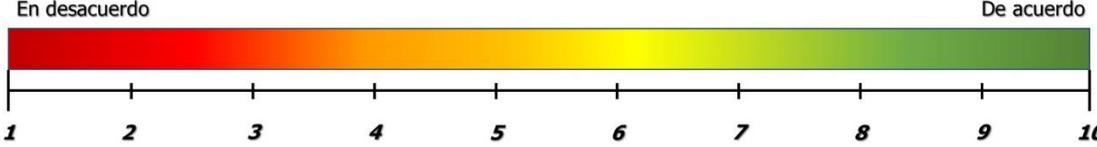
Modificado por autor

7.5. Herramienta de evaluación utilizada por el comité de validación para valorar la propuesta elaborada.

A continuación, se presentan una serie de afirmaciones relacionadas con la propuesta elaborada en esta investigación. En ellas se describen cuáles son sus puntos principales donde ustedes deberán indicar, con un círculo, que tan de acuerdo están con dichas afirmaciones, donde 1 es totalmente en desacuerdo y 10 totalmente de acuerdo.

<p>1. Base Teórica</p> <p>Los conceptos teóricos utilizados para elaborar la hoja de ruta que se propone están bien fundamentados y se relacionan con los procesos de implementación a nivel internacional. (Metodología del Punto de Adopción, Metodología de Componentes de Macro-Madurez, situación internacional, conceptos básicos del BIM)</p>	<p>El diagrama muestra la ejecución relativa de BIM en el tiempo. Se divide en 'Investigación + innovación' y 'DIFUSIÓN'. El eje vertical es 'EJECUCIÓN relativa' con niveles: Post-BIM, Capacidad 3 (Integrado), Capacidad 2 (Colaborativo), Capacidad 1 (Modular), y Pre-BIM. El eje horizontal es 'TIEMPO relativo' con etapas: preparación, CAPACIDAD + MADUREZ, y nivel de madurez. Se muestran trayectorias de desarrollo con puntos de adopción (1a-3a) y niveles de madurez (1a-3a).</p>
<p>En desacuerdo De acuerdo</p> <p>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>	
<p>2. Estado nacional</p> <p>El diagnóstico desarrollado describe las características actuales del sector público y da una idea clara de las oportunidades que tienen el sector privado y la academia para incorporarse al proceso de implementación y apoyar al sector público. A su vez, permitiendo identificar el punto de partida del proceso de adopción para proyectos de obra pública.</p>	<p>El diagrama muestra tres engranajes interconectados: Academia (rojo), Privado (naranja) y Público (verde). Flechas curvas indican la interacción y el flujo de información entre estos sectores.</p>
<p>En desacuerdo De acuerdo</p> <p>1 2 3 4 5 6 7 8 9 10</p>	

<p align="center">3. Visión integral</p> <p>La propuesta un trabajo en el que se desarrollen actividades dentro de las áreas de impacto que se ejecuten de manera gradual y ordenada en la búsqueda de generar las destrezas necesarias para desarrollar los proyectos de obra pública con la ayuda de herramientas BIM.</p>	
	
<p align="center">4. Dimensión Campos</p> <p>La propuesta elaborada contempla bien los campos de tecnologías, desarrollo de procesos y políticas para un crecimiento integral dentro de cada una de ellas. Es decir, desde el inicio del proceso los tras campos de impacto se desarrollan de manera conjunta permitiendo un óptimo desarrollo dentro de la metodología BIM acorde a la realidad nacional.</p>	
	
<p align="center">5. Dimensión Capacidades</p> <p>La propuesta muestra cómo se van desarrollando diferentes tipos de capacidades necesarias para un manejo amplio e integral de las oportunidades que brinda la metodología BIM en los proyectos de construcción para infraestructura o edificaciones.</p>	
	

<p>6. Dimensión Fases</p> <p>La propuesta muestra una serie de fases que permiten una visión de crecimiento gradual de manera que le permita a todos los actores involucrados ir realizando cambios para adaptarse a las nuevas formas metodológicas para el desarrollo de la obra pública.</p>	
	
<p>7. Representación conceptual gráfica</p> <p>Las representaciones visuales de la hoja de ruta presentan la información de manera que sea fácil de comprender y lo suficientemente detallada para funcionar como una posible guía para el control de la estrategia de implementación.</p>	
	
<p>8. Recomendación de actores</p> <p>Los actores propuestos representan las áreas de mayor impacto dentro de las inversiones en obra pública y pueden generar el impulso necesario para que se dé una implementación generalizada en el sector público en el mediano o largo plazo dentro de su ámbito de responsabilidad.</p>	
	

7.6. Sesión de validación realizada el 15 de mayo del 2019



Figura 64. Comité de validación que participó en la sesión del 15 de mayo del 2019.

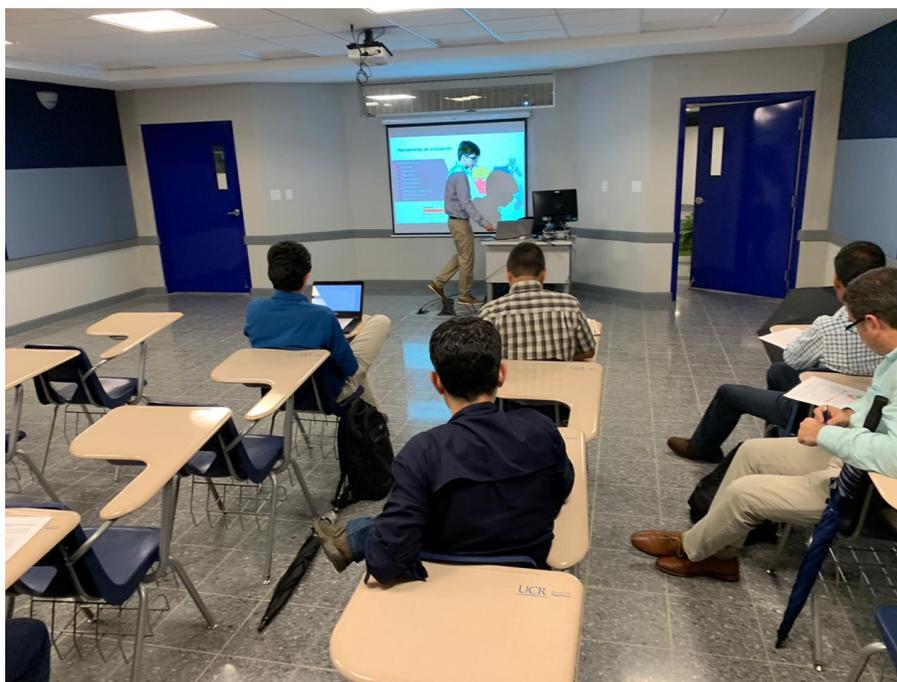


Figura 65. Proceso de conversación para analizar y evacuar dudas de la propuesta elaborada.

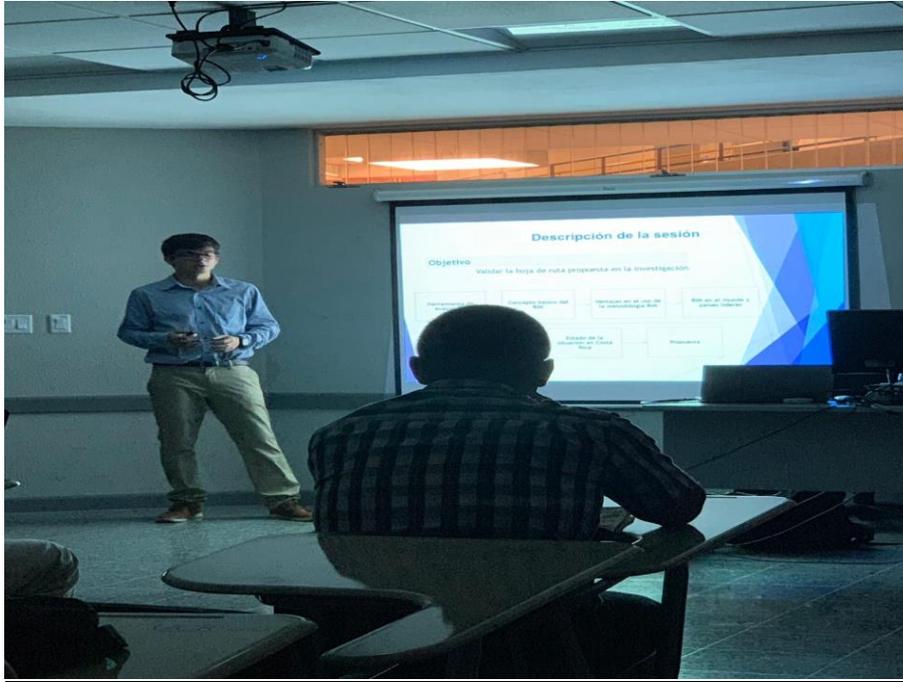


Figura 66. Exposición de la propuesta de implementación BIM al comité de validación.



Figura 67. Aplicación de la herramienta de validación para obtener la evaluación del comité experto.