

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO

PROPUESTA DE HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN PARA
IMPLEMENTAR LA METODOLOGÍA BIM EN PROYECTOS DE
INFRAESTRUCTURA VIAL EN COSTA RICA

Trabajo final de investigación aplicada sometido a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Civil para optar al grado y título de Maestría Profesional en Administración e Ingeniería de la Construcción

NELSON EDUARDO CORDERO MONTERO

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica

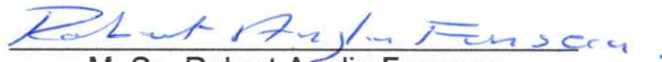
2022

Dedicatoria y agradecimientos

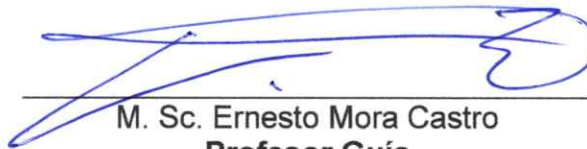
La dedicatoria y culminación de este trabajo se la debo primeramente a Dios, que me ha brindado la Salud, el tiempo y las oportunidades económicas para culminar este Proyecto. A mi padre, a mi madre a mi esposa e hijo; han sido el soporte necesario e incondicional para seguir adelante.

Agradezco al cuerpo docente del Posgrado, por transmitir su conocimiento y dedicar su tiempo para hacer crecer el potencial técnico en nuestra rama y en nuestro país. A los profesores lectores M.Sc. Marcos Rodríguez, M.Sc. Carlos Camacho y en especial a mi Profesor Guía, el Doctor Ernesto Mora, por sus valiosos aportes y apoyo permanente en el proceso de elaboración de este trabajo. Adicionalmente agradezco a los compañeros que colaboraron con el aprendizaje de las diferentes materias abordadas en la maestría.

“Este trabajo final de investigación aplicada fue aceptado por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado y título de Maestría Profesional en Administración e Ingeniería de la Construcción”



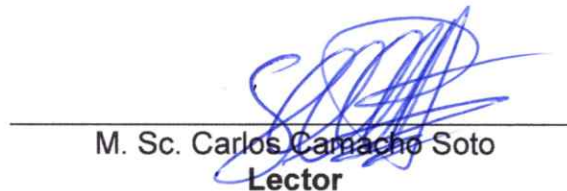
M. Sc. Robert Anglin Fonseca
**Representante de la Decana
Sistema de Estudios de Posgrado**



M. Sc. Ernesto Mora Castro
Profesor Guía



M. Sc. Marcos Rodríguez Mora
Lector



M. Sc. Carlos Camacho Soto
Lector



M. Sc. Mauricio Jiménez Bolaños
**Representante del Director
Programa de Posgrado Ingeniería
Civil**



Nelson Cordero Montero
Sustentante

Contenido	
Dedicatoria y agradecimientos	ii
Hoja de aprobación	iii
Índice de tablas	vi
Índice de figuras	vii
Acrónimos	viii
1 Capítulo 1 Introducción	1
1.1 Introducción al tema	1
1.2 Formulación del problema	6
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo general	8
1.3.2 Objetivos específicos	8
2 Capítulo 2 Marco de referencia	9
2.1 Antecedentes	9
2.1.1 El estado actual de las carreteras en Costa Rica	9
2.1.2 Uso del BIM	17
2.2 Marco teórico	18
2.2.1 Definición de BIM	18
2.2.2 Uso del BIM en el ciclo de vida para infraestructura de transporte	20
2.2.3 Aplicaciones del BIM para infraestructura de transporte	37
2.2.4 Limitaciones, recomendaciones y desafíos	62
3 Capítulo 3 Metodología	79
3.1 Entrevista semiestructurada	82
3.2 Elaboración de la herramienta	83
4 Capítulo 4 Resultados y análisis	84
4.1 Aplicabilidad de BIM en Costa Rica	84
4.1.1 Matriz de valoración de características BIM aplicables	93
4.2 Base de requerimientos BIM para una contratación	130
5 Conclusiones	145
6 Apéndice	159
6.1 Apéndice 1	159
6.2 Apéndice 2	179

Resumen

Se propuso elaborar una herramienta de evaluación para implementar la adaptación de la metodología BIM en proyectos viales en Costa Rica. Para ello se realizó una caracterización de la problemática en el país para el desarrollo de este tipo de proyectos. También, se realizó una investigación de los usos y beneficios de BIM aplicados a la infraestructura vial y se analizó la posible aplicación de estos usos a la problemática identificada. Posteriormente se propuso una matriz de valoración de proyectos con resultados cuantitativos y rangos de valoración. Por último, se establecieron casos diferenciados para comparar los resultados en el uso de la herramienta creada.

Con el estudio se determinó que la metodología BIM tiene potencial de aplicación para mejorar las principales limitaciones y deficiencias que presenta el desarrollo de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica. A partir de la correlación de esta aplicabilidad, se elaboró una herramienta para evaluar, de forma cualitativa-cuantitativa la potencialidad de utilizar BIM en un proyecto definido, desde de características particulares de proyectos de infraestructura vial.

Índice de tablas

Tabla 1 Principales hallazgos, informe valoración de la Red Vial Nacional elaborado por la CGR.....	10
Tabla 2. Publicaciones de BIM para infraestructura vial basadas en el ciclo de vida.....	22
Tabla 3 Revisión de literatura de BIM en infraestructura de transporte.....	38
Tabla 4 Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte	62
Tabla 5 Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica.....	84
Tabla 6 Estructura de matriz de valoración BIM	94
Tabla 7 Rangos de puntuación en evaluación de proyectos.....	97
Tabla 8 Clasificación del evaluador	100
Tabla 9 Particularidades del escenario uno.....	101
Tabla 10 Evaluación del escenario uno	103
Tabla 11 Particularidades del escenario dos	105
Tabla 12 Evaluación del escenario dos	106
Tabla 13 Particularidades del escenario tres.....	108
Tabla 14 Evaluación del escenario tres.....	110
Tabla 15 Particularidades del escenario cuatro	112
Tabla 16 Evaluación del escenario cuatro	113
Tabla 17 Contraste de escenarios uno y dos.....	116
Tabla 18 Contraste de escenarios dos y tres.....	120
Tabla 19 Contraste de escenarios tres y cuatro	124
Tabla 20 Metodología de evaluación de la Matriz.....	133
Tabla 21 Matriz de roles y responsabilidades BIM	135
Tabla 22 Estructura general de términos de referencia BIM	137
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración.....	159
Tabla 24 Matriz de oportunidades - plantilla	175
Tabla 25 Matriz de limitaciones - plantilla	176
Tabla 26 Valoración del índice P para oportunidades.....	177
Tabla 27 Valoración del índice P para limitaciones.....	177
Tabla 28 Valoración del índice C para oportunidades	178
Tabla 29 Valoración del índice C para limitaciones	179

Índice de figuras

Figura 1 Niveles de madurez del BIM. McPartland, BIM Levels explained, 2014.....	20
Figura 2 Curva de esfuerzo-costo-efecto del BIM.....	36
Figura 3. Usos del BIM en infraestructura de transporte.....	37
Figura 4 Usos del BIM en el ciclo de vida del Proyecto	37
Figura 5 Metodología de trabajo para el proyecto de investigación.	79
Figura 6 Composición de columnas de la matriz de valoración	94
Figura 7 Instrucciones de uso de la matriz de valoración de implementación de BIM en proyectos de infraestructura vial.....	99

Acrónimos

3D: Tres dimensiones

4D: Cuatro dimensiones

5D: Cinco dimensiones

ALC: América Latina y El Caribe

APP: Asociación público-privada

AS Built: Realmente ejecutado

BIM: *Building Information Modeling*

BrIM: *Bridge Information Modeling*

CAD: *Computer Aided Design*

CGR: Contraloría General de la República

CONAVI: Consejo Nacional de Vialidad

EDT: Estructura de descomposición del trabajo

FIDIC: Federación Internacional de Ingenieros Consultores

GPS: *Global Positioning System*

IFC: Industry Foundation Classes

IRI: Índice de rugosidad internacional

NDI: Nivel de información

NIEM: *National Information Exchange Model*

MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transporte de Costa Rica

LANAMME: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales

LCA: Ley de Contratación Administrativa

LIDAR: *Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging*

LOD: *Level of Detail*

O&M: Operación y mantenimiento

PEB: Plan de ejecución BIM

PIB: Producto Interno Bruto

PYME: Pequeñas y medianas empresas

ROI: *Return of Investment*

SIG: Sistema de Información Geográfica

SIGEPRO: Sistema de Gestión de Proyectos

TDI: Tipo de información

TIR: Tasa Interna de Retorno

TdR: Términos de referencia

VPN: Valor Presente Neto



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA

SEP Sistema de
Estudios de Posgrado

Autorización para digitalización y comunicación pública de Trabajos Finales de Graduación del Sistema de Estudios de Posgrado en el Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica.

Yo, Nelson Eduardo Cordero Montero, con cédula de identidad 304090365, en mi condición de autor del TFG titulado Propuesta de herramienta de evaluación para implementar la metodología BIM en proyectos de infraestructura vial en Costa Rica

Autorizo a la Universidad de Costa Rica para digitalizar y hacer divulgación pública de forma gratuita de dicho TFG a través del Repositorio Institucional u otro medio electrónico, para ser puesto a disposición del público según lo que establezca el Sistema de Estudios de Posgrado. SI ☒ NO * ☐

*En caso de la negativa favor indicar el tiempo de restricción: _____ año (s).

Este Trabajo Final de Graduación será publicado en formato PDF, o en el formato que en el momento se establezca, de tal forma que el acceso al mismo sea libre, con el fin de permitir la consulta e impresión, pero no su modificación.

Manifiesto que mi Trabajo Final de Graduación fue debidamente subido al sistema digital Kerwá y su contenido corresponde al documento original que sirvió para la obtención de mi título, y que su información no infringe ni violenta ningún derecho a terceros. El TFG además cuenta con el visto bueno de mi Director (a) de Tesis o Tutor (a) y cumplió con lo establecido en la revisión del Formato por parte del Sistema de Estudios de Posgrado.

INFORMACIÓN DEL ESTUDIANTE:

Nombre Completo: Nelson Eduardo Cordero Montero

Número de Carné: A41647 Número de cédula: 304090365

Correo Electrónico: edcordero@gmail.com

Fecha: 24 de marzo de 2022 Número de teléfono: 98339911

Nombre del Director (a) de Tesis o Tutor (a): Ernesto Mora Castro

FIRMA ESTUDIANTE

Nota: El presente documento constituye una declaración jurada, cuyos alcances aseguran a la Universidad, que su contenido sea tomado como cierto. Su importancia radica en que permite abreviar procedimientos administrativos, y al mismo tiempo genera una responsabilidad legal para que quien declare contrario a la verdad de lo que manifiesta, puede como consecuencia, enfrentar un proceso penal por delito de perjurio, tipificado en el artículo 318 de nuestro Código Penal. Lo anterior implica que el estudiante se vea forzado a realizar su mayor esfuerzo para que no sólo incluya información veraz en la Licencia de Publicación, sino que también realice diligentemente la gestión de subir el documento correcto en la plataforma digital Kerwá.

1 Capítulo 1 Introducción

1.1 Introducción al tema

En la actualidad, para un país es fundamental contar con infraestructura vial de calidad suficiente y así poder satisfacer de manera óptima las necesidades de transporte de la población. La infraestructura vial debe garantizar un transporte de personas y mercancías que sea eficiente y eficaz, ya que es esperable que este aspecto tenga una repercusión directa en el crecimiento socio-económico al promover un aumento en la productividad en la industria, en el comercio y como consecuencia en la competitividad global del país. La calidad deficiente de los sistemas de transporte constituye una limitante de suma importancia para que el país pueda potenciar el crecimiento generalizado de la economía, así como la calidad de vida de sus habitantes. Aunado a lo anterior, la infraestructura vial favorece el crecimiento de las zonas rurales y en consecuencia el bienestar económico de los pobladores y la disminución de la desigualdad social (Perotti, 2011).

Lo anterior, resulta relevante si se considera que, en los últimos años, el país ha experimentado progresivamente un decrecimiento en el nivel de inversión pública. En otras palabras, no es suficiente el desarrollo de proyectos importantes para el país ni para una adecuada conservación de la infraestructura vial existente. Esto ha provocado que la vialidad nacional haya sufrido un deterioro importante. Según un estudio desarrollado por el Foro Económico Mundial (World Economic Forum, 2019), en el cual se determinó y comparó el índice de competitividad global, Costa Rica está posicionada en los últimos lugares en el mundo en cuanto a la medición de la calidad de las carreteras. El cuestionamiento de lo anterior conlleva al planteamiento de algunas preguntas, entre las cuales se pueden citar:

¿por qué la red vial en Costa Rica está en un estado tan deficiente?, ¿cuáles son las causas para que las carreteras estén tan malas y colapsadas?, ¿por qué es tan

difícil hacer obra pública en Costa Rica? y ¿qué se ha hecho durante el tiempo para mejorar?

Para responder esas y otras preguntas, es necesario remitirse a estudios existentes relacionados con los resultados de la ejecución de proyectos de obra pública por parte del Estado y de igual manera, conocer qué han hecho otros países en la materia que haya tenido buenos resultados. A modo de ejemplo, según el informe realizado por el LANAMME (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), 2019), en términos de regularidad superficial se determinó que del total de las carreteras nacionales solamente el 32,1% poseen una regularidad buena, un 32,6% moderada y el restante 35,2% se encuentra en condición pobre o completamente deteriorada. Lo anterior ha sido producto de problemas de financiamiento de los proyectos, de decisiones políticas antojadizas, de mal manejo técnico de los proyectos o de exceso de trámites, de requisitos técnicos y legales para poder ejecutar un proyecto, además de otras posibles causas.

Existe evidencia de otro tipo de deficiencias en la ejecución de los proyectos, que son de índole técnico y administrativo, dentro de las cuales se pueden citar; ausencia de sistemas estructurados de planificación de la infraestructura a nivel país, deficiencias en la planificación para los proyectos, diseños deficientes o incompletos, complejos procesos de contratación, mala administración de los contratos de obra, atrasos y sobrecostos por dilatados procesos de expropiación o por exceso de órdenes de cambio, mala gestión de los involucrados, débil gerenciamiento de las Unidades Ejecutoras e inexistencia de lecciones aprendidas (Academia de Centroamérica, 2017). A continuación, se mencionan ejemplos.

- Ausencia de sistemas de planificación.
- Insuficiente pre-inversión.
- Inadecuado mapeo de grupos involucrados.
- Difusas líneas de autoridad.
- Débil capacidad institucional de las unidades ejecutoras de los proyectos.

- Incapacidad de aprender las lecciones aprendidas.
- Ausencia de seguimiento y supervisión de los contratistas, especialmente en la calidad de las obras.
- Incentivos perversos en procesos de contratación.
- Ejecución de proyectos a ritmos inadecuados.
- Deficiente proceso de expropiaciones.
- Problemas administrativos por parte de organismos públicos.

Por lo anterior, es de suma importancia estudiar, analizar e implementar metodologías distintas para desarrollar los proyectos que contribuyan a revertir esta agravante situación. Primero, se deben identificar los principales factores que inciden en que los proyectos de infraestructura pública no sean exitosos en plazo, en costo e incluso, en calidad. En el esquema de contratación nacional tradicional para proyectos viales, se realiza un procedimiento de contratación para el diseño y otro aparte para la construcción, o bien, se lleva a cabo un solo procedimiento que incluye dentro del alcance tanto el diseño como la construcción. No obstante, existen otros métodos alternativos de contratación e incluso de abordaje y de desarrollo de los proyectos, los cuales serán mencionados más adelante. Es urgente mejorar el desempeño de los procesos de gestión para el desarrollo de proyectos de transporte.

Para que los países de América Latina y el Caribe puedan conseguir el nivel de infraestructura productiva de un país desarrollado en este aspecto, como lo es Corea del Sur, se tendría que invertir entre el 4% y el 6% de su producto interno bruto durante al menos 20 años de manera consecutiva. Por su parte, de acuerdo con el programa Infralatam (Infralatam, 2019), los países de América Latina y el Caribe deberían invertir alrededor del 6,2 % de su PIB anual para satisfacer sus necesidades de infraestructura. Sin embargo, esto no se cumple en dichos países, ya que el promedio anual de inversiones en infraestructura entre los años 2008 y 2015 fue aproximadamente el 3,51 %, del cual solamente el 2,55 % fue inversión estatal (Infralatam, 2019). Así, la inversión en infraestructura de la región es mucho menor que la necesaria y por consiguiente es uno de los principales retos por

cumplir para promover el avance socioeconómico de los países subdesarrollados (Perotti, 2011). Ante la realidad fiscal y la acumulación de rezagos en América Latina y el Caribe, se evidencia la necesidad de promover la ejecución de proyectos públicos con ayuda de las asociaciones público-privadas (APP), para así lograr tales niveles de inversión en la infraestructura. A pesar de que el país cuenta con disponibilidad de recursos públicos para financiarlo, gracias a empréstitos de bancos internacionales, no se ejecutan con la celeridad que el país requiere y que el mundo globalizado exige.

La empresa privada participa de manera asociada a la institución pública en los esquemas para el desarrollo de proyectos públicos, en las llamadas asociaciones público-privadas que podrían tener algunas ventajas con respecto al esquema tradicional, como es la posibilidad de que la empresa privada sea quien se ocupe de buscar el financiamiento de la obra. En estudios técnicos en los cuales se identifican algunas posibles ventajas adicionales de las APP frente al esquema tradicional, la segunda supera a la primera en el cumplimiento de las mejores prácticas internacionalmente aceptadas (Academia de Centroamérica, 2017) y particularmente en Costa Rica, se debe cambiar el concepto negativo que existe hacia dicho tipo de desarrollos.

En virtud de esta problemática, el país ha adquirido en los últimos años empréstitos con organismos financieros multilaterales, tales como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Banco Mundial (BM), la Corporación Andina de Fomento (CAF) o el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE). No obstante, la ejecución y el desembolso de dichos fondos han sido mucho más lentos de lo previsto. Además, se han ejecutado contratos bajo diferentes modalidades de contratación y de financiamiento, pero la calidad de la infraestructura vial no ha mejorado y tampoco se evidencia de manera concreta un plan de mejora en la ejecución de los proyectos por parte del Estado.

Actualmente, el proceso de entrega de un proyecto de construcción es fragmentado y depende de modos de comunicación fundamentados en documentación en papel, o principalmente en 2D. Como solución a este problema, se desarrolla la filosofía

Building Information Modeling (BIM por sus siglas en inglés), tal como la define el Comité de Proyecto Estándar del Modelo de Información de Construcción Nacional de Estados Unidos, es “una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación”. BIM es un recurso tecnológico y metodológico de conocimiento, que da la posibilidad de obtener información sobre una edificación que constituye una base confiable para tomar decisiones en cualquier momento de su ciclo de vida, definido como desde la concepción hasta la demolición. De acuerdo con la definición, BIM no es únicamente un modelo 3D de una instalación con características y funciones adicionales; BIM trata sobre la información y el modelo 3D es solo una forma de representar la información.

BIM es una tecnología reciente, por lo tanto, en Costa Rica no se poseen muchos estudios al respecto. Sin embargo, a nivel mundial la adopción de BIM está en aumento en el sector de construcción, en el cual también se incluye el sector público; por ejemplo; en lugares como Estados Unidos, Gran Bretaña y la Unión Europea, este sistema se implementa obligatoriamente desde hace varios años en los proyectos de obra pública. Asimismo, gran cantidad de las empresas más fuertes a nivel mundial orientan sus prácticas hacia el uso de modelos inteligentes que pueden ser modificados, coordinados y mantenidos fácilmente durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Dentro de los principales beneficios del uso de BIM por parte de las instituciones del Gobierno en sus proyectos, se encuentran: la reducción de errores en la documentación, reconstrucción, costos de construcción, duración del proyecto, reclamos y litigios y labores de conservación de la infraestructura, lo cual repercutirá en el aumento de la productividad; y la disminución en los plazos de ejecución y en el total de los costos. Tal es el caso de la Unión Europea, la cual ha reconocido el BIM como factor estratégico para lograr mejores resultados para los proyectos, en términos de plazo, de costo, de calidad y de manera consecuente con resultados positivos a nivel político. Muchos países han adoptado medidas proactivas para fomentar la utilización del BIM en los sectores de construcción, que consideran las

fases de ejecución y operación de los bienes públicos, a fin de garantizar beneficios económicos, ambientales y sociales.

En el mismo sentido de análisis, la industria de la construcción enfrenta un cambio similar al que atravesó la industria manufacturera para mejorar la eficiencia de sus procesos, que podría ser una nueva revolución digital, al apoyarse en la tecnología para desarrollar proyectos de una mejor manera. Por lo tanto, se necesita un cambio de paradigma; es decir, pasar de una documentación basada en dos dimensiones y un proceso de entrega por etapas, a un prototipo digital desarrollado mediante un flujo de trabajo colaborativo que se desarrolla en un modelo en tres dimensiones.

La estandarización de estos procesos es fundamental para el trabajo y el orden que requiere la industria de la construcción. BIM involucra un cambio de paradigma en la mayoría de los procesos tradicionales de gestión de los proyectos de infraestructura vial. Por ejemplo, el proceso de documentar la información generada durante la ejecución de las distintas fases del proyecto e integrarla en un solo modelo digital, es un cambio importante ya que el modelo contará con gran cantidad de datos que pueden ser utilizados por el propietario en las labores de operación y mantenimiento de los activos; datos tales como: materiales, componentes estructurales y de seguridad vial, equipos y sistemas electromecánicos y tecnológicos, que requieren la programación de rutinas de mantenimiento o a reemplazo.

1.2 Formulación del problema

El desarrollo de infraestructura vial en Costa Rica ha tenido un avance muy lento en las últimas décadas, pues no se han podido desarrollar la mayor parte de los proyectos que el país necesita y los que se han desarrollado no se han caracterizado por tener los mejores resultados en eficiencia y eficacia. Por eso, es necesario potenciar para este sector de la construcción la implementación de metodologías de administración y/o ejecución de proyectos probadas a nivel

mundial que supongan ser más eficientes y que sean aplicables a la realidad nacional en cualquier fase del ciclo de vida de este tipo de proyectos.

Con el rápido desarrollo de BIM en la industria de la ingeniería y construcción, los beneficios reales, los obstáculos y los problemas relacionados con la implementación práctica de BIM generan discusiones adicionales. El desarrollo de un esquema de evaluación de beneficios apropiado y fácil de usar proporciona una solución esencial para todos los interesados en utilizar BIM en sus proyectos. Sin embargo, la mayoría de los participantes en la industria de infraestructura vial podrían ser actores inmaduros en el uso de BIM que generalmente enfrentan problemas de desconocimiento de las cualidades de esta metodología y de cómo evaluar los beneficios de la implementación de BIM en proyectos viales de diversa índole. Este estudio define una herramienta de valoración de criterios de oportunidades y limitaciones de la aplicación de la metodología BIM para proyectos de infraestructura vial en Costa Rica. Además, la herramienta propuesta, da la posibilidad de ser utilizada por personas con experiencia intermedia y experta en BIM.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Proponer una herramienta de evaluación para implementar la adaptación de la metodología BIM en proyectos de infraestructura vial en Costa Rica.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la problemática en el desarrollo de proyectos viales en Costa Rica.
- Identificar las aplicaciones y beneficios de BIM en el desarrollo de obras viales.
- Estudiar la mejora de los proyectos de infraestructura vial en el país mediante la implementación ajustada de la metodología BIM.
- Proponer una matriz de valoración de proyectos de infraestructura vial para la implementación de la metodología BIM.
- Establecer casos comparativos que ejemplifiquen el uso de la herramienta.

2 Capítulo 2 Marco de referencia

2.1 Antecedentes

2.1.1 El estado actual de las carreteras en Costa Rica

El Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) requiere mejorar el plan integral de mantenimiento, especialmente para las estructuras que, se construyen y se desatienden por periodos extensos que pueden ocasionar un deterioro crítico en la estructura y requieran atenderse de urgencia. Es posible que incluso se obvien labores esenciales necesarias para asegurar que la estructura logre alcanzar la vida útil de diseño en las condiciones de funcionalidad y de seguridad requeridas. Es necesario que esta institución valore mecanismos alternativos de selección de empresas con financiamientos abiertos y competitivos que mejoren la capacidad institucional para administrar y supervisar eficientemente los contratos.

Asimismo, el LANAMME ha señalado una serie de deficiencias en la red vial nacional del país, en su informe (LANAMME, 2019), recomienda que el MOPT se enfoque en la política de administración de la infraestructura vial con una visión de largo plazo, que trascienda los periodos de gobierno de 4 años: de modo que los objetivos de infraestructura sean manejados de manera integrada y no únicamente con el fin de mejorar el sistema de transporte a nivel nacional. Además, actualmente el CONAVI cuenta con la herramienta informática, que es el Sistema de Gestión de Proyectos (SIGEPRO) para el registro de algunos elementos contables y de gestión, sin embargo, este no cuenta con un sistema automatizado de control y registro de pagos interconectado con SIGEPRO. El LANAMME recomienda contar con un sistema de base de datos unificado para el sector vial, que cuente con una adecuada trazabilidad de cada proyecto y de las inversiones y que sea un insumo

valioso para la etapa de operación y conservación de las carreteras y estructuras (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2018).

Por último, el LANAMME recomienda al CONAVI contar con un sistema de gestión vial, que permitirá darle sostenibilidad y mejora continua a los diversos procesos de mantenimiento y conservación a la Red Vial Nacional.

Los problemas en la ejecución de los proyectos tienen su origen en las etapas iniciales del desarrollo de los proyectos, y no son comunes los procesos de mejora continua de las políticas, sistemas, prácticas u otros, con base en las lecciones aprendidas. Según manifestó la Contraloría General de la República en su informe (Contraloría General de la República de Costa Rica, CGR, 2018), los proyectos tardan hasta 2,7 veces más y cuestan hasta 1,14 veces más. Los principales problemas identificados y evidenciados en el informe se resumen en la siguiente tabla fuente: (Contraloría General de la República de Costa Rica, CGR, 2018)

Tabla 1 Principales hallazgos, informe valoración de la Red Vial Nacional elaborado por la CGR.

Problemas identificados	Descripción de aspectos identificados	Consecuencias	Referencia
Administración de proyectos	- En todos los proyectos se presentaron trabajos no contemplados en diseños y cantidades, que implicó órdenes de modificación de costos y plazo. - Alrededor del 50% de los proyectos contó con diseño concluido y actualizado a la orden de inicio de la obra,	La necesidad de recursos para la ejecución de proyectos (humanos, materiales y presupuestarios) se incrementa por sobrecostos en rediseño, ampliación de obras, cambios en requerimientos técnicos y en características	2.1, p.5

Problemas identificados	Descripción de aspectos identificados	Consecuencias	Referencia
	verificación de la calidad, avance significativo en expropiaciones, avance significativo en reubicación de servicios públicos, asignación de supervisión. Solo 1/3 contó con diseño actualizado o reciente.	específicas de las obras a ejecutar, además se debe reconocer al contratista el pago de reajustes de precios.	
Proceso de diseño	- Prácticamente ningún proyecto basó su diseño en estudio de prefactibilidad o pre-inversión. 2/3 partes de los diseños realizados no se ejecutaron. - El Plan de obra vial del MOPT responde a la finalización de los diseños y no prioriza en base a la urgencia o importancia de la obra. - Los estudios de preinversión son de	- Deficiente priorización de proyectos en el Plan Nacional de Transportes. - Altos riesgos de rediseño. - Mala definición del alcance. - modificaciones de obra y sobrecostos. - Mal uso de los recursos con riesgos de inversión de proyectos sin estudios de factibilidad.	2.27, p. 14

Problemas identificados	Descripción de aspectos identificados	Consecuencias	Referencia
	trámite para cumplimiento de requisitos ante Ministerio de Planificación y Política Económica de Costa Rica.		
Precio, plazo y calidad	• Falta de incentivos al Contratista para precios más competitivos, descuentos, etc. • Nulo incentivo para ofertar plazos menores. • Ausencia de cláusulas condicionantes del pago respecto a la calidad general del proyecto. • Ausencia de algunos parámetros de calidad típicos a nivel internacional, como IRI, deflectometría, fatiga, deformación.	• El pliego cartelario no propicia una relación equilibrada de precio, plazo y calidad de las ofertas.	2.36, p.16
Sistema de evaluación	• Cálculo erróneo de maquinaria y	• Presupuesto referencial de la	2.47, p.20

Problemas identificados	Descripción de aspectos identificados	Consecuencias	Referencia
económica de los proyectos.	materiales, por falta de precisión topográfica y geotécnica. • Cálculo de cantidades proveniente de etapas preliminares y no actualizado. • Ausencia de memoria de cálculo y fuentes de información de precios. • Rango de precisión de hasta el 20% para declarar oferta onerosa o ruinosa. • Ausencia de trazabilidad de la documentación electrónica.	Administración impreciso. • Valor del contrato no se ajusta a las cantidades reales de obra. • Deficiencias en relación con la estimación del presupuesto de la Administración.	
Proceso de cierre de proyectos y finiquito contractual	• 2/3 partes de los proyectos no presentaron finiquito, su registro fue incompleto o no se encontró documentación formal.		

Aunado a lo anterior, en Costa Rica se creó desde el año 2011, el “Grupo Consenso por el Rescate de la Red Vial Nacional” conformado por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME), el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos (CFIA), la Cámara Costarricense de la Construcción (CCC), la Cámara de Consultores en Arquitectura e Ingeniería (CCAI), la Unión Costarricense de Cámaras (UCAEP) y la Asociación Costarricense de Caminos y Carreteras de Costa Rica (ACCCCR). Este se constituyó con la finalidad de integrar a distintos actores del desarrollo de la infraestructura del país para establecer un soporte técnico a la Administración Central, y poder emitir criterio técnico, sobre el destino y manejo adecuado de la Red Vial Nacional (Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica, 2019), el cual ha elaborado un diagnóstico del sector y detalla los siguientes aspectos:

- Baja calidad de la red vial y poca capacidad para construir nuevas vías.
- Aparato institucional con evidentes debilidades en la labor administrativa.
- Un estilo de competitividad empresarial privada que no cumple con la calidad, la inversión ni la innovación requeridas.
- Esquemas de financiamiento insuficientes con respecto a los requerimientos para garantizar el nivel que exige el desarrollo socioeconómico del país.
- Poca atención prioritaria de parte de las autoridades del gobierno con respecto al tema de la infraestructura vial.
- Enfoque negativo de las inversiones en vialidad, vistas como una de las causas del déficit fiscal, y no como un generador de desarrollo.
- Gran cantidad de recursos provenientes de empréstitos internacionales, que permanecen ociosos por mucho tiempo, por la poca capacidad de ejecución, en las instituciones gubernamentales encargadas (MOPT-CONAVI).
- Agotamiento de la capacidad del país para recibir empréstitos, con respecto al desarrollo de nuevas obras viales.

El proceso de preparación de proyectos puede significar hasta un 10% del costo total (World Economic Forum, 2019). Sin embargo, no invertir los recursos y tiempo necesario en esta etapa tiene consecuencias significativas en atrasos y sobrecostos.

El país lleva largo tiempo sub-invirtiéndose en infraestructura de transporte (promedio 2008-2013: 1,1% del PIB; o 0,83% del PIB excluyendo concesiones, según el Consejo Económico para la América Latina y el Caribe (CEPAL), mientras que el Plan Nacional de Transportes 2011-2035 (Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica, 2011), estima necesario invertir al menos 3,7% del PIB en construcción nueva, modernización y mantenimiento. Por lo tanto, parte de las políticas del Estado deben promover la inversión pública por medio de distintos esquemas de financiamiento y de transferencia de riesgos; esto conlleva la ejecución de modelos más eficientes, integrados, transparentes y con un manejo de la información del proyecto segura.

Por su parte, Grupo Consenso recomienda un “plan de inversiones en un periodo de 10 años con una inversión promedio anual de al menos de US \$250 millones, hasta llegar a un total del 4% del PIB”. En la actualidad, los niveles de inversión se acercan apenas a un 0.8% del PIB.

Pocos proyectos APP se han desarrollado con éxito bajo este esquema en Costa Rica por los motivos enlistados a continuación:

- Ineficiente gestión de los proyectos. (Academia de Centroamérica, 2017). No existe un sistema de gestión robusto y que se aplique de uso generalizado en el ámbito profesional, sino que existe mucho ejercicio profesional empírico.
- Falta de capacidad técnica por parte de los organismos gubernamentales encargados de estructurar y ejecutar los proyectos. (Academia de Centroamérica, 2017)
- Incapacidad de encontrar financiamiento.

- Incorrecta selección de los proyectos a ser desarrollados.
- Mecanismos poco efectivos de expropiación de predios y atrasos por ineficiencias en las gestiones legales del proceso. Esta razón es relevante para explicar los retrasos y sobre costos observados en la APP de la Ruta 27.
- Retrasos en la reubicación de servicios públicos ubicados en las carreteras.
- Falta de recursos para el pago de estudios y expropiaciones.

El Proyecto de construcción y ampliación de la Ruta 27, presentó grandes problemas en su ejecución principalmente por las siguientes razones: 1) Falta de un marco regulatorio para este tipo de proyecto, de previo a su inicio; 2) Contar con estudios de factibilidad recientes, confiables y detallados, para propiciar un anteproyecto lo más cercano posible al diseño final y así, evitar cambios en el alcances, principalmente en cuanto a expropiaciones; 3) Una adecuada estrategia de comunicación a la sociedad, acerca de los beneficios, del diseño, de los costos del proyecto y de los peajes. Dado que hubo una percepción de que el proyecto desarrolló un alcance reducido obra la baja y generó altos costos, principalmente para romper juicios ideológicos hacia este tipo de abordaje; y 4) Generar mayor competencia en la industria privada, y transferir riesgos tales como el diseño final al contratista, de manera tal que la licitación corresponda a Diseño y Construcción, Mantenimiento y Operación. Esta condición de oferente único generó sobre costos y atrasos.

El Grupo Consenso recomienda que el financiamiento de las obras sea compuesto por esquemas de alianzas público-privadas, obras concesionadas, créditos externos, impuestos existentes y otras modalidades ajustadas para ciertas obras.

Se considera que los programas que se desarrollan para el mantenimiento y rehabilitación de los puentes de la red vial nacional y los presupuestos públicos destinados a este fin, han sido insuficientes para un adecuado tratamiento de la infraestructura de puentes. En adición a lo anterior, la flexibilización de las cargas máximas permisibles, así como el poco control de sobrepesos en carretera, hacen que este punto adquiera dimensiones particularmente preocupantes, que han

llevado al CFIA a solicitar, desde el año 2009, se califique el estado de los puentes de la red vial nacional, como “emergencia nacional”, con el objetivo de poder acceder al Fondo Nacional de Emergencia e iniciar un adecuado proceso de mantenimiento de los puentes principales de la red vial nacional.

La red vial nacional se compone de, aproximadamente 1200 puentes, y la mayor parte de ellos ya ha cumplido su vida útil o están a punto de cumplirla, sin haber recibido ni el mantenimiento adecuado, ni una rehabilitación.

2.1.2 Uso del BIM

Gran cantidad de países a través de sus Gobiernos, han impulsado en los últimos años la adopción de la metodología BIM. De los cuales se puede afirmar que los pioneros en la implementación y adopción gubernamental han sido los Estados Unidos de América a través del *General Service Administration* (GSA por sus siglas en inglés). Muy de cerca, están países como: Noruega a través del *Staatbygg* y Finlandia con el *Building Smart Finland*, los cuales han establecido un marco de referencia para el uso y digitalización correcta de los modelos BIM constituyendo una ayuda importante para definir los entregables BIM así como definir la verdadera intención y justificación para exigir esta metodología en los proyectos.

El académico Danny Lobos (Lobos, 2013) afirma que; al definir un marco de referencia es posible definir un plan de ejecución BIM que establezca las estrategias para implementar dichas tecnologías, los resultados esperados y los requerimientos por cada área técnica, que varían y dependen de su especificidad. De esta manera también se definen los nuevos roles de los profesionales que actuarían en los procesos BIM.

Actualmente en el país se aplican flujos de trabajo no controlados, es decir, que por lo general excluyen etapas de un proyecto y sobre todo no están sustentados en una metodología que permita acompañar su trabajo a lo largo del plazo de este y que por efecto de su aplicación, reduzca los costos de todo el proyecto en todas sus etapas.

Un proyecto de ingeniería civil, experimenta los siguientes problemas por no aplicar una metodología robusta y coherente a lo largo de todas sus etapas:

- Desvinculación de áreas relacionadas
- Cambios no controlados
- Duplicación de trabajo
- Interferencia espacial y cronológica
- Inconsistencia entre diseño y digitalización gráfica, etc.

Las consecuencias de estos hechos redundan en pérdidas de tiempo y recursos económicos, que afectan a la administración y a todos los involucrados del proyecto. Con el propósito de optimizar los procesos a nivel mundial ha surgido la necesidad de utilizar estándares y políticas que permitan reducir los problemas en la ejecución.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Definición de BIM

BIM es un conjunto de políticas, procesos y tecnologías interactivas que definen una metodología para ejecutar y gestionar el diseño de un proyecto de construcción de obra civil y los datos del diseño en formato digital en todo el ciclo de vida del proyecto. Adicionalmente, se establece un flujo de trabajo bajo ciertos términos de referencia.

Se presenta como una solución para facilitar la coordinación efectiva, la comunicación, el análisis y la simulación, así como la administración del proyecto, la colaboración e incluso la administración de activos, el mantenimiento y la operación del inmueble. Se logra comunicar información de las propiedades o la simulación espacial de una geometría o una funcionalidad. Un dibujo de tres dimensiones (3D) con propiedades informativas y parametrizables, de las cuales pueden obtenerse las vistas, los cortes transversales y longitudinales que se consideren necesarios. Además, es posible obtener información tabulada o bien,

realizar cálculos, análisis o simulaciones mediante el uso de sus campos informativos y parámetros, tales como: área, volumen, tipo y, propiedades mecánicas del material, ubicación espacial, costo unitario, etc.

El BIM puede ser implementado a lo largo de todas las fases del desarrollo de un proyecto de construcción, y aporta principalmente la integración de toda la información requerida para el proyecto, con la cual, el modelo acumula la información necesaria para el desarrollo de la fase siguiente.

BIM hace referencia a un método de trabajo colaborativo basado en la generación y en el intercambio de datos entre todos los involucrados en el Proyecto. Sin embargo el trabajo de profesionales especialistas muchas veces se realiza de forma separada, no coordinada y desfasada, por lo que no hay comunicación oportuna sobre los asuntos del proyecto. . La implementación del BIM tiene varios niveles de madurez, los cuales, a medida que el BIM se adopta en mayor medida se considera que se está en un mayor nivel de madurez del BIM. Esta teoría de los niveles de madurez fue desarrollada por (Richards, 2008) y establece cuatro niveles de madurez, en donde el nivel cero, presenta un nivel bajo de colaboración y el nivel 3 presenta una integración total. Este último nivel es la meta final del sector construcción en relación con esta metodología. La siguiente figura presenta el modelo de madurez anteriormente mencionado:

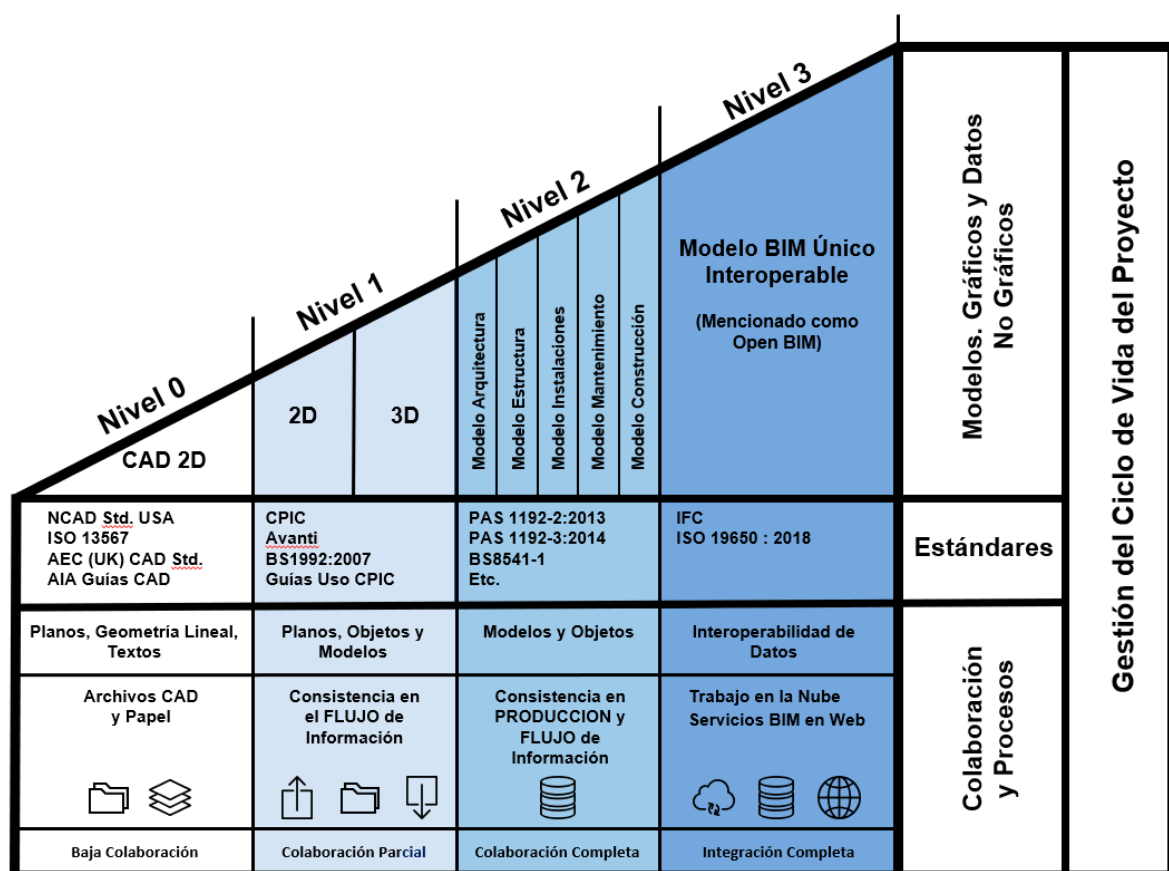


Figura 1 Niveles de madurez del BIM. McPartland, BIM Levels explained, 2014

2.2.2 Uso del BIM en el ciclo de vida para infraestructura de transporte

BIM está diseñado para completar de una manera eficaz la dirección del ciclo de vida completo de los proyectos constructivos, sean estas edificaciones o infraestructura, desde la planificación, el diseño hasta la construcción, el mantenimiento y la operación (S.S. Chen, 2016)- (F. Tanaka, 2016). BIM permite proporcionar una base de datos gráfica integrada que puede ser utilizada durante todo el ciclo de vida de la infraestructura. Los datos recopilados y almacenados durante la fase de diseño y construcción de la infraestructura se pueden utilizar de manera efectiva para su fase de operación y mantenimiento. Los modelos BIM tienen la posibilidad de almacenar una cantidad ilimitada de información durante el ciclo de vida de la obra (J.C.P. Cheng, 2016).

Por otro lado, BIM permite otras evaluaciones del ciclo de vida del proyecto, ya que puede ayudar en la evaluación de la sostenibilidad y el consumo energético de todo el ciclo de vida de la infraestructura de transporte. Este análisis podría arrojar datos importantes para el consumo de electricidad en la operación de la carretera y los requerimientos a consumir para las labores de mantenimiento (M. Marzouk E. M.-Z., 2017).

En el caso de puentes en algunos países se utiliza el término *Bridge Information Modeling* (BrIM por sus siglas en inglés), que en el mismo sentido, puede ayudar al manejo y a la transmisión de datos a través del ciclo de vida de los puentes, esto ayuda al trabajo colaborativo y la interoperabilidad para los distintos *software* disponibles (S.S. Chen, 2016), (C. Koch S. P., 2014), (Y. Zou, 2014). Además, BrIM puede ayudar en el tratamiento de eventos discretos a través del ciclo de vida de los puentes. La transferencia de la información es un evento de gran importancia en la que BrIM puede ayudar a gestionar procesos complejos y mejorar la calidad de la dirección del ciclo de vida. En un estudio reciente (S.S. Chen, 2016) se desarrollaron estándares para intercambios de datos neutrales a lo largo del ciclo de vida del puente, en el cual se obtuvo una visión general de las herramientas y tecnologías para el intercambio electrónico confiable de datos del puente, la identificación de los datos necesarios para respaldar las actividades del ciclo de vida del puente y una integración sistema prototipo que conecta el *software* comercial existente para todas las fases principales del ciclo de vida del puente (A. Hammad, 2006).

Hammad *et al* (S. Jeong R. H., 2017) indicó que en la administración de puentes los datos tienen un papel crucial a través de su ciclo de vida y BrIM podría significar un instrumento seguro y ágil para almacenar y administrar los datos del proyecto. Li et Al, Liapi, Marzouk y Hisham (H. Li, 2012), (Liapi, 2015), (M. Marzouk M. H., Application of building information modeling in cost estimation of infrastructure bridges, 2012) formularon y desarrollaron estudios cuyo resultado afirma que hubo casos para mostrar cómo BIM ayuda a los tomadores de decisiones a hacer uso de

los datos así como evaluar diferentes escenarios de manera expedita y además, poder seleccionar con fundamento, la mejor opción para el diseño, la construcción y el mantenimiento de carretera y puentes. Marzouk *et al* (M. Marzouk M. H., Implementing earned value management using bridge information modeling, 2014), concluyó que un modelo BrIM nutrido de datos puede facilitar significativamente la toma de decisiones a través del ciclo de vida de los puentes. BIM prevé el uso de esta metodología para distintas aplicaciones en la administración de la infraestructura de transporte para las diversas fases del ciclo de vida, en la tabla 2, se tratan con más detalle en las siguientes secciones.

Tabla 2. Publicaciones de BIM para infraestructura vial basadas en el ciclo de vida.

Fase	Criterio común	Publicación
TABLA 2. PUBLICACIONES DE BIM PARA INFRAESTRUCTURA VIAL BASADAS EN EL CICLO DE VIDA.		
Ciclo de vida	Permite proporcionar una base de datos gráfica integrada que puede ser utilizada durante cualquier fase del ciclo de vida completo de los proyectos constructivos en infraestructura, desde la planificación, el diseño hasta la construcción, el mantenimiento y la operación.	(Z. Aziz, 2017), (J.C.P. Cheng, 2016), (A. Bradley, 2016), (S.S. Chen, 2016), (Kageyama, 2016), (M. Minehane, 2015), (C.-S. Shim, 2012), (N. Okasha, 2011), (DiBernardo, 2012), (Marzouk, 2011), (C. Koch S. P., 2014), (M. Breunig, 2017), (A. Hammad, 2006), (Miyamoto, 2016) , (P. Pakkala, 2017), (S. Gristina, 2016), (A.M. Shirole S. C., 2008), (A.M. Shirole T. R., 2009), (M. Marzouk E. M.-Z., 2017), (Y. Zou, 2014), (M. Marzouk M. H., Application of

Fase	Criterio común	Publicación
TABLA 2. PUBLICACIONES DE BIM PARA INFRAESTRUCTURA VIAL BASADAS EN EL CICLO DE VIDA.		
		building information modeling in cost estimation of infrastructure bridges, 2012), (M. Marzouk M. H., Implementing earned value management using bridge information modeling, 2014), (E. Petzek, 2016), (Karaman S. Gokhan, 2013) ,
Planificación	Se facilita la simulación constructiva, secuencia de actividades, asignación de recursos y programación, así como a evaluar distintos escenarios pues proporciona información gráfica cualitativa y cuantitativa que permite seleccionar el mejor escenario para disminuir el tiempo y el costo del proyecto.	(R. Hudson, 1993), (Matějka, 2014), (C.S. Shim, 2011), (O. Abudayyeh, 2017), (J. Zak, 2017), (M. Breunig, 2017), (S.H. Park, 2016), [(M. Mawlana, 2016), (H. Li, 2012), (A. Borrmann T. K., 2015), (H. Kim, 2014), (Y. Zou, 2014), (Liapi, 2015), (N. Ali, 2014), (N. Markiz, 2014), (H. Hu I.-S. A., 2010), (H. Hu S. C., 2014), (A. Borrmann J. J., 2013)
Diseño	Mejora la calidad del diseño al minimizar los errores, las interferencias e incongruencias entre las áreas técnicas, promueve la colaboración de las áreas de diseño y las integra y reducir la incertidumbre.	(J.C.P. Cheng, 2016), (R. Hudson, 1993), (S.S. Chen, 2016), (Kageyama, 2016), (C.S. Shim, 2011), (al., 2008), (Sarkar, 2016), (Bien, 2011), (O. Abudayyeh, 2017),

Fase	Criterio común	Publicación
TABLA 2. PUBLICACIONES DE BIM PARA INFRAESTRUCTURA VIAL BASADAS EN EL CICLO DE VIDA.		
	Sistema flexible frente a los posibles cambios en los diseños de los proyectos, situación que facilita la actualización del presupuesto de obra del proyecto en un tiempo reducido.	(J. Wang, 2016), (Marzouk, 2011), (J. Zak, 2017), (M. Breunig, 2017), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (Miyamoto, 2016), (S.H. Park, 2016), (M. Mawlana, 2016), (H. Li, 2012), (Abdelwahab, 2017), (P. Pakkala, 2017), (A. Borrmann T. K., 2015), (H. Kim, 2014), (Liapi, 2015), (M. Marzouk M. H., Application of building information modeling in cost estimation of infrastructure bridges, 2012), (R. Shetwi, 2015), (A. Borrmann Y. J., 2012), (Y. Ji, 2013), (N. Ali, 2014), (Y. Sugita, 2016), (A. Jootoo, 2016), (S.F. Huang, 2011), (Sampaio, 2003), (N. Markiz, 2014), (S.H. Lee S. P., 2014), (N. Kodama, 2017), (B. Sankaran W. O., 2015), (K.M. Lee, 2012), (H. Hu I.-S. A., 2010), (H. Hu S. C., 2014), (M. Abdessemed, 2011), (S.H. Lee B. K., 2013), (E. Petzek, 2016), (Karaman S.

Fase	Criterio común	Publicación
TABLA 2. PUBLICACIONES DE BIM PARA INFRAESTRUCTURA VIAL BASADAS EN EL CICLO DE VIDA.		
		Gokhan, 2013), (H. Lee, 2017)
Estimación	BIM en la elaboración de presupuestos de obra esta soportado en sistema de información digital integrado que permite; cálculo rápido de cantidades de obra, actualización del presupuesto de obra, toma de decisiones, disminución de incertidumbre, disminución de imprevistos.	(M. Marzouk M. H., Application of building information modeling in cost estimation of infrastructure bridges, 2012), (S. Vitasek, 2017), (S.H. Lee B. K., 2013), (H. Lee, 2017)
Detallado	Mayor detallado del diseño geométrico, estructural y de los sistemas especiales.	(Y. Ji, 2013), (H. Hu S. C., 2014), (Karaman S. Gokhan, 2013)
Fabricación	Simulación constructiva, diseño detallado de ensamblaje, industrialización y automatización.	(S.S. Chen, 2016), (K.M. Lee, 2012), (H. Hu S. C., 2014), (Karaman S. Gokhan, 2013)
Movimiento de tierras	Ventaja significativa del modelo BIM, frente a la metodología tradicional, que consiste en la posibilidad de observar en tres dimensiones las excavaciones y rellenos, a partir de la superficie topográfica inicial, a diferencia del método tradicional donde los volúmenes. Se estiman a partir de las curvas de nivel, provenientes de dibujos en dos dimensiones. La modelación rigurosa de excavaciones y rellenos en BIM proporciona la posibilidad de obtener	(F. Peyret, 2014)

Fase	Criterio común	Publicación
TABLA 2. PUBLICACIONES DE BIM PARA INFRAESTRUCTURA VIAL BASADAS EN EL CICLO DE VIDA.		
	cantidades con mayor precisión y reducir la incertidumbre en el presupuesto de construcción.	
Construcción	La simulación de la construcción virtual de infraestructura ayuda a los diseñadores a ubicar y resolver conflictos constructivos en la fase de diseño, que ha tenido un gran impacto durante la construcción real de la estructura al evitar el re-trabajo, los atrasos y los sobrecostos. Puede ayudar a revisar y optimizar la constructibilidad del proyecto, que ayuda a reducir los errores, omisiones y conflictos, pero a la misma vez, aumenta la calidad y armoniza el proceso de construcción.	(J.C.P. Cheng, 2016), (S.S. Chen, 2016), (Kageyama, 2016), (Matějka, 2014), (C.S. Shim, 2011), (Sarkar, 2016), (Z. Xiaoyang, 2016), (J. Zak, 2017), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (M. Mawlana, 2016), (H. Li, 2012), (P. Pakkala, 2017), (K. Hovey, 2012), (H. Kim, 2014), (M. Marzouk E. M.-Z., 2017), (Liapi, 2015), (Xu, 2017), (K.M. Lee, 2012), (S. Vitasek, 2017), (H. Hu I.-S. A., 2010), (B. Fanning, 2014), (S.H. Lee B. K., 2013), (Karaman S. Gokhan, 2013), (F. Peyret, 2014), (C. Koch A. V., 2017)
Entrega	Los entregables de entrega son principalmente documentos 2D y dibujos que son ineficaces cuando se usan en la fase de Operación y Mantenimiento (O&M). El modelo no se emplea en un 100% para O&M, que refleja que aunque los modelos BIM llevaban parte de la información	(Q. Liu, 2017)

Fase	Criterio común	Publicación
TABLA 2. PUBLICACIONES DE BIM PARA INFRAESTRUCTURA VIAL BASADAS EN EL CICLO DE VIDA.		
	necesaria para O&M, la entrada manual todavía es necesaria para algunos documentos.	
Operación y mantenimiento (O&M)	Se analizan prácticas y requisitos actuales para el traspaso de información, operación y mantenimiento y requisitos de gestión de activos, así como las necesidades futuras del sistema de información de la gestión de instalaciones, departamento generado por el uso de la tecnología BIM. Las oficinas de transporte del Gobierno son los principales beneficiados para mejorar su gestión de activos e integrar mejor la inversión y el trabajo de mantenimiento.	(A. Bae, 2016), (Z. Aziz, 2017), (R. Hudson, 1993), (S.S. Chen, 2016), (Kageyama, 2016), (M. Minehane, 2015), (al., 2008), (Bien, 2011), (O. Abudayyeh, 2017), (Z. Xiaoyang, 2016), (Marzouk, 2011), (C. Koch S. P., 2014), (F.A. Al-Shalabi, 2015), (B. McGuire, 2016), (F. Catbas, 2016), (J. Chen, 2014), (S. Jeong Y. Z., 2016), (A. Hammad, 2006), (B. Riverio, 2016), (Miyamoto, 2016), (P. Pakkala, 2017), (S. Gristina, 2016), (F. Tanaka, 2016), (S. Jeong R. H., 2017), (R. Shetwi, 2015), (Y. Sugita, 2016), (L.R. Tawelian, 2016), (B. Fanning, 2014), (K. Helmi, 2015), (M. Gholami, 2013), (Marzouk, 2012), (M. Marzouk A. A., 2014), (Marzouk Y. , Monitoring thermal comfort in subways using building information

Fase	Criterio común	Publicación
TABLA 2. PUBLICACIONES DE BIM PARA INFRAESTRUCTURA VIAL BASADAS EN EL CICLO DE VIDA.		
		modeling, 2014), (Q. Liu, 2017)
Rehabilitación y ampliación	Sugiere que BIM puede facilitar de manera efectiva la inspección y evaluación de estructuras, que puede permitir, en el futuro, que las agencias de transporte administren de manera más eficiente los inventarios de estructuras y conduzcan a una práctica más automatizada.	(A. Bae, 2016), (B. McGuire, 2016), (M. Abdessemed, 2011), (M. Gholami, 2013)
Demolición	Cuando los puentes alcanzan el final de su vida útil de diseño, es necesaria la deconstrucción; significa el desmantelamiento selectivo y sostenible de la estructura. Esto se logra con un diseño digital de desmantelamiento.	(E. Petzek, 2016)

2.2.2.1 Planificación

Como parte del análisis del ciclo de vida, BIM facilita la planificación estratégica del proyecto y la gestión de las tareas. Existen diferentes posibilidades de desarrollar infraestructura de transporte en fase de construcción. BIM ayudaría a evaluar distintos escenarios pues proporciona información gráfica cualitativa y cuantitativa que permite seleccionar el mejor escenario para disminuir el tiempo y el costo del proyecto (H. Li, 2012), (R. Shetwi, 2015).

Además, BIM ayudaría a optimizar la planificación de sitio de la obra, dado que ayuda a la definición de las rutas de acceso y el flujo de movimientos durante la fase

de la construcción. Marzouk et Hisham (Marzouk, 2011) elaboraron un modelo integrado con BrIM con el propósito de colocar de manera óptima de las grúas móviles durante la construcción de un puente. La aplicación de BIM desde la etapa de planificación puede facilitar la comunicación y a su vez, mejorar la colaboración entre diferentes partes involucradas (M. Breunig, 2017). Aplicar la planificación del tiempo (4D) y el costo (5D) en proyectos de infraestructura puede generar mayores valores para megaproyectos, es decir, el valor dado por la adopción de BIM tiene una relación directa con la complejidad y la escala del proyecto. Cuanto más complejo y grande es el proyecto, más beneficios se obtienen (Construction, McGraw Hill, 2012). Abdelwahab (Abdelwahab, 2017) usó BIM para validar el plan de obra y movilización de dos proyectos viales que podrían ayudar en la fase de construcción del proyecto.

2.2.2.2 Prediseño

El BIM permite realizar una estimación de costos directos más precisa y en consecuencia llevar a cabo el análisis de viabilidad técnica, económica y financiera del proyecto con base en información que ha sido más examinada y detallada, por la participación de especialistas en distintas áreas desde las etapas iniciales, con lo cual se puede disminuir el riesgo de inversión, que le permite al propietario del proyecto tomar decisiones con mayor fundamento técnico, con mayor seguridad y precisión sobre los costos directos del Proyecto.

En consecuencia, el cliente podrá modificar características esenciales del proyecto o incluso, tomar la decisión de descartarlo en función del resultado del estudio preliminar. De igual modo, el cliente puede refinanciar el proyecto para asignarle mayor presupuesto, hacer variaciones al alcance.

2.2.2.3 Diseño

BIM puede ayudar en diferentes fases de diseño que incluyen diseño preliminar, diseño detallado y optimización de diseño. Una de las principales posibilidades

ofrecidas por los programas computacionales basados en BIM es la evaluación inmediata de los criterios de diseño así como la verificación de las reglas y esto significa una garantía para la calidad del diseño esperada, tal como fue estudiado por (Kageyama, 2016), (M. Breunig, 2017), (P. Pakkala, 2017), (C.S. Shim, 2011), (N. Ali, 2014), (Abdelwahab, 2017), (A. Borrmann Y. J., 2012), (Y. Sugita, 2016), (L.R. Tawelian, 2016), (W. Liu, 2014), que mejora la calidad del diseño (A. Jootoo, 2016) y proporciona una mejor representación visual de la infraestructura y propicia una mayor colaboración (C.S. Shim, 2011). Los beneficios más favorecidos del uso de BIM en infraestructura desde la etapa de diseño son no solo la reducción de omisiones y errores, sino las mejoras significativas en el proceso de diseño (W. Liu, 2014), y la posterior reducción de conflictos y problemas de coordinación en el sitio en la fase de construcción, que pueden ayudar a reducir el desperdicio así como a mejorar la calidad durante la construcción y respaldar la construcción y el desarrollo sostenibles (Xu, 2017).

Los beneficios internos de las empresas y organizaciones del Gobierno y las mejoras en el proceso del proyecto son los principales impulsores para la adopción de BIM en el sector de infraestructura de transporte. Estos beneficios han alentado a los EE. UU., la Unión Europea y Asia a iniciar con el uso masivo del BIM en el diseño y construcción de sus proyectos de infraestructura y requerirlo en los pliegos contractuales como de manera obligatoria (Construction, McGraw Hill, 2012).

La primera fase del ciclo de vida de un puente consiste en realizar el diseño y el análisis estructural y BrIM puede ser parte de esta fase así lo confirmó (H. Li, 2012), (Bien, 2011), (S.F. Huang, 2011), (W. Liu, 2014). Ji *et al* (Sampaio, 2003), en uno de los primeros estudios desarrollados que utiliza programas computacionales para el modelar puentes en 3D, y afirmó que se simplifica el proceso y, además acorta duraciones en la fase de diseño geométrico y al mismo tiempo aumenta la precisión del diseño. Markiz y Jrade (N. Markiz, 2014) utilizaron las capacidades de BrIM para implementar un algoritmo complejo de para el diseño de puentes de concreto para mejorar el costo total del puente y facilitar la interoperabilidad. Obergriesser y

Borrmann (M. Obergriesser, 2012) presentó un marco denominado manual de entrega de información de infraestructura que ayuda a una mejor colaboración en el proceso de diseño y también el análisis de la infraestructura y mejora el flujo de trabajo y el intercambio de datos. Kim *et al* (H. Kim, 2014) mediante el modelado de objetos 3D específicos buscó facilitar el alineamiento de carreteras y la estimación de volúmenes de corte y relleno. Huang *et al* (S.F. Huang, 2011) estudió los beneficios de BrIM para el diseño y el alineamiento de vías férreas. Lee *et al* (S.H. Lee S. P., 2014) utilizó BIM para el diseño de puentes ferroviarios.

Las capacidades BIM en la programación visual del proyecto (4D) y las estimaciones de costos automáticas y detalladas (5D) hicieron una revolución en el proceso de construcción desde la etapa de diseño. Con la aplicación de BIM en el diseño de infraestructura, se ha mejorado la gestión del proyecto en cuanto a la programación y las adquisiciones a la vez que se ha reducido el desperdicio de recursos (H. Li, 2012), (Abdelwahab, 2017), (M. Marzouk M. H., A hybrid model for selecting location of mobile cranes in bridge construction projects, 2011).

El nivel de desarrollo y el nivel de información NDI o *Line of Detail* (LOD por sus siglas en inglés), corresponden a los parámetros a especificar con mayor importancia en la fase de diseño que influyen significativamente en la calidad y en la forma en que se ejecuta el proyecto (N. Kodama, 2017). NDI define la precisión y detalle esperados en la representación de diferentes elementos de un modelo 3D de edificación e infraestructura (A. Hammad, 2006), también podría describirse simplemente como un estándar de comunicación y declaración de requisitos entre propietarios, diseñadores y contratistas (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (B. Sankaran W. O., 2015). La aplicación de NDI en proyectos de infraestructura es diferente que en edificios, ya que en estos últimos NDI se centra básicamente en las especificaciones interiores, pero en proyectos de infraestructura, se centra en las especificaciones exteriores, incluidos los detalles geométricos y la información (J.C.P. Cheng, 2016), (A. Borrmann T. K., 2015), que ayuda a comprender mejor las dependencias entre los objetos geométricos (A. Borrmann Y. J., 2012). Sankaran

(B. Sankaran J. F.-M., 2016) Identificó NDI como un desafío importante en la fase de diseño detallado de carreteras e infraestructura.

Esta metodología puede reducir la cantidad de horas hombre necesarias para el diseño, una vez que se ha cumplido la curva inicial de aprendizaje, en la cual, se requerirá una mayor inversión de hora para la elaboración de los diseños y modelos. El tiempo que se requiera para su aprendizaje y dominio dependerá del rol que se requiera dentro del proyecto. Las capacitaciones van desde cursos cortos de pocas horas hasta planes de estudio de maestrías y especialidades.

De manera que, al trabajar con un modelo digital que está compuesto por elementos paramétricos se construye un modelo 3D en el que se realiza el detallado geométrico, estructural, de sistemas y de todos los documentos dónde es posible disponer de una manera ágil, a tiempo real y precisa, todos los datos necesarios para que el proyecto pueda ser interpretado por terceros.

De presentarse algún cambio durante esta etapa sólo es necesario modificar el modelo digital integrado que de forma concadenada se actualizarán las vistas, los cortes y además, el modelo podrá detectar incongruencias con los sistemas para que estas sean revisadas oportunamente por quien corresponde. Lo anterior es importante, dado que al realizar modelos integrados de proyectos interdisciplinarios con uno o más modelos digitales 3D; se reducen los errores por omisión, desconocimiento interdisciplinario, así como permitir la verificación de intercepciones, obstrucciones u otro tipo de inconvenientes.

Las virtudes expresadas en el punto anterior para la eliminación de tiempo de trabajo son inciden en la disminución de la cantidad de errores asociados a la generación de planos constructivos, tanto para permisos como para visualizar detalles constructivos específicos para todas las disciplinas.

Además, el *software* utilizado tiene la capacidad de extraer durante cualquier etapa del diseño la cantidad de material requerido, vincular esa cantidad al modelo con un precio unitario especificado para poder realizar estimaciones de costos unitarios o

paramétricos y de esa forma, obtener una estimación de costos directos mas precisa y con trazabilidad en el cálculo. Lo anterior brinda la posibilidad de visualizar y comparar el impacto económico al proyecto, que conlleva cada decisión que se tome en esta etapa y en las etapas siguientes del ciclo de vida.

Existe la posibilidad de vincular el modelo a *software* de análisis energético para evaluar la eficiencia completa de Obra, la eficiencia de los materiales, la eficiencia en los sistemas de: iluminación, agua potable, equipos electromecánicos, aire acondicionado y ventilación, de manera que, se permita evaluar y diseñar una estructura que sea; no sólo con un menor costo inicial, sino que se pueda proyectar con la operatividad y el mantenimiento de la obra durante toda la vida útil de esta.

Una interacción fluida entre los *software* de cálculo estructural y los de diseño geométrico permite un flujo de trabajo integrado entre arquitectos e ingenieros estructurales en el que es posible verificar el comportamiento estructural dentro de los parámetros de diseño geométrico propuesto.

2.2.2.4 Planificación y programación de proyectos

Después de que los propietarios del proyecto lleguen a un acuerdo común sobre el diseño del proyecto, se debe producir una estructura de desglose del trabajo (EDT) para comenzar a planificar la fase de construcción del proyecto e identificar los recursos necesarios y la cantidad requerida de presupuesto.

Es posible relacionar el diseño con la planificación de la construcción con un modelo BIM que involucre el tiempo de ejecución, como se ha mencionado previamente en la industria se han definido varias dimensiones en este tipo de modelos, que permiten incorporar información adicional de interés, como lo es en el caso de 4D, poder simular el proceso constructivo en cada una de sus etapas, al vincular el modelo con el proceso constructivo, que es posible visualizar con anterioridad a la construcción física, ciertas consideraciones que se deben de tomar en cuenta para el proceso constructivo.

En caso de elementos prefabricados, el modelado facilita el proceso de fabricación de piezas constructivas al proyectar los componentes y el armado de la estructura en su totalidad de una manera precisa, que permite extraer los planos que sean necesarios que permiten observar todos los detalles, según el grado de especificidad previamente definido.

2.2.2.5 Construcción

Un proyecto modelado en 3D basado en BIM puede ayudar en la fase de construcción de puentes de carreteras al aumentar la comunicación y la colaboración entre los interesados (Liapi, 2015), (A. Bradley, 2016), (DiBernardo, 2012), (J. Zak, 2017), (H. Hu I.-S. A., 2010). Además, la aplicación de BIM en el diseño de infraestructura y puentes puede ayudar a revisar y optimizar la constructibilidad del proyecto, que ayuda a reducir los errores, omisiones y conflictos, pero a la misma vez, aumenta la calidad y armoniza el proceso de construcción (W. Liu, 2014), presenta un estudio de caso, con el uso de BrIM en el cual se demuestra que puede ayudar en la rehabilitación de un viaducto elevado, para evitar interferencias entre la demolición del tramo existente y la construcción de la nueva carretera, mientras se mantiene la seguridad del tránsito.

La simulación de la construcción virtual de infraestructura ayuda a los diseñadores a ubicar y resolver conflictos constructivos en la fase de diseño, que ha tenido un gran impacto durante la construcción real de la estructura al evitar el re-trabajo, los atrasos y los sobrecostos (J.C.P. Cheng, 2016). También reduce el tiempo de la curva de aprendizaje de los ingenieros y el equipo técnico de construcción (K.M. Lee, 2012). Para estas aplicaciones especializadas, se requiere de programas, equipo y licencias específicas que utilicen la metodología BIM.

2.2.2.6 Mantenimiento

Antes de la aparición de la tecnología BIM, se utilizaba principalmente archivos *Computer Aided Design* (CAD por sus siglas en inglés) de para realizar el manejo

de las instalaciones o de los activos. Sin embargo, existen algunos aspectos negativos respecto al uso de este tipo de formato digital en la gestión de las instalaciones, como lo es, la falta de información correlativa integrada en los dibujos CAD, la coordinación ineficiente entre diferentes áreas y la dificultad para inter-operar con otros *software* de otras áreas (Abdirad, 2015). Estas dificultades también se pueden encontrar durante el proceso típico de construcción de una obra vial. La transferencia de información imprecisa e incompleta provoca pérdida de información sensible y los datos deben volverse a generar en muchos casos.

La infraestructura de transporte requiere de un estricto plan de mantenimiento y consecuentemente, de un monitoreo constante de las estructuras, de la seguridad vial y en general, de todos los elementos que componen la carretera para que la obra pueda permanecer en el nivel de servicio u operativo especificado.

A manera de ejemplo, actualmente en los Estados Unidos un número considerable de puentes necesita reparación y mantenimiento, y debido a la gran cantidad, existe una necesidad crucial de un sistema rápido para evaluar y analizar su estado de salud (M. Abdessemed, 2011). El deterioro es una preocupación importante para los puentes, ya que es un componente crítico de carreteras y pueden verse amenazados por el deterioro y la desviación en su vida útil, que puede afectar su rendimiento y seguridad (N. Okasha, 2011), (K. Helmi, 2015). El envejecimiento del puente también es otro problema creciente para el Departamento de Transporte de los Estados Unidos (R. Hudson, 1993).

El envejecimiento de los elementos disminuye la fiabilidad, la seguridad y el nivel de servicio de estas infraestructuras e incrementa la necesidad de contar con métodos eficientes de mantenimiento (al., 2008). Dado que la información puede recopilarse y almacenarse durante el ciclo de vida del puente en los modelos BrIM, es posible contar con datos acumulados estadísticos o indicadores que reflejen tendencias o comportamientos progresivos a los cuales se les deba prestar atención y de esa manera propiciar la programación efectiva del mantenimiento futuro del puente y además mantener el estado de conservación ideal, con la finalidad de disminuir la

necesidad de reparaciones importantes sí como mejorar la seguridad del puente (DiBernardo, 2012), (O. Abudayyeh, 2017).

El mayor beneficio del BIM se da obtiene cuando la implementación de este se presenta en las etapas tempranas del proyecto, esto es así porque el costo de los cambios es el menor posible en la etapa de diseño al no haberse construido las obras, contrariamente sucede en cuando las obras se encuentran en ejecución o en operación; en esta etapa todo cambio tiene un impacto mucho mayor en el proyecto, en diferentes aspectos, tales como el plazo, costo y afectación a los usuarios. Esto se puede visualizar más fácilmente en la gráfica de esfuerzo-costo-efecto para las distintas etapas del ciclo de vida del proyecto, elaborada por Patrick MacLeamy, CEO de HUK (MacLeamy, 2005) y adaptada por el autor.

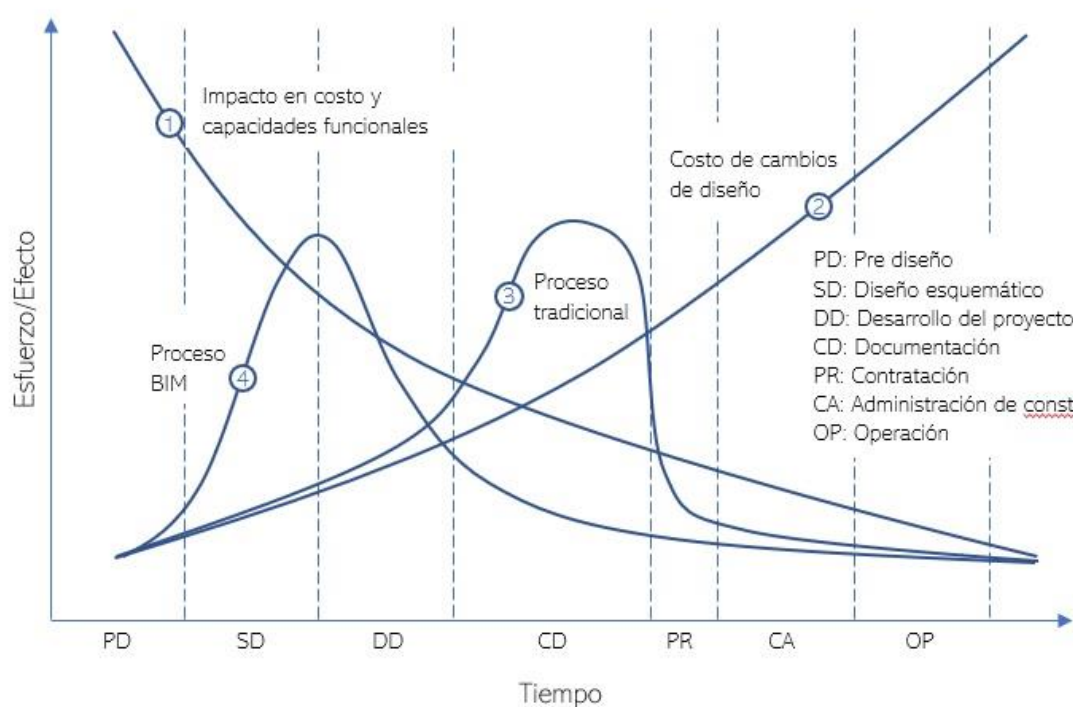
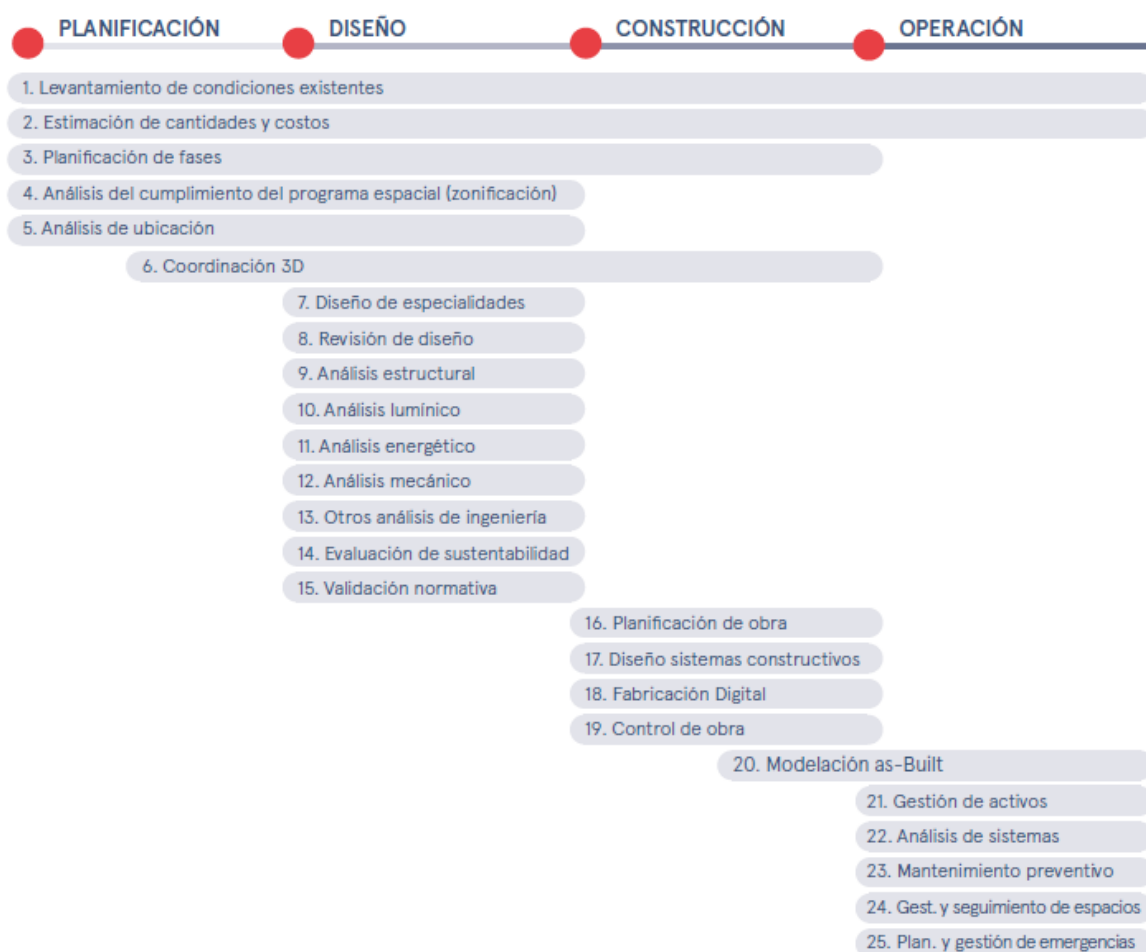


Figura 2 Curva de esfuerzo-costo-efecto del BIM

No obstante lo anterior, durante todo el ciclo de vía de un proyecto de infraestructura vial el BIM puede tener diferentes usos, que son métodos de aplicación de esta

metodología para alcanzar uno o más objetivos específicos del proyecto. El *Building Information Modeling Project Execution Planning Guide*, de la Universidad de Penn State, de los Estados Unidos determina una serie de usos, que se enumeran en la siguiente figura.



Basada en *Project Execution Planning Guide version 2.1, mayo 2011*

Figura 3. Usos del BIM en infraestructura de transporte.
Figura 4. Usos del BIM en el ciclo de vida del Proyecto

2.2.3 Aplicaciones del BIM para infraestructura de transporte

Si bien la aplicación de BIM en el sector de la construcción se encuentra en una etapa de expansión, su utilización en la infraestructura de transporte todavía ha sido un poco más lenta en comparación con las aplicaciones a edificaciones (A. Bae,

2016) , (H. Chong, 2016). Existen otros términos relacionados, que sido utilizados en los Estados Unidos, que son: *Civil Integrated Management* (CIM por sus siglas en inglés) se ha utilizado para la de operación y gestión de activos, mientras que *Civil Information Modeling* (CiM por sus siglas en inglés) se ha enfocado en el modelado virtual 3D de la infraestructura de transporte en la fase de diseño, sin embargo, el término BIM engloba los primeros dos.

Tabla 3 Revisión de literatura de BIM en infraestructura de transporte.

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
Construcción de puentes	Aplicaciones múltiples a las estructuras, facilidades en operación y monitoreo. Se puede crear un modelo detallado y específico para cada disciplina con todos los elementos y coordinarlos posteriormente.	(H. Hu I.-S. A., 2010), (B. Fanning, 2014)
Adopción	La falta de una adopción generalizada de BIM en infraestructura parece estar relacionada con los riesgos y desafíos que potencialmente impiden su efectividad, sin embargo, las perspectivas prometedoras indican una tasa de adopción potencialmente exitosa para la implementación de BIM en un futuro próximo.	(H. Chong, 2016), (J.C.P. Cheng, 2016), (C.-S. Shim, 2012), (Abdelwahab, 2017), (F.G.B. Blanco, 2014)

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
Ventajas y desventajas	Enumera gran cantidad de ventajas y desventajas.	(J.C.P. Cheng, 2016), (Matějka, 2014), (C. Koch S. P., 2014), (J. Zak, 2017), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (P. Pakkala, 2017), (K. Hovey, 2012), (S.S. Chen, 2016), (F.G.B. Blanco, 2014), (N. Ali, 2014), (B. Fanning, 2014), (A. Omoregie, 2016), (Q. Liu, 2017)
Análisis sistemas	Permite el análisis integrado y compatible con el modelo virtual, para diferentes áreas, como análisis geotécnico, estructural, energético, costos, funcional, proyecciones de demanda vehicular, normativo, legal, etc.	(H. Chong, 2016), (Sarkar, 2016), (Z. Xiaoyang, 2016), (Marzouk, 2011), (M. Breunig, 2017), (S. Jeong Y. Z., 2016), (A. Borrmann T. K., 2015), (R. Shetwi, 2015), (Y. Ji, 2013), (A. Jootoo, 2016), (H. Hu I.-S. A., 2010), (M. Abdessemed, 2011), (S.H. Lee B. K., 2013)
Evaluación	Existencia de <i>software</i> desarrollado que organiza y analiza los datos de	(R. Hudson, 1993)

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
	inventario, inspección y evaluación de estructuras para ayudar a la gerencia a tomar decisiones que brinden los máximos beneficios del mantenimiento del puente, la rehabilitación y las actividades de reemplazo en una red de estructuras.	
Simulación energética	Herramientas BIM para evaluar la capacidad de BIM de incorporar ontologías de sostenibilidad como un nuevo enfoque para evaluar algunos parámetros cuantitativos de sostenibilidad.	(R. Hudson, 1993), (C. Koch S. P., 2014)
Gestión de activos	Gran cantidad de datos que pueden ser utilizados por el propietario en las labores de operación y mantenimiento de los activos, datos tales como: los materiales, componentes estructurales y de seguridad vial, equipos y sistemas electromecánicos y tecnológicos que requieren la programación de rutinas de mantenimiento o a reemplazo. En la administración de puentes los datos tienen un papel crucial a través de su ciclo de vida y BrIM podría significar un instrumento seguro y	(Z. Aziz, 2017), (J.C.P. Cheng, 2016), (DiBernardo, 2012), (F. Catbas, 2016), (J. Chen, 2014), (B. Riverio, 2016), (L.R. Tawelian, 2016), (B. Fanning, 2014), (M. Gholami, 2013), (Marzouk, 2012), (Q. Liu, 2017)

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
	ágil para almacenar y administrar los datos del proyecto	
Automatización	La integración automatizada de las condiciones de construcción tal y como está en los modelos de información de construcción (BIM) posibilita el monitoreo automatizado del avance de obra, análisis estructural automatizado bajo estándares. La vigilancia automatizada de las estructuras y de secciones críticas de una carretera puede monitorearse en tiempo real, con <i>softwares</i> específicos que interpretan la información de manera estadística. Es posible automatizar la verificación del cumplimiento de la normativa y de los requerimientos específicos del cliente.	(Marzouk, 2011) , (B. McGuire, 2016), (B. Riverio, 2016) , (H. Kim, 2014), (Sampaio, 2003) , (S. Vitasek, 2017), (F. Peyret, 2014), (M. Marzouk A. A., 2014)
Lista de cantidades	El sistema de información digital integrado permite el cálculo rápido de cantidades de obra y actualizar el presupuesto de obra, para toma de decisiones en etapa de diseño, licitación y construcción.	(Abdelwahab, 2017), (M. Marzouk M. H., Application of building information modeling in cost estimation of infrastructure bridges, 2012)

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
Sistema de administración de puentes	En la administración de puentes los datos tienen un papel crucial a través de su ciclo de vida y BrIM podría significar un instrumento seguro y ágil para almacenar y administrar los datos del proyecto. Es posible manejar gran cantidad de datos que pueden ser utilizados por el propietario en las labores de operación y mantenimiento de puentes. Las oficinas de transporte del Gobierno son los principales beneficiados para mejorar la administración de puentes e integrar mejor la inversión y el trabajo de mantenimiento.	(Marzouk, 2011), (S.H. Lee B. K., 2013)
Flujo de caja	El modelado de la información permite integrar el costo preciso de los componentes de obra y planificar la obra integrado con el proyecto, lo facilita generar y actualizar los flujos de caja con un alto grado de precisión y rapidez.	(M. Marzouk M. H., Application of building information modeling in cost estimation of infrastructure bridges, 2012)
Detección de interferencias	Mejora la calidad del diseño al minimizar los errores, las	(H. Chong, 2016), (J.C.P. Cheng, 2016), (A. Bradley, 2016), (C.-S. Shim,

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
	interferencias e incongruencias entre las áreas técnicas. Los constructores pueden gestionar cambios y evitar errores, encontrar interferencias a tiempo y producir con mejor calidad sin desperdicios. La simulación de la construcción virtual de infraestructura ayuda a los diseñadores a ubicar y resolver interferencias constructivas en la fase de diseño y puede ayudar a revisar y optimizar la constructibilidad del proyecto.	2012), (Sarkar, 2016), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (M. Mawlana, 2016) , (H. Li, 2012) , (Abdelwahab, 2017), (P. Pakkala, 2017), (M. Marzouk M. H., Implementing earned value management using bridge information modeling, 2014) , (B. Sankaran W. O., 2015) , (A. Omoregie, 2016)
Colaboración	Debe verse como un enfoque basado en objetos y multidisciplinario destinado a facilitar la colaboración entre las partes y la integración de información relacionada con los objetos durante todo el ciclo de vida de un activo.	(Z. Aziz, 2017), (M. Minehane, 2015), (C.S. Shim, 2011), (J. Zak, 2017), (M. Breunig, 2017) , (Abdelwahab, 2017), (Y. Zou, 2014), (S. Jeong R. H., 2017), (R. Shetwi, 2015), (Y. Ji, 2013), (N. Markiz, 2014), (M. Obergriesser, 2012), (C. Koch A. V., 2017)
Constructibilidad	Asegurar antes de tiempo que una carretera o estructura se puede	(Abdelwahab, 2017)

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
	construir de manera eficiente, tanto en términos de tiempo como de dinero, cuando está lo suficientemente detallado y preciso. Los constructores pueden gestionar cambios y evitar errores, encontrar conflictos a tiempo y producir con mejor calidad sin desperdicios.	
Estimación de costos (5D)	Las estimaciones de costos automáticas y detalladas (5D) hicieron una revolución en el proceso de construcción desde la etapa de diseño. Además, poder realizar estimaciones de costos unitarios o paramétricos y de esa forma, obtener una estimación de costos precisa y con trazabilidad en el cálculo.	(H. Chong, 2016), (J.C.P. Cheng, 2016), (A. Bradley, 2016), (C.S. Shim, 2011), (C.-S. Shim, 2012), (M. Marzouk M. H., 2012), (M. Marzouk M. H., A hybrid model for selecting location of mobile cranes in bridge construction projects, 2011), (M. Breunig, 2017), (Abdelwahab, 2017), (P. Pakkala, 2017), (S. Gristina, 2016), (H. Kim, 2014), (M. Marzouk M. H., Application of building information modeling in cost estimation of infrastructure bridges, 2012), (M.

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
		Marzouk M. H., Implementing earned value management using bridge information modeling, 2014), (R. Shetwi, 2015), (Xu, 2017), (N. Markiz, 2014)
Gestión de datos	Las bases de datos en línea y los servidores en la nube reducen la dependencia del <i>hardware</i> y brindan la oportunidad de acceder a modelos unificados y actualizados, así como a sus datos asociados a los que se puede acceder fácilmente a través de dispositivos móviles. Objetivo que la información generada esté disponible, accesible y utilizable independiente de la plataforma en todo momento.	(Z. Aziz, 2017), (DiBernardo, 2012), (F.A. Al-Shalabi, 2015), (S. Jeong Y. Z., 2016), (S.H. Lee B. K., 2013)
Toma de decisiones	La toma de decisiones en la administración de proyectos orientada al BIM, representa la principal actividad a desarrollar durante el desarrollo del ciclo de vida de la inversión, desde su inicio hasta el desarrollo de su vida útil, la toma de decisiones está presente en todas	(Z. Aziz, 2017), (A. Hammad, 2006), (M. Mawlana, 2016), (Y. Zou, 2014), (Liapi, 2015), (R. Shetwi, 2015), (N. Markiz, 2014)

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
	las fases de la administración de los proyectos. En el fondo de recursos compartidos del sistema de producción por proyectos, la toma de decisiones a partir de las prioridades de los proyectos juega un papel importante en el éxito del proyecto.	
Deterioro	Podrían tenerse mejores datos que pueden usarse para mejorar los modelos de deterioro. Con mejores modelos de deterioro, se pueden hacer predicciones más informadas, que en última instancia podría resultar en mejores decisiones. El deterioro es una preocupación importante para los puentes, ya que es un componente crítico de carreteras y pueden verse amenazados por el deterioro y la desviación en su vida útil, que puede afectar su rendimiento y seguridad.	(F. Catbas, 2016), (K. Helmi, 2015), (M. Gholami, 2013), (N. Okasha, 2011)
Modelo digital	El diseño y estructuración del modelo digital de datos debe tener en cuenta de forma prioritaria al futuro mantenimiento y operación de la infraestructura.	(C.-S. Shim, 2012), (K.M. Lee, 2012)

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
Impacto medioambiental	Ofrece promesas en la optimización de las necesidades energéticas, así como la identificación de los potenciales para <i>sinergizar</i> la envolvente y los servicios del edificio para reducir la huella de carbono.	(M. Marzouk E. M.-Z., 2017), (Marzouk, 2012), (M. Marzouk A. A., 2014)
Gestión de instalaciones	La infraestructura de transporte requiere de un estricto plan de mantenimiento y consecuentemente, de un monitoreo constante de las estructuras, de la seguridad vial y en general, de todos los elementos que componen la carretera para que la obra pueda permanecer en el nivel de servicio u operativo especificado.	(R. Shetwi, 2015), (Marzouk, 2012), (Marzouk Y. , Monitoring thermal comfort in subways using building information modeling, 2014), (Q. Liu, 2017)
Vigilancia del estado de las estructuras	Podrían tenerse mejores datos que pueden usarse para mejorar los modelos de deterioro. Con mejores modelos de deterioro, se pueden hacer predicciones más informadas, que en última instancia podría resultar en mejores decisiones. La vigilancia automatizada de las estructuras y de secciones críticas de una carretera puede monitorearse en tiempo real, con <i>softwares</i> específicos que interpretan la	(R. Hudson, 1993), (M. Minehane, 2015) , (al., 2008), (O. Abudayyeh, 2017), (DiBernardo, 2012), (Marzouk, 2011) , (B. McGuire, 2016), (F. Catbas, 2016), (B. Riverio, 2016), (K. Helmi, 2015)

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
	información de manera estadística. Esto es una preocupación importante para las estructuras, ya que es un componente crítico de las carreteras y pueden verse amenazados por el deterioro y la desviación en su vida útil, que puede afectar su rendimiento y seguridad.	
Inspección	Demuestra cómo se puede usar para facilitar tanto las inspecciones como las evaluaciones a través del modelado de información del puente para el método de inspección y evaluación. Que en última instancia podría resultar en una práctica más automatizada.	(R. Hudson, 1993), (al., 2008), (DiBernardo, 2012), (Marzouk, 2011), (C. Koch S. P., 2014), (F.A. Al-Shalabi, 2015), (B. McGuire, 2016) (A. Hammad, 2006), (F. Tanaka, 2016)
Interoperabilidad	La interoperabilidad apoya la colaboración, y el compromiso personal, la motivación y el comportamiento de los profesionales aumentan la difusión de BIM en infraestructura. La superación de los desafíos técnicos puede acelerar la implementación de otras tecnologías compatibles con BIM para mejorar el desarrollo de la infraestructura, aunque si hay avances, tal como la	(J.C.P. Cheng, 2016), (A. Bradley, 2016), (Kageyama, 2016), (C.S. Shim, 2011) , (C.-S. Shim, 2012) , (DiBernardo, 2012), (J. Wang, 2016), (J. Chen, 2014), (S. Jeong Y. Z., 2016), (S.H. Park, 2016), (P. Pakkala, 2017), (A. Borrmann T. K., 2015),

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
	integración de distintos tipos de datos entre las operaciones de BIM y GIS.	(S. Gristina, 2016), (S.S. Chen, 2016), (H. Kim, 2014), (F. Tanaka, 2016), (Y. Zou, 2014), (S. Jeong R. H., 2017), (A. Borrmann Y. J., 2012), (Y. Ji, 2013), (Y. Sugita, 2016), (N. Markiz, 2014), (S.H. Lee S. P., 2014), (K.M. Lee, 2012), (B. Fanning, 2014), (H. Hu S. C., 2014), (S.H. Lee B. K., 2013), (Karaman S. Gokhan, 2013), (F. Catbas, 2016), (C. Koch A. V., 2017), (M. Gallaher, 2004)
Legal y derecho	Falta de uniformidad para las cláusulas contractuales respecto a uso de la firma digital, el sellado y el modelo entregable, integridad de los datos durante la transferencia, la confidencialidad de la información y las complicaciones para activar las pólizas de seguro profesional para cubrir las responsabilidades de las partes interesadas. Fueron	(S. Gristina, 2016), (F.A. Al-Shalabi, 2015), (S. Kim, 2015), (D. Kitsakis, 2017), (R. Eadie, 2015)

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
	propuestos elementos cruciales para adaptar el marco legal al nuevo tipo de contrato (por ejemplo, propiedad del modelo digital, distribución del riesgo, propiedad intelectual, activación de seguros y trazabilidad)	
Lecciones aprendidas	El respaldo de los documentos en un Modelo Digital que integra todo sobre el proyecto puede ser de gran utilidad y facilidad para la Oficina de proyectos, para Oficinas de Transporte del Gobierno y para propietarios, de cara al desarrollo de proyectos similares.	(Sarkar, 2016), (M. Breunig, 2017), (F.G.B. Blanco, 2014), (Q. Liu, 2017)
Clasificaciones de carga	Mediante la definición de criterio paramétricos, se pueden crear modelos geométricos flexibles utilizar parámetros para dimensiones, normativa y poder definir relaciones numéricas entre estos parámetros por medio de fórmulas matemáticas y restricciones.	(H. Chong, 2016), (B. McGuire, 2016), (S. Jeong Y. Z., 2016), (Y. Ji, 2013)
Nivel de información (NDI)	Tanto la geometría como la información incorporada en un modelo BIM pueden tener distintos grados de detalle según el estado del proyecto específico. Esta información	(J.C.P. Cheng, 2016), (C.-S. Shim, 2012), (J. Zak, 2017), (M. Breunig, 2017), (A. Hammad, 2006), (B. Sankaran J. F.-M., 2016),

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
	puede variar y/o aumentar en detalle a medida que éste avanza.	(Abdelwahab, 2017), (A. Borrmann Y. J., 2012), (N. Kodama, 2017), (S.H. Lee B. K., 2013), (H. Lee, 2017)
Mantenimiento	Maneja gran cantidad de datos que pueden ser utilizados por el propietario en las labores de operación y mantenimiento de los activos, datos tales como: los materiales, componentes estructurales y de seguridad vial, equipos y sistemas electromecánicos y tecnológicos que requieren la programación de rutinas de mantenimiento o reinversiones.	(J.C.P. Cheng, 2016), (R. Hudson, 1993), (M. Minehane, 2015), (B. McGuire, 2016), (M. Gholami, 2013), (M. Marzouk A. A., 2014)
Cálculo de cantidades	La modelación rigurosa en BIM proporciona la posibilidad de obtener cantidades con mayor precisión y reducir la incertidumbre en el presupuesto de construcción. Y permite el cálculo rápido de cantidades de obra, actualización del presupuesto de obra, toma de decisiones, disminución de incertidumbre, disminución de imprevistos.	(Kageyama, 2016), (H. Li, 2012), (M. Marzouk M. H., Implementing earned value management using bridge information modeling, 2014), (S. Vitasek, 2017), (S.H. Lee B. K., 2013), (H. Lee, 2017)

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
Seguridad vial	Es posible contar con datos acumulados estadísticos o indicadores que reflejen tendencias o comportamientos progresivos a los cuales se les deba prestar atención y de esa manera propiciar la programación efectiva del mantenimiento futuro del puente y además mantener el estado de conservación ideal, con la finalidad de disminuir la necesidad de reparaciones importantes sí como mejorar la seguridad.	(H. Chong, 2016), (A. Bradley, 2016), (M. Minehane, 2015) , (al., 2008), (C.-S. Shim, 2012), (Bien, 2011), (O. Abudayyeh, 2017), (N. Okasha, 2011), (DiBernardo, 2012), (J. Wang, 2016), (M. Marzouk M. H., A hybrid model for selecting location of mobile cranes in bridge construction projects, 2011), (C. Koch S. P., 2014), (J. Zak, 2017), (E. Petzek, 2016) ,
Programación (4D)	Las capacidades BIM en la programación visual del proyecto (4D) y las estimaciones de costos automáticas y detalladas (5D) hicieron una revolución en el proceso de construcción desde la etapa de diseño, se ha mejorado la gestión del proyecto en cuanto a la programación y las adquisiciones a la vez que se ha reducido el desperdicio de recursos.	(H. Chong, 2016), (J.C.P. Cheng, 2016), (A. Bradley, 2016), (C.S. Shim, 2011), (C.-S. Shim, 2012), (M. Marzouk M. H., A hybrid model for selecting location of mobile cranes in bridge construction projects, 2011), (M. Breunig, 2017), (A. Hammad, 2006), (B.

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
		Sankaran J. F.-M., 2016), (M. Mawlana, 2016), (H. Li, 2012), (Abdelwahab, 2017), (P. Pakkala, 2017), (S. Gristina, 2016), (H. Kim, 2014), (Liapi, 2015), (M. Marzouk M. H., Application of building information modeling in cost estimation of infrastructure bridges, 2012), (M. Marzouk M. H., Implementing earned value management using bridge information modeling, 2014), (R. Shetwi, 2015), (N. Markiz, 2014)
Secuencia constructiva	En la fase de planificación 4D del proyecto donde la secuencia y la duración de las tareas se definen y se justifican	(M. Mawlana, 2016), (Abdelwahab, 2017)
Simulación constructiva	Se presenta como una solución para facilitar la coordinación, comunicación, análisis y simulación, así como la administración del	(A. Bae, 2016), (C.-S. Shim, 2012), (M. Breunig, 2017), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (Miyamoto,

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
	proyecto, la colaboración e incluso la administración de activos, el mantenimiento y la operación del inmueble. Se logra comunicar información de las propiedades o la simulación espacial de una geometría o una funcionalidad.	2016), (M. Mawlana, 2016), (S. Jeong R. H., 2017), (Liapi, 2015), (R. Shetwi, 2015), (C. Koch A. V., 2017)
Análisis estructural	Se analizan aspectos para la estandarización de procesos en el diseño y análisis estructural que el proceso sea robusto para el intercambio continuo, eficiente y reproducible de información estructural precisa y confiable.	(H. Hu I.-S. A., 2010), (Z. Xiaoyang, 2016), (A. Jootoo, 2016), (M. Abdessemed, 2011), (K. Helmi, 2015)
Sustentabilidad	La aplicación actual de BIM a las prácticas de sostenibilidad incluyen: evaluación del costo del ciclo de vida, diseño sostenible, selección de material sostenible, gestión de residuos, simulación y análisis de luz natural, consumo de energía y huella de carbono.	(M. Breunig, 2017), (F.G.B. Blanco, 2014), (M. Marzouk E. M.-Z., 2017), (Xu, 2017), (S.H. Lee S. P., 2014), (A. Omoregie, 2016), (E. Petzek, 2016), (Marzouk, 2012), (M. Marzouk A. A., 2014)
Simulación de tráfico	Existe compatibilidad con los programas de simulación de la construcción virtual de infraestructura, que ayuda a los	(B. Sankaran J. F.-M., 2016), (M. Mawlana, 2016), (Liapi, 2015)

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
	diseñadores a ubicar y resolver conflictos constructivos en la fase de diseño. En el diseño geométrico de carreteras se lleva a cabo el análisis funcional a nivel micro y macro de forma integrada con el modelo.	
Visualización	Servir como muestra y modelo representativo de las mejoras potenciales en visualización, gestión manejo de la información y de administración de proyectos de las metodologías BIM.	(A. Bae, 2016), (Z. Aziz, 2017), (C.-S. Shim, 2012), (Z. Xiaoyang, 2016), (Marzouk, 2011), (M. Breunig, 2017), (J. Chen, 2014), (S. Jeong Y. Z., 2016), (A. Hammad, 2006), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (M. Mawlana, 2016), (H. Li, 2012), (Abdelwahab, 2017), (A. Borrmann T. K., 2015), (S. Gristina, 2016), (H. Kim, 2014), (Liapi, 2015) , (M. Marzouk M. H., Application of building information modeling in cost estimation of infrastructure bridges, 2012), (R. Shetwi, 2015), (Y. Ji, 2013), (Xu,

Aplicación o uso	Criterio común	Publicación
TABLA 3. REVISIÓN DE LITERATURA DE BIM EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE		
		2017), (Sampaio, 2003), (B. Sankaran W. O., 2015) , (B. Fanning, 2014) , (Karaman S. Gokhan, 2013) , (F. Peyret, 2014), (S. Kim, 2015), (Marzouk, 2012), (M. Marzouk A. A., 2014), (Marzouk Y. , Monitoring thermal comfort in subways using building information modeling, 2014), (C. Koch A. V., 2017), (D. Kitsakis, 2017)

2.2.3.1 Beneficios económicos

Invertir en el modelado de información de puentes, puede suponer un costo adicional para el proyecto en su etapa inicial, sin embargo, los resultados han demostrado que vale la pena asumir ese sobre costo inicial ya que genera importantes retribuciones económicas durante la fase de construcción del proyecto. Minehane *et al* (M. Minehane, 2015) concluyó que el sobre costo de BIM es un porcentaje que puede estar en el 1.5 y 15% del monto que se puede ahorrar el propietario en caso de implementarse durante el proyecto. El uso de BIM en lugar de los métodos de documentación tradicionales ayudará a los interesados a obtener beneficios técnicos y financieros. Una estimación más precisa de los costos de los

componentes de la carretera puede ayudar a todos los interesados a hacer una mejor planificación y prevención.

BIM ayuda al proceso de capturar y almacenar datos con precisión y exhaustividad al tiempo que reduce las horas hombre necesarias para hacerlo. Esta información puede ser utilizada en un futuro como una base de datos confiable para un análisis más detallado de otros proyectos futuros de naturaleza similar. La evidencia muestra que BIM puede ayudar principalmente a los gobiernos en proyectos de infraestructura. El Estado posee la mayoría del sistema de infraestructura de transporte; por lo tanto, el gobierno y los propietarios son las partes más beneficiadas e interesadas en implementar BIM en los proyectos de infraestructura pública (Matějka, 2014).

2.2.3.2 Gestión de riesgos

BIM puede trabajar como una herramienta sistemática de gestión de los riesgos. La gestión de riesgos y el análisis de seguridad inician en la fase de planificación 4D del proyecto donde la secuencia y la duración de las tareas se definen y se justifican. El uso de BIM puede ayudar a los contratistas generales a gestionar sus riesgos y disminuirlos, así como a los costos relacionados (C.S. Shim, 2011). Puede ser una herramienta de gran valor para identificar incertidumbres en la construcción de puentes y carreteras (al., 2008), además, puede apoyar a los profesionales a disminuir las pruebas y errores en la fase de construcción pues mejora la productividad a la vez que disminuye los riesgos asociados con el plazo y con el costo.

Los riesgos también pueden graficarse, simularse y cuantificarse a través de programas que son compatibles con BIM (C.S. Shim, 2011). Las estructuras podrían verse afectados por inundaciones y otros riesgos naturales, que es un riesgo importante para los puentes, que pueden provocar daños y hasta el colapso de la estructura. BIM puede ayudar a monitorear y modelar las respuestas dinámicas de la estructura a través de equipos de monitoreo, esto también puede disminuir el

riesgo en la estructura del puente (M. Minehane, 2015). Sarkar (Sarkar, 2016) desarrolló un modelo BIM para estudiar los principios de gestión de riesgos en proyectos de infraestructura basado en el metro en India, y concluyó que BIM puede reducir los riesgos si se aumenta la colaboración entre las partes interesadas durante las fases de planificación y construcción para ahorrar una cantidad considerable de dinero.

BIM es, en su esencia, una herramienta de gestión de la información que establece procesos. Para utilizar BIM al máximo, cualquier protocolo de ejecución debe incluir procesos claros y aceptados que establezcan las responsabilidades de cada parte. Por ejemplo, el protocolo puede establecer una metodología para enfrentar los cambios en el diseño, que indique cómo se debe llevar a cabo la notificación de todos los miembros del equipo de diseño. Esto puede incluir el nombramiento de un Director BIM quien debe encargarse de supervisar los cambios de diseño y coordinar el flujo y secuencia de trabajo. Por otro lado, puede especificar la información de diseño que se incluirá dentro de ese modelo, además, de qué parte almacenará ese modelo así como los datos, y la seguridad que se debe suministrar para garantizar el respaldo de seguridad de la información.

Existe un riesgo de pérdida de integridad de los datos si para esto se utilizan diferentes sistemas y programas. Para reducir este riesgo, es necesario que un protocolo especifique programas compatibles a utilizar, así como los pasos a seguir para reducir el riesgo de errores en los datos del diseño.

La estandarización en los procesos es fundamental, dada la naturaleza colaborativa de BIM, para que sea atendida con un documento estandarizado. Incluir términos de referencia definidos, confirmar los entregables y especificar cómo se verifica el cumplimiento es igualmente importante.

Con respecto a la propiedad intelectual y los derechos de autor, la posición de Estados Unidos ha sido que cada área es la propietaria de los derechos de autor de cada componente del modelo del cual es responsable. Esta condición requiere ser

estudiada a profundidad en el país, sin embargo, es importante mencionar que en la etapa constructiva cuando las partes trabajan sobre un modelo del cual el tercero es responsable del diseño, la propiedad intelectual puede ser compartida entre todos los actores con lo cual la licencia del diseñador no es exclusiva (Manderson, 2015), lo exclusivo es la responsabilidad sobre el diseño. Esto también puede extenderse al caso donde el cliente o propietario requiere usar el modelo para fines de operación y mantenimiento futuro del inmueble.

Además, un proyecto BIM requiere necesariamente que el contrato establezca detalladamente el procedimiento para que la coordinación del diseño sea efectiva, donde todas las partes asistan a reuniones de seguimiento y trabajen de la mano con el director BIM de manera proactiva y simultánea. Esto quiere decir, que el uso de BIM requiere de un compromiso en equipo y disposición profesional para esto, algunas personas pueden resistirse a ese tipo de labor.

2.2.3.3 Computación en la nube y servicios móviles

Las bases de datos en línea y los servidores en la nube (F.A. Al-Shalabi, 2015), (S. Jeong Y. Z., 2016) reducen la dependencia del *hardware* y brindan la oportunidad de acceder a modelos unificados y actualizados, así como a sus datos asociados a los que se puede acceder fácilmente a través de dispositivos móviles y tabletas. Los servicios de computación en la nube son escalables y podrían diseñarse para responder a diferentes necesidades que los hacen más deseables para los usuarios y desarrolladores de servicios. A pesar de los beneficios de los servicios de computación en la nube, su capacidad de adopción depende en gran medida del desarrollo económico, social y tecnológico de países. El desarrollo de estos sistemas promueve el desarrollo del concepto de ciudad inteligente. La seguridad y la anti-fragilidad de los servicios de computación en la nube son preocupaciones cruciales en este concepto (A. Hammad, 2006), (S. Jeong Y. Z., 2016).

2.2.3.4 Escaneo láser y fotogrametría

El escaneo láser y la detección y el alcance de la luz (LiDAR) han revolucionado la inspección y la documentación de la infraestructura según la construcción debido a la mayor precisión y velocidad de operación (C. Koch S. P., 2014), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (S.M. Vick, 2016). Los escáneres láser miden el tiempo de viaje de los rayos láser para localizar y capturar la superficie de los objetos en el espacio (C. Koch S. P., 2014). Mediante la unión de diferentes capturas, los escáneres láser producen un modelo de nube de puntos de la infraestructura que tiene una alta precisión y resolución, y podría usarse para modelar, diagnosticar y analizar la infraestructura (B. Riverio, 2016). La tecnología de escaneo láser se puede aplicar a lo largo del ciclo de vida de infraestructura. Como ejemplo, los escáneres láser pueden escanear la superficie de la carretera regularmente durante la fase de construcción para ayudar a monitorear el progreso del proyecto en función de su cronograma. Los drones actualmente están simplificando el proceso de escaneo láser y móvil Lidar. Los escáneres Lidar aerotransportados son otras nuevas generaciones de tecnologías avanzadas de escaneo láser (S.M. Vick, 2016). Actualmente, el costo de las tecnologías de escaneo láser es el principal obstáculo para su desarrollo, específicamente para construcciones a pequeña escala, mientras que las tecnologías de fotogrametría son una sustitución asequible. El procesamiento de imágenes y la fotogrametría podrían ahorrar tiempo y dinero, al tiempo que mejoran la seguridad y la precisión (C. Koch S. P., 2014), (Miyamoto, 2016), (S.H. Park, 2016). Según la gran escala de la infraestructura de transporte, el método seleccionado debería poder escanear un área grande con un nivel razonable de precisión (S.M. Vick, 2016).

2.2.3.5 Sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas de información geográfica (SIG)

Los sistemas de posicionamiento global (GPS) han mejorado la precisión de las coordenadas y la información geográfica, además han ayudado en la

implementación precisa de los proyectos. La integración de los datos GPS en los sistemas de información geográfica (SIG) ayudó a establecer una base de datos unificada y visual que podría tener una mejor representación de los datos y mejorar la calidad de la comunicación y la toma de decisiones (K. Hovey, 2012). La unión de SIG y las capacidades BIM abrieron nuevas visiones en la gestión de la infraestructura que amplificaron su rendimiento y eficiencia. El control y la supervisión de los servicios públicos en carretera en la infraestructura de transporte terrestre, incluidos los datos geotécnicos, estructurales y de drenaje, son significativamente más eficientes. Esta fusión también ha ayudado a una mejor planificación de aeropuertos, puertos e infraestructura de tuberías, (Z. Aziz, 2017), (A. Bradley, 2016), (M. Breunig, 2017), (S. Gristina, 2016), (S.H. Park, 2016), (A. Borrmann T. K., 2015), (H. Chong, 2016).

2.2.3.6 La gestión financiera con BIM

Uno de los beneficios implícitos de la implementación de BIM se encuentra en la gestión financiera de los proyectos en sus etapas preliminares. Evaluar las variables económicas en distintos escenarios, presentes al momento de realizar los estudios de factibilidad, es uno de los factores clave para la toma de decisiones clave de las futuras construcciones (C.S. Shim, 2011). Generalmente, este tipo de análisis de las variables, se representan en flujos de caja con un alto grado de variabilidad, dada esta situación es fundamental estimar de manera precisa no solo el costo de los distintos escenarios, sino también de los indicadores financieros (ejemplo, VPN y TIR del proyecto) para el análisis de la viabilidad de las construcciones futuras con un menor nivel de riesgo.

Uno de los principales objetivos al respecto, ha sido el lograr una mayor eficiencia en gestión de los cambios en el diseño y especialmente evitar que estos se den en etapas avanzadas, tal como, en la etapa de construcción. En la forma tradicional de gestión de diseños, se debe realizar en procesos de cambio repetitivos y de forma aislada a los análisis previos, que pueden provocar errores u omisiones

significativas que a su vez pueden distorsionar los resultados de los indicadores financieros de los proyectos. Con el uso de BIM esas distorsiones se pueden reducir considerablemente (C.S. Shim, 2011).

Corporaciones como Autodesk® cuentan con herramientas, como Revit y Navisworks, por medio de las cuales se pueden generar modelos BIM que permiten integrar el plazo con el costo y que pueden servir como insumo valioso para la estimación de flujos de caja y análisis posteriores con los indicadores financieros.

2.2.4 Limitaciones, recomendaciones y desafíos

Si bien se ha indicado que BIM puede propiciar una mejor gestión de la información, aún existen algunas dificultades para que estos puedan integrarse en la infraestructura de transporte. Un problema considerable en el modelado de infraestructura es la diferencia en las escalas del proyecto, por ejemplo; un puente de acero de gran longitud. Las escalas pueden variar de centímetros a kilómetros, que difícilmente podrían plasmarse en un modelo individual (A. Borrmann J. J., 2013), por lo tanto, deben establecerse de forma separada y vincularse entre sí.

Tabla 4 Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte

Desafío	Criterio común	Publicación
Tabla 4. Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte		
Costo de BIM	Costo de la gestión del modelo y su reembolso por las partes interesadas involucradas.	(Z. Aziz, 2017), (Miyamoto, 2016), (L.R. Tawelian, 2016), (A. Omoregie, 2016)
Limitaciones BIM	Se identifican y analizan las principales limitaciones de la metodología.	(H. Chong, 2016), (B. McGuire, 2016), (M. Breunig, 2017), (J. Chen, 2014), (A.

Desafío	Criterio común	Publicación
Tabla 4. Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte		
		Hammad, 2006), (S. Gristina, 2016), (Y. Zou, 2014), (A. Borrmann Y. J., 2012), (L.R. Tawelian, 2016), (B. Fanning, 2014), (A. Omoregie, 2016), (Q. Liu, 2017)
Complejidad del proyecto	El valor dado por la adopción de BIM tiene una relación directa con la complejidad y la escala del proyecto, cuanto más complejo y grande es el proyecto, más beneficios se obtienen. La transferencia de datos es por sí mismo un requisito importante en el establecimiento de proyectos de gran complejidad que requieran el almacenamiento y manipulación de gran cantidad de datos.	(M. Minehane, 2015), (Abdelwahab, 2017), (N. Markiz, 2014), (B. Fanning, 2014)
Daño y costo de dispositivos electrónicos portátiles	Su capacidad de adopción depende en gran medida del desarrollo económico, social y tecnológico de países, La seguridad y la anti-fragilidad de	(F.A. Al-Shalabi, 2015), (S. Jeong Y. Z., 2016), (A. Hammad, 2006).

Desafío	Criterio común	Publicación
Tabla 4. Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte		
	los servicios de computación en la nube son preocupaciones cruciales en este concepto.	
Pérdida de datos	Existe riesgo de pérdida de integridad de los datos si para esto se utilizan diferentes sistemas y programas. Para reducirlo, es necesario que un protocolo especifique programas compatibles a utilizar, así como los pasos a seguir para reducir el riesgo de errores en los datos del diseño.	(Kageyama, 2016), (Y. Ji, 2013), (S.H. Lee B. K., 2013)
Interoperabilidad	La falta de interoperabilidad todavía es uno de los principales desafíos técnicos que enfrenta la industria. Cuando se intercambian archivos BIM, puede producirse la pérdida de datos. Cada empresa está trabajando con sus herramientas típicas de <i>software</i> y <i>hardware</i> que causan problemas de compatibilidad. En el esquema de intercambio de datos e interoperabilidad, debe existir un soporte hacia un	(J.C.P. Cheng, 2016), (A. Bradley, 2016), (Kageyama, 2016), (C.S. Shim, 2011), (C.-S. Shim, 2012), (DiBernardo, 2012), (J. Wang, 2016), (J. Chen, 2014), (S. Jeong Y. Z., 2016), (S.H. Park, 2016), (P. Pakkala, 2017), (A. Borrmann T. K., 2015), (S. Gristina, 2016),

Desafío	Criterio común	Publicación
Tabla 4. Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte		
	estándar de información de la industria, como IFC, NIEM o uno que integre ambos.	(S.S. Chen, 2016), (H. Kim, 2014), (F. Tanaka, 2016), (Y. Zou, 2014), (S. Jeong R. H., 2017), (A. Borrmann Y. J., 2012), (Y. Ji, 2013), (Y. Sugita, 2016), (N. Markiz, 2014), (S.H. Lee S. P., 2014), (K.M. Lee, 2012), (B. Fanning, 2014), (H. Hu S. C., 2014), (S.H. Lee B. K., 2013), (Karaman S. Gokhan, 2013), (F. Catbas, 2016), (C. Koch A. V., 2017), (M. Gallaher, 2004)
Calidad y seguridad de los datos	Los desafíos más grandes identificados para la aplicación de BIM en las prácticas de O&M son las definiciones de los requisitos de datos, y para identificarlos en cuanto a quién y cuándo deben de proporcionarse los datos durante todo el ciclo de vida del proyecto y la seguridad contra la corrupción,	(Kageyama, 2016), (B. Riverio, 2016)

Desafío	Criterio común	Publicación
Tabla 4. Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte		
	el robo o la manipulación de datos.	
Limitaciones de IFC	Como BIM e IFC estaban destinados desde su concepción a edificaciones, la implementación de estos a la infraestructura de transporte implica desafíos importantes a subsanar paulatinamente. Debe existir un soporte hacia un estándar de información de la industria, como IFC, NIEM o uno que integre ambos	(C.-S. Shim, 2012), (A. Borrmann T. K., 2015), (S.S. Chen, 2016), (Y. Ji, 2013), (N. Ali, 2014), (Y. Sugita, 2016), (M. Obergruesser, 2012), (S.H. Lee B. K., 2013)
Implementación	Se analizan diferentes factores limitantes para la superación de los desafíos técnicos en la implementación de BIM y otras tecnologías compatibles, para mejorar el desarrollo de la infraestructura. Se analiza el proceso de implementación de varios países.	(J. Wang, 2016), (F.A. Al-Shalabi, 2015), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (S.S. Chen, 2016), (F.G.B. Blanco, 2014), (S. Vitasek, 2017), (B. Fanning, 2014)
Barreras institucionales	Admisibilidad de documentos digitales en los tribunales o la administración local. Las barreras institucionales, como las	(Z. Aziz, 2017), (A. Bradley, 2016), (F.A. Al-Shalabi, 2015), (B. Sankaran J. F.-M.,

Desafío	Criterio común	Publicación
Tabla 4. Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte		
	resistencias o la falta de recursos para cambiar, también son grandes desafíos para la adopción de BIM.	2016), (P. Pakkala, 2017), (F.G.B. Blanco, 2014), (Q. Liu, 2017)
Resistencia al cambio	Los desafíos relacionados con la mentalidad se basan en la dificultad de aceptación al cambio por parte de los participantes en el proyecto, sobre cómo tornar el proceso a un enfoque de colaboración para los proyectos de infraestructura, con una modalidad de entrega distinta, en cómo capacitar a las partes interesadas del proyecto de infraestructura para usar la aplicación relacionada BIM.	(P. Pakkala, 2017), (F.G.B. Blanco, 2014), (Q. Liu, 2017)
Integración	BIM permite proporcionar una base de datos gráfica integrada que puede ser utilizada durante todo el ciclo de vida de la infraestructura. De presentarse algún cambio durante esta etapa sólo es necesario modificar el modelo digital integrado que de forma concadenada se	(A. Bradley, 2016), (J. Wang, 2016), (Z. Xiaoyang, 2016), (B. Sankaran J. F.-M., 2016)

Desafío	Criterio común	Publicación
Tabla 4. Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte		
	actualizarán las vistas, los cortes y además, el modelo podrá detectar incongruencias con los sistemas para que estas sean revisadas oportunamente por quien corresponde.	
Falta de conocimiento	Los desafíos más señalados que enfrenta la implementación de BIM en la industria del transporte son falta de conocimiento por parte de los gerentes, propietarios y responsables de tomar decisiones.	(Z. Aziz, 2017), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (P. Pakkala, 2017), (K. Hovey, 2012), (F.G.B. Blanco, 2014), (Q. Liu, 2017)
Falta de recursos	Como las tecnologías BIM pueden ser costosas, la inversión inicial ha sido una preocupación para algunas partes interesadas. Las dudas surgen de manera natural a la adopción de la tecnología, ya que implementar un nuevo proceso, apoyado en herramientas tecnológicas puede suponer un aumento de la inversión inicial de la organización o del proyecto.	(F.A. Al-Shalabi, 2015), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (K. Hovey, 2012)

Desafío	Criterio común	Publicación
Tabla 4. Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte		
Falta de estándares	A nivel mundial ha surgido la necesidad de utilizar estándares y políticas que permitan reducir los problemas en la ejecución. Las partes deben acordar un estándar que incluya términos definidos, procesos, confirmar los entregables y especificar cómo se demuestra el cumplimiento.	(Z. Aziz, 2017), (N. Ali, 2014), (S. Vitasek, 2017), (B. Fanning, 2014), (A. Omoregie, 2016), (Q. Liu, 2017)
Modelo grande o demasiados datos	A medida que se actualiza el modelo, se requiere una entrada de datos más precisa, que causa dificultades de gestión del modelo.	(S. Jeong Y. Z., 2016), (H. Kim, 2014), (A. Omoregie, 2016), (S. Kim, 2015), (C. Koch A. V., 2017)
Escala del modelo	El valor dado por la adopción de BIM tiene una relación directa con la complejidad y la escala del proyecto, cuanto más complejo y grande es el proyecto, más beneficios se obtienen.	(H. Li, 2012), (A. Borrmann J. J., 2013)
Propiedad intelectual	Se considera que la propiedad del modelo permanecerá con la parte que lo desarrolla, el diseñador. Se debe emitir una licencia a cualquier otra parte que la use.	(Manderson, 2015), (Alwash, 2017)

Desafío	Criterio común	Publicación
Tabla 4. Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte		
Responsabilidad profesional	El diseñador y el contratista comparten el riesgo de responsabilidad profesional, Contratista será responsable de la inserción de datos adicionales.	(Manderson, 2015), (Alwash, 2017)
Otros desafíos	Se enumeran algunos desafíos adicionales menos mencionados o con menor importancia.	(S.S. Chen, 2016), (Matějka, 2014), (al., 2008), (Bien, 2011), (N. Okasha, 2011), (M. Marzouk M. H., A hybrid model for selecting location of mobile cranes in bridge construction projects, 2011), (Z. Xiaoyang, 2016), (M. Breunig, 2017), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (H. Li, 2012), (A. Borrmann T. K., 2015), (A.M. Shirole T. R., 2009), (M. Marzouk M. H., Implementing earned value management using bridge

Desafío	Criterio común	Publicación
Tabla 4. Limitaciones, recomendaciones y desafíos comunes para implementar BIM en la infraestructura de transporte		
		information modeling, 2014), (A. Jootoo, 2016), (Xu, 2017), (S.H. Lee S. P., 2014), (N. Kodama, 2017), (M. Abdessemed, 2011), (S.H. Lee B. K., 2013), (M. Gholami, 2013), (E. Petzek, 2016), (H. Lee, 2017), (J. Chen, 2014), (A. Borrmann J. J., 2013), (D. Kitsakis, 2017)

Como BIM e IFC estaban destinados desde su concepción a edificaciones, la implementación de estos a la infraestructura de transporte implica desafíos importantes a subsanar paulatinamente. Además, aún existen algunos obstáculos asociados a BIM dentro de la industria de la construcción que se trasladarán al adoptar las tecnologías en la industria del transporte. Estos aspectos por resolver se pueden subdividir en cinco conjuntos de desafíos: técnicos, relacionados con el proceso, relacionados con la mentalidad, legales y el retorno de la inversión.

2.2.4.1 Desafíos técnicos

Existen muchos desafíos técnicos y tecnológicos que se deben de vencer en los próximos años para que la adopción del BIM en infraestructura sea total. Algunos de estos desafíos técnicos incluyen las diferencias y la falta de flujo de trabajo BIM

totalmente adaptado para la infraestructura (Matějka, 2014), la necesidad de *hardware* de mayor rendimiento para manejar grandes volúmenes de datos (Bien, 2011), las diferencias de escala y LOD del modelo de infraestructura en comparación con el modelo BIM para edificaciones (A. Borrmann Y. J., 2012), deficiencias en interoperabilidad y en la transferencia de información entre el *software* y tecnología (N. Ali, 2014), dado esto la superación de los desafíos técnicos puede acelerar la implementación de otras tecnologías compatibles con BIM para mejorar el desarrollo de la infraestructura (N. Ali, 2014).

Al-Shalabi *et al.* (F.A. Al-Shalabi, 2015), realizó una encuesta sobre la implementación de BrIM para la documentación sobre la inspección del estado de un puente. La encuesta descubrió que la implementación tecnológica es uno de los principales desafíos que enfrentaron los DOT, producto del alto costo inicial, el tiempo necesario para desarrollar el modelo, las bajas señales de la red celular en lugares lejanos y los problemas con el equipo de cómputo (Q. Liu, 2017).

Liu y Gao (Q. Liu, 2017) realizó una encuesta de BIM actualmente utilizada en el campo O&M de la industria del transporte urbano ferroviario a nivel de proceso. Los desafíos más señalados que enfrenta la implementación de BIM en la industria del transporte son (falta de conocimiento, falta de fondos, archivos o datos grandes, etc.), los desafíos (Construction, McGraw Hill, 2012) más grandes identificados para la aplicación de BIM en las prácticas de O&M son las definiciones de los requisitos de datos, y para identificarlos en cuanto a quién y cuándo deben de proporcionarse los datos durante todo el ciclo de vida del proyecto.

Por otra parte, Liu y Gao (Q. Liu, 2017) declaró que debido a que los modelos BIM siempre experimentan cambios dramáticos durante las etapas del proyecto en términos de versiones anteriores, nivel de información, finalidad del modelo y responsabilidades de las diferentes partes para integrar varios modelos de distintas disciplinas, los propietarios enfrentan muchos más desafíos cuando usan BIM para O&M. "Borrmann *et al.* (A. Borrmann T. K., 2015) señaló que "un desafío importante

que se debe estudiar más, es la aplicación más estandarizada del nivel de detalle (LoD) en instalaciones de infraestructura lineal.

Los desafíos relacionados con la tecnología se mitigarán con la evolución de la misma tecnología a lo largo del tiempo (actualización del *software* con nuevas funciones, mejor funcionalidad, características mejoradas, etc.). Los desafíos relacionados con el uso de la tecnología se pueden mitigar también, con capacitación y educación adecuadas. Con respecto al esquema de intercambio de datos e interoperabilidad, debe existir un soporte hacia un estándar de información de la industria, como IFC, NIEM o uno que integre ambos. Por ejemplo, la terminología, simbología e incluso las definiciones pueden plasmarse en un modelo de información a detalle (como el NIEM) que podría utilizarse en las definiciones de vista de modelo definidas por IFC.

La falta de interoperabilidad todavía es uno de los principales desafíos técnicos que enfrenta la industria de la Ingeniería y Construcción, en la que una gran cantidad de proyectos Estatales y de investigación han intentado resolverlo. La interoperabilidad se puede definir como la capacidad de un sistema para trabajar con otros sistemas sin labores adicionales por parte del usuario final, especialmente al intercambiar información entre los sistemas (Costin, 2016).

La finalidad de la interoperabilidad es que no se presenten errores, omisiones o pérdida de datos cuando la información se transfiera de una aplicación a otra. La interoperabilidad de *software* y plataformas distintas siéndose considera un aspecto importante por mejorar. La transferencia de datos es por sí mismo un requisito importante en el establecimiento de proyectos de gran complejidad que requieran el almacenamiento y manipulación de gran cantidad de datos, ya que deben ser profundos en la semántica y la geometría.

Existe gran cantidad de opciones en herramientas de *software* de las cuales se dispone en el mercado para diversas necesidades del modelado y del desarrollo de Obras, por ejemplo, planificación, diseño geométrico, diseño estructural, diseño de

sistemas, estimación de cantidades y costos, simulación energética, fabricación, administración de proyectos de construcción y operaciones y mantenimiento. Sin embargo, el desarrollo de estas herramientas digitales para albergar los diversos aspectos de una estructura, en muchos casos se abordan de manera separada sin tener en cuenta las complicaciones que se surgen al crear múltiples fuentes de datos (S.S. Chen, 2016).

Los proyectos de viales requieren de igual manera comunicación frecuente, y por lo tanto la interoperabilidad de *software* debe mejorar. Aspectos como excesivas solicitudes de información (N. Ali, 2014), o trámite de cambios al diseño. Cuando en un mismo proyecto, existen varias plataformas informáticas son causa de problemas durante la transferencia y el intercambio de los datos generados.

En 2002, el costo de la interoperabilidad inadecuada en la industria de la Ingeniería y Construcción en los Estados Unidos, solo, se estimó en más de quince mil millones de dólares por año (M. Gallaher, 2004). Con el aumento de las herramientas y la tecnología de *software*, esta cantidad conservadora hace más de una década podría ser sustancialmente mayor en dólares de hoy. La ausencia de interoperabilidad eficiente entre las soluciones de modelado 3D repercute en que los usuarios no obtengan todo el beneficio de la metodología.

2.2.4.2 Desafíos en el proceso

Los desafíos atinentes al proceso incluyen la necesidad de optimizar el proceso complejo de desarrollo de proyectos de infraestructura de transporte existente, en todo el ciclo de vida de este, con la aplicación de BIM. Los cambios en los roles, cambios en el tipo de participación y la responsabilidad que los interesados asumen en el proyecto de infraestructura y la actualización de los términos del contrato para especificar precisamente los roles y las responsabilidades de los interesados son cambios importantes y un desafío a enfrentar para el proceso. La ausencia de algunos estándares o la adopción de estos a nivel global, diferencias en los métodos

así como en los idiomas contractuales para proyectos BIM y especialmente la adaptación de la metodología a las diferentes legislaciones estatales, ha sido un desafío importante que deberá vencerse para lograr la implantación total (Z. Aziz, 2017), (N. Ali, 2014), (S. Vitasek, 2017), (B. Fanning, 2014), (Q. Liu, 2017), (A. Omoregie, 2016). Hay muchas herramientas, *software* y formatos que funcionan de manera independiente; sin embargo, la utilización y la comprensión requieren mucho tiempo y pueden generar errores e interrumpir el proceso comercial. Por lo tanto, se recomienda que el desarrollo y el seguimiento de estándares y definiciones estrictas ayuden a simplificar el proceso comercial, como se describe.

2.2.4.3 Desafíos relacionados con la mentalidad

Los desafíos relacionados con la mentalidad se basan en la dificultad de aceptación al cambio por parte de los participantes en el proyecto, sobre cómo tornar el proceso a un enfoque de colaboración para los proyectos de infraestructura, con una modalidad de entrega distinta, en cómo capacitar a las partes interesadas del proyecto de infraestructura para usar la aplicación relacionada con BIM, o bien, el cómo enfrentar la percepción de si en una empresa se adopta BIM. se deberán gestar cambios en el equipo de trabajo con la eventual reducción de personal. Las barreras institucionales, como las resistencias o la falta de recursos para cambiar, también son grandes desafíos para la adopción de BIM (Z. Aziz, 2017), (A. Bradley, 2016), (P. Pakkala, 2017), (B. Sankaran J. F.-M., 2016), (Q. Liu, 2017), (F.A. Al-Shalabi, 2015), (F.G.B. Blanco, 2014).

La capacitación generalizada a la organización sobre las tecnologías y los métodos es una herramienta importante para ayudar a mitigar tales limitaciones. Se recomienda revisar los estudios de caso y los resultados de los proyectos para ayudar a tener una mejor idea de las tecnologías y métodos, así como aumentar la confianza por parte del equipo, y se valore la importancia del aprendizaje sobre para el uso de metodologías alternativas.

Los desafíos de mentalidad, también se presentan en el ejercicio generalizado de la profesión, para profesionales independientes. Por lo que es indispensable, la capacitación profesional abierta.

2.2.4.4 Desafíos legales

Los desafíos legales se resumen en la falta de uniformidad para las cláusulas contractuales respecto a uso de la firma digital, el sellado y el modelo entregable, integridad de los datos durante la transferencia, la confidencialidad de la información y las complicaciones para activar las pólizas de seguro profesional para cubrir las responsabilidades de las partes interesadas (F.A. Al-Shalabi, 2015), (D. Kitsakis, 2017).

Gristina *et al.* (S. Gristina, 2016) discutió cuestiones legales y desafíos relacionados con la implementación de inventario de carreteras basados en SIG 3D, llamados *Road Cadastre*, un inventario de carreteras italiano según lo establecido por la ley. Por ejemplo, Gristina *et al.* (S. Gristina, 2016) declaró que el modelo físico para el catastro de carreteras debe consistir en una red, multiusuario, sistema cliente-servidor, basado en una base de datos relacional (D. Kitsakis, 2017) y un SIG, que permite la representación del mapa del área y el gráfico de la red de carreteras en tres niveles diferentes de detalle.

Los principales desafíos sobre aspectos legales y de responsabilidad más importantes fueron resumidos en (R. Eadie, 2015), y las preguntas claves que se deben de considerar al redactar los contratos de diseño y construcción están listados. Sobre la base de los problemas y las preguntas referenciados atrás, fueron propuestos elementos cruciales para adaptar el marco legal al nuevo tipo de contrato (por ejemplo, propiedad del modelo digital, distribución del riesgo, propiedad intelectual, activación de seguros y trazabilidad) para la adopción de BrIM y BIM en la construcción en los Estados Unidos.

Los problemas legales actuales relacionados con la propiedad intelectual y la responsabilidad del modelado en la industria de la construcción también pueden ser aplicados a la industria del transporte. El futuro debe abordar estos problemas, como declarar la propiedad y la responsabilidad de los datos en los contratos. Esto es clave para que la adopción de BIM en la industria del transporte se complete con vacíos. Una recomendación es la creación de un plan de ejecución BIM para cada proyecto, que describirá específicamente la propiedad, los derechos y las obligaciones de todas las partes que crean y usan los datos.

En Costa Rica, una de las principales dificultades legales se presenta en los procesos de expropiaciones, ya que la Ley no faculta a la entidad o al Desarrollador, para poder ejecutar el proceso de una manera ágil y con conocimiento fundamentado de plazos razonables para la liberación del derecho de vía. Sino que, este proceso es muy lento e incierto.

2.2.4.5 Retos del retorno de la inversión

Los desafíos del retorno de la inversión (ROI) surgen de manera natural a la adopción de la tecnología, ya que implementar un nuevo proceso, apoyado en herramientas tecnológicas puede suponer un aumento de la inversión inicial de la Organización o del proyecto para la adquisición de *software* habilitado para BIM, la adquisición de *hardware* para operar el *software*, la actualización de los sistemas de tecnologías de la información actuales, la educación del equipo de proyecto, el ajuste en los métodos y variación al tipo de entrega de proyectos actual, etc. Como las tecnologías BIM pueden ser costosas, la inversión inicial ha sido una preocupación para algunas partes interesadas, esto ha sido analizado por (Z. Aziz, 2017), (Miyamoto, 2016), (L.R. Tawelian, 2016), (A. Omoregie, 2016), sin embargo al margen inversión inicial, debe valorarse los beneficios implícitos y los réditos económicos a corto plazo que el mismo puede generar, para que el análisis considere un marco completo de costo – beneficio.

Hay algunos líderes de la industria que tienen el capital para convertirse en los pioneros para mostrar los beneficios de las tecnologías. El efecto de impulsar el uso de BIM en obra pública y específicamente en infraestructura vial, puede generar progresivamente la adopción de la metodología en la industria, que ocasionará que el mercado eventualmente reducirá los costos y aumentará la accesibilidad a la tecnología para que el resto de la industria lo implemente.

3 Capítulo 3 Metodología

La metodología seguida para la elaboración del proyecto se muestra en la Figura 1.

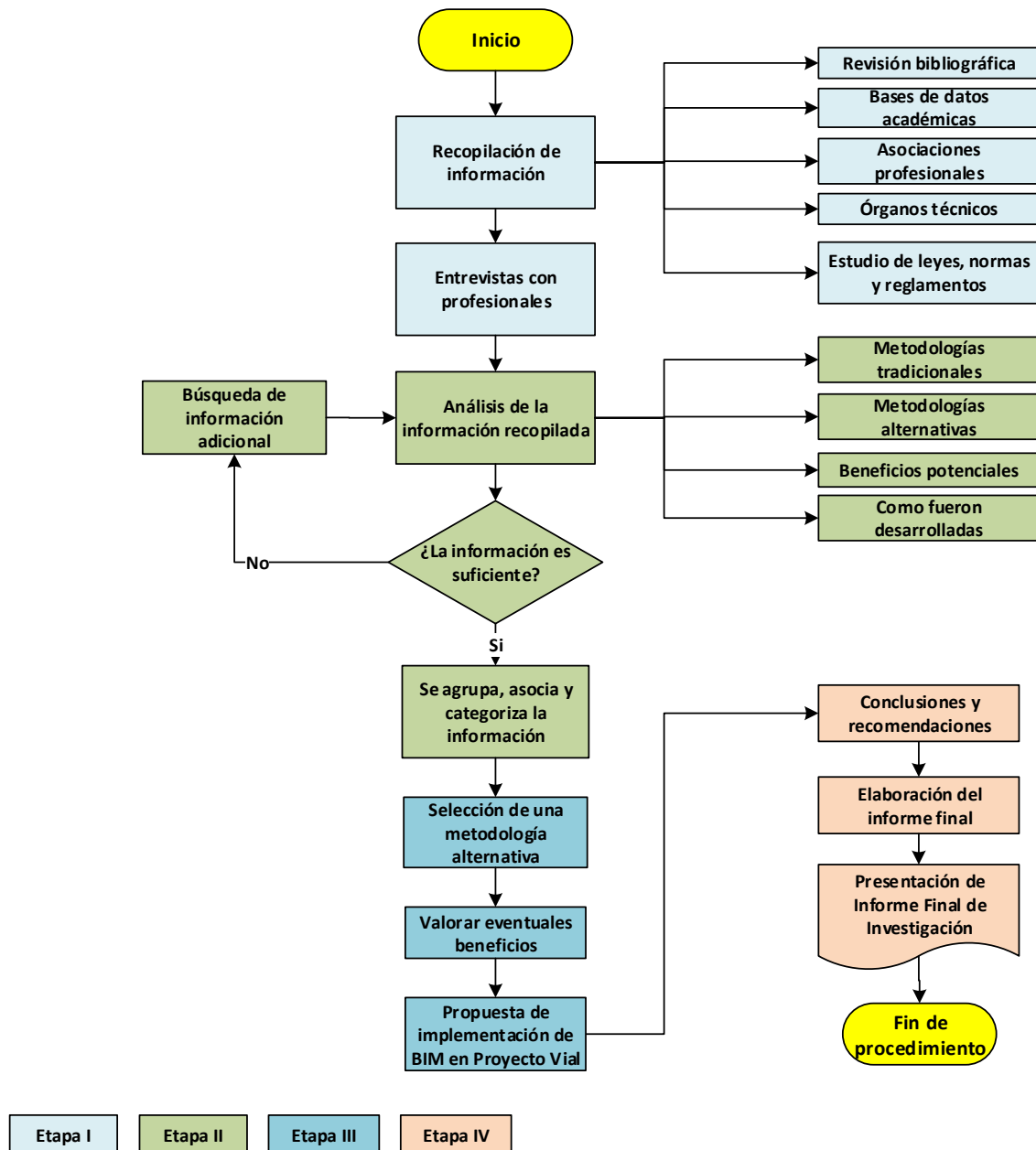


Figura 5 Metodología de trabajo para el proyecto de investigación.

La metodología se dividió en cuatro etapas; la primera de estas fue una investigación exhaustiva para obtener toda la información posible principalmente por medio de fuentes profesionales, institucionales y académicas de bases de datos. La información recopilada en primera instancia trata sobre cuáles son los principales factores que históricamente han afectado la eficiencia y la eficacia en el desarrollo de los proyectos viales en Costa Rica.

Para la recopilación de información se abarcaron las siguientes fuentes:

- i. Bases de datos institucionales de Costa Rica, tales como la Contraloría General de la República (CGR), el Ministerio de Economía Industria y Comercio (MEIC), el Consejo Nacional de Vialidad, etc.
- ii. Información relacionada de los Poderes Ejecutivo y Legislativo.
- iii. Asociaciones profesionales nacionales e internacionales de renombre, tales como el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA), Asociación Americana de Ingenieros Civiles (por sus siglas en inglés; ASCE), Federación Internacional de Ingenieros Civiles (FIDIC), etc.
- iv. Órganos técnicos internacionales.
- v. Organismos corporativos.
- vi. Bases de datos académicas nacionales e internacionales.

De igual manera, dicha búsqueda de información se asoció con las principales acciones que ha ejecutado el Gobierno de la República en los últimos años y a la vez conocer el estado actual de la problemática de manera más clara.

Posteriormente, se profundizó acerca de experiencias o tendencias que se han desarrollado en otros países y que pudieran ser aplicables a nuestra realidad nacional. Para ello se contempló lo siguiente:

- i. ¿Por qué Costa Rica aparentemente avanza tan lento en el desarrollo de infraestructura vial?

- ii. ¿Cómo se ejecutan los proyectos de infraestructura en los países líderes a nivel mundial en esta materia?
- iii. ¿Cuáles son las últimas tendencias para la administración de proyectos a nivel mundial?
- iv. ¿Qué debe llevar a cabo Costa Rica como país para ser eficaz y eficiente en el desarrollo de proyectos de construcción de obra vial?

Dentro de esta etapa se planteó la entrevista a tres profesionales con reconocida experiencia relacionada a metodologías de ejecución de obras como en el desarrollo de obra pública con participación en proyectos de infraestructura vial. Lo anterior, fue con el objetivo de conocer los criterios con respecto a los principales problemas que enfrenta el país; de manera que, la ejecución de este tipo de proyectos sea ágil y así, se diera respuesta a soluciones para mejorar este sector de la construcción en el ámbito nacional.

La segunda etapa consistió en la revisión y análisis de contenido de toda la información pertinente encontrada. Se analizaron los principales hallazgos. Asimismo, se seleccionaron tres posibles causas principales que incidieron negativamente en el desarrollo de este tipo de proyecto. Además, se caracterizó cada una detalladamente.

La tercera etapa consistió en plantear una estrategia que potencialice una metodología alternativa para la administración de proyectos y para el desarrollo de proyectos de infraestructura vial en el país. También, se detallaron los beneficios eventuales que podrían generarse de manera cualitativa, así como también, los requisitos y los pasos a seguir para su implementación o promoción en el país. Para lo anterior, se ejecutó un análisis de la información y del contenido recopilado.

La estrategia incluyó la elaboración de una guía para la implementación de dicha metodología en el desarrollo de los futuros proyectos; de manera que, eventualmente pueda ser considerada incluso una política pública. La solución se

basó en una propuesta metodológica integral que mejore los principales factores de incidencia negativa identificados.

El enfoque de esta investigación se considera de carácter mixto, ya que cuenta con aspectos cualitativos al recolectar información de casos existentes y llevar a cabo el análisis y el planteamiento de la hipótesis. Sin embargo, algunos de los instrumentos utilizados contaron con un componente cuantitativo; es decir, se consideraron valores numéricos a la información recolectada. Se partió de elementos de categorías cualitativas hacia una herramienta que planteó su utilización de manera cuantitativa.

Dentro de la propuesta de una herramienta para la implementación de la metodología en diferentes escenarios de un proyecto de obra pública de infraestructura vial se requirió realizar en primera instancia una identificación y caracterización de los esquemas de desarrollo de infraestructura pública a partir de tecnologías digitales en los países más desarrollados a nivel mundial, para posteriormente, analizar la aplicabilidad de dichas tecnologías en Costa Rica. Por este motivo se considera que la investigación es de carácter mixto.

3.1 Entrevista semiestructurada

A partir de un cuestionario base, esta herramienta permitió, que el entrevistado y el entrevistador entablaran un diálogo que posibilitó conocer a profundidad las percepciones y conocimientos del profesional frente a un entorno, realidad o problema.

Esta es una herramienta cualitativa porque su estructura facilita que el entrevistado brinde su visión con respecto a las temáticas planteadas sin necesidad de que existan apoyos o soportes estadísticos sobre las cuales deba fundamentar su parecer.

Las entrevistas diseñadas son semiestructuradas, ya que se basan en una guía de preguntas previamente establecida y que abarcan los temas de mayor interés para la investigación. Se realizaron preguntas abiertas, que pueden expresar sus

opiniones, matizar sus respuestas, e incluso desviarse de la guía inicial establecida, siempre que los temas tuvieran relación con la temática, o bien, que pudieran aportar información de interés.

3.2 Elaboración de la herramienta

Por un lado, a partir de la información recopilada, se identificó la presencia de una serie de aspectos en los cuales las distintas fuentes consultadas coincidieron, como las principales causas o características, que inciden en que los proyectos e infraestructura vial en Costa Rica se ejecuten de forma deficiente o incorrecta. Estas características son catalogadas como deficiencias o malas prácticas que deben mejorarse o eliminarse.

Por otro lado, se realizó una identificación entre las deficiencias antes señaladas y las posibilidades de aplicación de BIM para mitigar o eliminar los resultados adversos de dichas deficiencias. Para facilitar la interpretación de la relación entre ambos enfoques, se presenta la tabla 5.

La matriz de aplicabilidad tiene el objetivo de poder identificar cuál es la potencialidad con la que cuenta un determinado proyecto para implementar la metodología BIM. La descripción detallada de la composición de la matriz y las instrucciones de su uso se presentan en el apartado 4.1.1.

4 Capítulo 4 Resultados y análisis

4.1 Aplicabilidad de BIM en Costa Rica

A partir de la información recopilada, se identificó la presencia de una serie de aspectos en los cuales las distintas fuentes consultadas coincidieron, como las principales causas o características, que inciden en que los proyectos e infraestructura vial en Costa Rica se ejecuten de forma deficiente o incorrecta. Estas características son catalogadas como deficiencias o malas prácticas que deben mejorarse o eliminarse.

Por otro lado, como se apuntó, se realizó una identificación entre las deficiencias antes señaladas y los posibles beneficios en caso de de aplicar de BIM para mejorar los resultados adversos de dichas deficiencias. Para facilitar la interpretación de la relación entre ambos enfoques se presenta la tabla 5 adelante.

Tabla 5 Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica

Dimensión	Característica	Descripción de características identificadas	Aplicabilidad BIM
Tabla 5. Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica			
Técnico	Capacidad y conocimiento de los Profesionales	Falta de capacitación de los funcionarios de las instituciones públicas.	No aplica
Administrativa	Prefactibilidad	No se ejecutan estudios de factibilidad.	Los estudios de factibilidad se pueden desarrollar sobre la plataforma BIM.
		Los Estudios de factibilidad desarrollados son muy básicos, imprecisos u obsoletos. Incluir un verbo.	BIM promueve que los Estudios de Factibilidad tengan mayor grado de detalle y sean más precisos

Dimensión	Característica	Descripción de características identificadas	Aplicabilidad BIM
Tabla 5. Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica			
	Planificación	Ausencia de sistema de planificación.	El uso de BIM integra los profesionales de distintas áreas en etapas tempranas, por la filosofía misma de la metodología.
		Deficiente proceso de comunicación.	El uso de modelos 3D puede ser utilizado para facilitar la interpretación del proyecto por parte de la población.
		No se consideran lecciones aprendidas en la planificación de proyectos.	El Modelo BIM integra toda la información del proyecto, mediante un Modelo digital As Built. Los programas para el manejo documento son compatibles con BIM.
		Deficiente abordaje social.	Permite integrar el abordaje social en la base de datos del proyecto.
	Diseño	Diseño deficiente o incompleto.	BIM puede mejorar considerablemente la calidad del diseño, al promover la integración de las áreas del proyecto en etapas tempranas, aplicar criterios de constructibilidad

Dimensión	Característica	Descripción de características identificadas	Aplicabilidad BIM
Tabla 5. Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica			
			y automatizar la detección de errores en el diseño.
		Mala estimación de los costos directos del presupuesto por parte de la Administración.	BIM permite incorporar al modelo toda la información relativa a costos de los insumos, estimados de manera precisa las cantidades y asocia las características de los materiales
		Ausencia de trazabilidad.	El modelo puede registrar la información del proyecto en todo su ciclo de vida, con lo cual existe una adecuada trazabilidad de la información.
	Social	Participación de la población en el proceso.	BIM facilita la generación y la precisión de la información para que los procesos socio ambientales tenga mejores resultados.
		Involucramiento de sectores clave.	
		Socialización de los impactos del proyecto.	
		Falta de transparencia.	Al haber mayor trazabilidad del proceso, de la información y resultar un proyecto más preciso. Existe menor variabilidad en la ejecución de este, se

Dimensión	Característica	Descripción de características identificadas	Aplicabilidad BIM
Tabla 5. Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica			
			promueve la participación de los diferentes actores, las partes pueden acceder al modelo a tiempo real en cualquier momento con lo cual mejora la transparencia.
		Deficiente proceso de la comunicación.	El uso de modelos 3D puede ser utilizado para facilitar la interpretación del proyecto por parte de la población.
	Bancabilidad	Falta de atractivo de inversión extranjera.	BIM mejora la precisión de los resultados del proyecto en sus etapas iniciales, que disminuye riesgos inherentes por la calidad del diseño y con la estimación real de la obra. Al disminuir riesgos se puede promover una mayor participación de inversores.
		Alto riesgo de inversión en etapas tempranas del proyecto.	BIM puede disminuir riesgos directos sobre la calidad del diseño y estimación del costo.

Dimensión	Característica	Descripción de características identificadas	Aplicabilidad BIM
Tabla 5. Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica			
	Proceso de contratación	Sistema de evaluación económica de los proyectos.	Existen modelos de contratación, compatibles con BIM que promueven la participación del constructor en etapas tempranas, con lo cual esta mejora la calidad del diseño a cambio de obtener beneficios económicos reales.
		Deficiencias en relación con la estimación del presupuesto de la Administración.	Al contar con un diseño de mejor calidad, más detallado, con una estimación más precisa y al poder estimar los costos directos del proyecto con base en un modelo digital 3D, la precisión de la estimación puede ser potencialmente mas precisa.
		Falta de incentivos al Contratista para mejorar el diseño en cuanto a calidad, reducir costos o reducir plazos.	Existen modelos de contratación, compatibles con BIM que promueven la participación del constructor en etapas tempranas, con lo cual tiene mayores incentivos para

Dimensión	Característica	Descripción de características identificadas	Aplicabilidad BIM
Tabla 5. Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica			
			mejorar la calidad del diseño a cambio de obtener beneficios económicos reales, a través de ingenierías de valor.
	Supervisión y administración contractual	Ausencia de contratos de supervisión.	-
		Mala supervisión de la calidad.	BIM facilita la verificación de los alcances de la contratación para una adecuada supervisión. Esto se puede lograr al contar con modelos digitales que contienen información adicional fácil de interpretar por parte de los profesionales encargados de la Supervisión. Permite además, el uso de aplicaciones tecnológicas de última generación que ayudan al proceso.
		Mala aplicación de las cláusulas contractuales.	-
	Cierre y finiquito del Contrato	Deficiente proceso de la documentación.	BIM mejora la integración de la información y es compatible con programas específicos para el proceso

Dimensión	Característica	Descripción de características identificadas	Aplicabilidad BIM
Tabla 5. Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica			
			de registro documental del proyecto en una interface amigable.
		No se registran lecciones aprendidas.	La información “As Built” que contiene el modelo puede ser fácilmente exportada y conocida por la administración para su uso en proyectos futuros.
	Operación y mantenimiento	Falta de un plan de mantenimiento preventivo.	La mejora en el manejo documental del proyecto y la integración en el modelo de la información generada durante las fases de diseño y construcción, facilitan el acceso a la información técnica necesaria para una adecuada planificación del mantenimiento.
		Falta de un sistema de gestión vial integrado.	Implementación de BIM, con SIG y programas de manejo de Activos compatibles con BIM.
		Falta de un sistema de gestión de puentes.	Implementación de BrIM.
		Ausencia de una base de datos completa de proyectos e inversiones.	BIM puede complementarse satisfactoriamente con

Dimensión	Característica	Descripción de características identificadas	Aplicabilidad BIM
Tabla 5. Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica			
			bases de datos financiero-contables para realizar intercambio de información.
		Falta de trazabilidad de procesos e inversiones.	La integración de la información y la mejora en el manejo documental promueve mayor trazabilidad en las diferentes etapas del proyecto y claridad en las inversiones.
	Actualizar leyes existentes	Ley de contratación administrativa.	BIM se puede utilizar con la Ley de Contratación Administrativa actual, sin embargo, para que su uso sea óptimo se debe ajustar y ampliar con cláusulas específicas.
		Ley de expropiaciones	BIM ofrece beneficios directos para optimizar y precisar de mejor manera las áreas adicionales que requiere el Proyecto, no obstante, no aporta beneficios directos a la condición legal adversa para las expropiaciones.
		Ley de concesiones	-

Dimensión	Característica	Descripción de características identificadas	Aplicabilidad BIM
Tabla 5. Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica			
Político	Esquema de Contratación	Concepción errónea de APP.	La ejecución de APP y el desarrollo de proyecto con BIM es aplicable con todos los beneficios tanto para la administración como para el Concesionario.
		Poco uso de APP	-
	Nivel de inversión	Deficiente inversión del Estado en infraestructura.	-
	Capacidad institucional	Débil capacidad institucional para ejecución de proyectos.	La implementación de BIM requiere complementariamente una fuerte capacitación del personal técnico y cambios organizacionales para hacerle frente a este modelo.
	Modelo de desarrollo	Fideicomiso, Asociaciones Público-Privadas Tradicional, Esquema de transferencia de riesgos.	BIM puede generar beneficios y es aplicable bajo cualquier esquema de desarrollo.
	Priorización de proyectos	Plan de desarrollo a corto plazo.	La ejecución de etapas preliminares con BIM, genera una base técnica más precisa y confiable para fundamentar adecuadamente la toma de

Dimensión	Característica	Descripción de características identificadas	Aplicabilidad BIM
Tabla 5. Aplicabilidad de BIM a deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial en Costa Rica			
			decisiones acerca de los proyectos a ejecutar. No obstante, este beneficio dependerá de la anuencia y responsabilidad política.

4.1.1 Matriz de valoración de características BIM aplicables

El presente estudio propone una herramienta para que diferentes actores, tales como directores de proyecto, departamentos de proveeduría, unidades ejecutoras de proyectos, Asociaciones Público Privadas, desarrolladores, entre otros, puedan valorar las características BIM aplicables a proyectos de infraestructura vial en Costa Rica, con el objetivo de poder identificar cual es la potencialidad con que cuenta un determinado proyecto para implementar la metodología BIM en la ejecución de alguna de las etapas del ciclo de vida de este, por medio de un resultado cuantitativo que se clasifica en rangos de valores predeterminados de puntuación.

Para poder categorizar las características BIM más importantes, que se deben aplicar a la realidad nacional y que la implementación de la metodología se enfoque sobre las principales deficiencias en la ejecución de proyectos públicos de infraestructura, se propone una matriz de valoración, que es una herramienta propuesta como resultado directo de la investigación cualitativa realizada. Los aspectos encontrados son producto del análisis de la información derivada de la metodología propuesta. Se explica en los siguientes apartados como está compuesta y cuál es la mecánica para su uso.

4.1.1.1 Estructura

La matriz se compone de 8 columnas, que se enumeran de la 1 a la 8 de izquierda a derecha, según se muestra en la figura 2.

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Aspecto	Dimensión	P	Característica	C	Valor	S1	S2

Figura 6 Composición de columnas de la matriz de valoración

En la tabla 6 se presenta la descripción de cada subtítulo de las columnas.

Tabla 6 Estructura de matriz de valoración BIM

#	Nombre	Descripción
Tabla 6 Estructura de matriz de valoración BIM		
C1	Aspecto	Se presentan dos aspectos; oportunidades y limitaciones. Oportunidades se podrían considerar beneficios y las limitaciones por el contrario; serían desventajas o restricciones. La matriz de oportunidades se puede observar en la Tabla 24 Matriz de oportunidades - plantilla y la matriz de limitaciones en la Tabla 25 Matriz de limitaciones - plantilla, ambas incluidas en el apéndice No. 01.
C2	Dimensión	Son 4 dimensiones: 1. Técnico, 2. Administrativo, 3. Económico y 4. Legal, que son las mismas para ambos aspectos. Son las principales áreas en que se pueden subdividir las características aplicables.
C3	Índice P	Es el puntaje asignado por el evaluador a cada uno de las dimensiones, se obtiene de la <u>Tabla 26 Valoración del índice P para oportunidades</u> y la <u>Tabla 27 Valoración del índice P para limitaciones</u> .
C4	Característica	Son las principales características que se pueden considerar dentro de cada dimensión con algún nivel de influencia en la aplicabilidad de BIM en el proyecto. Cada una de las características incluidas en la matriz corresponde a un concepto general que se explica con detalle en la tabla No. 25, se sugiere no debe interpretarse de forma aislada. Las características también pueden entenderse como criterios o particularidades

#	Nombre	Descripción
Tabla 6 Estructura de matriz de valoración BIM		
C5	Índice C	Es el puntaje asignado por el evaluador a cada una de las características dentro de cada dimensión, se obtiene de la <u>Tabla 28 Valoración del índice C para oportunidades</u> y de la <u>Tabla 29 Valoración del índice C para limitaciones</u> .
C6	Valor	Es la calificación de cada característica obtenida de combinar los índices P y C. La fórmula matemática es: Oportunidades: $\text{Valor} = C \times P$ Limitaciones: $\text{Valor} = (5 - C) \times P$
C7	S1	Es el resultado de la sumatoria de los 5 valores de cada dimensión
C8	S1	Es el resultado de la sumatoria de los 4 factores de cada aspecto

4.1.1.2 Objetivo

La matriz de aplicabilidad tiene como objetivo poder identificar cual es la potencialidad con que cuenta un determinado proyecto para implementar la metodología BIM en la ejecución de alguna de las etapas del ciclo de vida de este.

4.1.1.3 Instrucciones de uso al evaluador

La matriz se ha dividido en dos aspectos, el primero engloba el aspecto de oportunidades y el segundo el aspecto de las limitaciones, para la implementación de la metodología BIM en un proyecto específico de infraestructura vial. Cada matriz se ha estructurado de manera jerárquica en tres niveles:

El nivel 1 es el aspecto, el primero corresponde a las oportunidades, o beneficios potenciales y el segundo aspecto, corresponde a las limitaciones o restricciones; que deben tenerse en cuenta al aplicar la metodología BIM al proyecto a evaluar.

El nivel 2 son las cuatro dimensiones en las que se divide cada aspecto; 1. Técnico, 2. Administrativo, 3. Político y 4. Legal. Estas dimensiones son las 4 grandes áreas en que se debe evaluar el proyecto. Para la evaluación de las dimensiones se utilizará la columna (P) y podrá o no habilitarse su uso según el tipo de usuario evaluador de

acuerdo con los criterios establecidos en la Tabla 8 Clasificación del evaluador. El evaluador será clasificado a partir del conocimiento que tenga sobre la metodología BIM. Las dimensiones deberán calificarse y utilizar la Tabla 26 Valoración del índice P para oportunidades y la Tabla 27 Valoración del índice P para limitaciones.

Y el tercer nivel jerárquico corresponde a las características. Cada dimensión se ha subdividido en 5 principales características aplicables, estas son distintas para cada dimensión. El evaluador de la matriz deberá calificar las características en la columna (C), basándose en la Tabla 28 Valoración del índice C para oportunidades y tabla 20 Valoración del índice C para limitaciones.

La columna V, indica el puntaje resultante para cada característica, que se obtiene al multiplicar los índices $P \times C$. La Columna S1 es la sumatoria de las calificaciones V para cada dimensión y la columna S2 es la sumatoria de los 4 valores obtenidos en S1 para cada aspecto.

El resultado final de la evaluación del proyecto se obtiene al sumar los dos valores obtenidos en la columna S2, que son el resultado de la evaluación de oportunidades y de limitaciones. Para que el evaluador pueda contar con un parámetro de valoración del resultado total obtenido, este resultado debe ser ubicado dentro de cinco rangos predefinidos de valores de la Tabla 7 Rangos de puntuación en evaluación de proyectos, a partir de la cual, el evaluador podrá obtener conclusiones objetivas de las necesidades del proyecto para implementar la metodología BIM.

Es de particular para el evaluador que, el índice C está determinado por el nivel de afectación tiene cada característica en la evaluación, por ejemplo; en las oportunidades entre mayor sea el beneficio potencial que se considere que se tendrá para cada característica, esta se calificará con una puntaje mayor y por el contrario, en el caso de las limitaciones, las características que se considere que tendrá un menor beneficio y que por el contrario serán limitantes se calificarán con el puntaje más bajo, para lo cual, entre menos beneficia sea (o más negativa, limitante o restrictiva) menos será el puntaje a asignar. Esta condición se puede resumir de la siguiente manera; entre mayores beneficios positivos se obtenga para cualquier característica mayor será el puntaje a

asignar, y contrariamente, cuando menos beneficio positivo se tiene para cualquier característica el puntaje a asignar será menor.

Una posibilidad alternativa para la calificación del índice C, es utilizar valores positivos (Valor 0 para la menos positiva y 5 para la más positiva) para las oportunidades y valores negativos para las limitaciones (valor -5 para la mas negativa y 0 para la menos negativa). No obstante, esto implicaría realizar una calibración de la tabla 7, para definir los rangos de puntuación.

Tabla 7 Rangos de puntuación en evaluación de proyectos

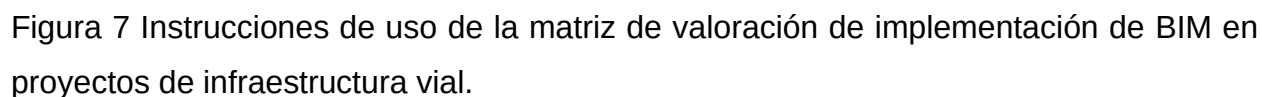
Escala de puntuación	Rango	Descripción
1	481 -600	La implementación de BIM será beneficiosa, no es necesario realizar medidas correctivas.
2	361-480	La implementación de BIM será beneficiosa, se recomienda realizar medidas correctivas simples a corto plazo para algunas características.
3	241-360	La implementación de BIM puede ser beneficiosa, es necesario realizar medidas correctivas simples a corto plazo para algunas características.
4	121-240	La implementación de BIM no dará resultados positivos significativos. Se deben realizar medidas correctivas fuertes a corto plazo.
5	01-120	No se recomienda implementar BIM

A partir del rango de puntaje en el cual se ubique el proyecto se podrá concluir la conveniencia de implementar la metodología en el proyecto según las condiciones con las que fue evaluado. Además, en caso de ser conveniente, se podrá conocer y analizar las dimensiones y las características que deberán ser ajustados a efectos de aumentar la potencialidad de aplicación de la metodología en el proyecto. Los rangos son producto

de pruebas de diferentes casos extremos y además de un balance de la cantidad de aspectos encontrados que permite agrupar las calificaciones parciales.

Es posible que, como resultado del uso de la herramienta sobre proyectos específicos, sobre proyectos pertenecientes a una organización o bajo un contexto particular, se determine la necesidad de ajustar los rangos, con fundamento en valores estadísticos mayormente fundamentados.

Para una mayor facilidad en la interpretación del uso de la herramienta por parte de los usuarios, se presenta a continuación un diagrama de flujo que describe en procedimiento de llenado.



4.1.1.4 Clasificación del evaluador

Existirán dos tipos de evaluadores de la herramienta; el alto y el intermedio, y su clasificación será definida a partir de su nivel de conocimiento de BIM, según el siguiente criterio definido en la Tabla 8 Clasificación del evaluador.

Tabla 8 Clasificación del evaluador

Nivel de conocimiento de BIM	Requerimiento
Alto	Ha participado directamente en 1 o más proyectos viales similares al proyecto a evaluar con la metodología BIM, en la etapa de diseño, construcción y/u operación & mantenimiento y/o ha aprobado al menos un programa de capacitación con enfoque BIM a nivel Técnico o Máster.
Intermedio	Ha participado indirectamente en 1 o más proyectos viales similares al proyecto a evaluar con la metodología BIM en la etapa de diseño, construcción y/u operación & mantenimiento y/o ha aprobado cursos individuales de capacitación con enfoque en BIM.

El evaluador puede ser un equipo interdisciplinario que cuente con suficiente experiencia en ejecución de Proyectos Viales similares a los que se pretender evaluar (como grupo). Esta condición incluso es beneficiosa para el proceso de valoración de los proyectos a través del uso de la herramienta, ya que suma experiencias específicas para las diferentes dimensiones o especialidades que tiene influencia en la valoración.

4.1.1.5 Valoración de escenarios

Se han evaluado tres distintos escenarios mediante el uso de la Matriz de Aplicabilidad, estos corresponden a 4 contextos de ejecución particulares para un proyecto con la misma caracterización técnica. Para cada uno de los escenarios, se ha definido una serie

de supuestos y se han modificado algunos de estos, con la finalidad de evaluar cuáles de las dimensiones y características se ven afectados por las variables en el contexto.

A continuación, se presenta para cada escenario los supuestos particulares, se resaltan cuáles de estos han sido variados, la calificación particular y total de cada escenario y, por último, un análisis de contrastes entre algunos de estos escenarios.

Para efectos de este análisis se ha considerado un proyecto con características similares para los 4 escenarios planteados, sin embargo, para herramienta podría ser utilizadas en proyectos con características muy distintas a las utilizadas para este análisis. Por ejemplo, la herramienta podría utilizarse para analizar su utilización en proyecto de muy pequeña envergadura o con un presupuesto muy limitado; y las variables a ser evaluadas en la herramienta, consideran dicha condición para efectos del análisis a realizar en la valoración, por lo que el resultado, debería ser muy distinto.

Otro ejemplo, es que se pueden plantear escenarios o la herramienta puede ser utilizada en proyectos que se encuentren en cualquiera de las etapas del ciclo de vida. De la misma manera, la matriz considera variables que implicarían una valoración y un resultado muy distinto para cada proyecto que se evalúe.

4.1.1.5.1 Escenario uno

Tabla 9 Particularidades del escenario uno

No.	Particularidad	Descripción
Tabla 9 Particularidades del escenario uno		
1	Proyecto:	Diseño y construcción de la ampliación de un tramo de carretera de 20 km, que pasa de 2 a 4 carriles.
2	Etapas del proyecto:	Estudios de factibilidad y anteproyecto.
3	Organismo Ejecutor:	Fideicomiso.
4	Nivel de conocimiento del evaluador:	Intermedio, por lo cual se le asigna el mismo valor de influencia al índice P.
5	Requerimientos BIM:	No existe requerimiento en el Contrato de Fideicomiso para el uso de la metodología BIM. El Fideicomitente

No.	Particularidad	Descripción
Tabla 9 Particularidades del escenario uno		
		(propietario del proyecto), no ha hecho ninguna solicitud expresa para utilizar esta metodología.
6	Experiencia del personal:	El personal técnico tiene conocimiento básico en el uso de BIM, sin embargo, no ha sido un requerimiento técnico para la contratación del personal.
7	Experiencia de potenciales oferentes:	Se tiene conocimiento que las principales empresas en el mercado cuentan con experiencia en el uso BIM o pueden subcontratar los servicios profesionales especializados.
8	Lecciones aprendidas en proyectos similares:	No existen registros de proyectos similares ejecutados en el país que hayan utilizado esta metodología.
9	<i>Software</i> especializado:	No existe la disponibilidad de <i>software</i> BIM disponible en el equipo tecnológico.
10	Presupuesto asignado:	No existen partidas presupuestarias específicas destinadas a la capacitación del personal técnico en BIM y tampoco para la compra de <i>software</i> específicos compatibles.
11	Respaldo de la Dirección de proyecto:	El director de proyecto tiene conocimiento básico de la metodología BIM y está con total anuencia a que sea implementada en el proyecto.

Este proyecto consiste en la ejecución del diseño y construcción de la ampliación de un tramo de carretera de 20 km, que pasa de 2 a 4 carriles, a ser desarrollado mediante un Fideicomiso, para lo cual se dispone de una Unidad Ejecutora específica. La evaluación ha sido al inicio de la ejecución de los estudios de factibilidad y anteproyecto.

Tabla 10 Evaluación del escenario uno

Aspecto	Dimensión	P	Característica ¹	C	V	S1	S2
Tabla 10 Evaluación del escenario uno							
Oportunidades	Técnico	3	Planificación	5	15	63	231
			Calidad del diseño	4	12		
			Constructibilidad	3	9		
			Factibilidad	5	15		
			Modelo digital	4	12		
	Administrativo	3	Ciclo de vida	5	15	60	
			Estandarización	3	9		
			Toma de decisiones	4	12		
			Colaboración	4	12		
			Manejo documental	4	12		
	Económico	3	Productividad	4	12	63	
			Eficiencia en uso de recursos	4	12		
			Financiable	4	12		
			Costo del proyecto	5	15		
			Retorno de la inversión	4	12		
	Legal	3	Prevención de litigios	3	9	45	
			Recurso legal / apelación	3	9		
			Distribución de riesgos	3	9		
			Corrupción	3	9		
			Cumplimiento de normativa	3	9		
Limitaciones	Técnico	3	Interoperabilidad	3	6	36	144
			Pérdida en transferencia de datos	3	6		
			Falta de estándares	2	9		

¹ Cada una de las características incluidas en la matriz corresponde a un concepto general que se explica con detalle en la tabla No. 25, se sugiere no debe interpretarse de forma aislada.

Aspecto	Dimensión	P	Característica ¹	C	V	S1	S2
Tabla 10 Evaluación del escenario uno							
			Escala del modelo	2	9		
			Innovación en el sector	3	6		
	Administrativo	3	Estructura institucional	3	6	33	
			Recurso humano	2	9		
			Compromiso alta dirección	3	6		
			Contratación	3	6		
			Madurez de la metodología	3	6		
	Económico	3	Esquema de desarrollo	2	9	42	
			Aumento costos corto plazo	3	6		
			Falta de recursos	2	9		
			Nivel de inversión de los proyectos	2	9		
			Costo de inversión inicial	2	9		
	Legal	3	Leyes y reglamentos actuales	3	6	33	
			Falta contrato estándar	3	6		
			Reclamaciones y disputas legales	2	9		
			Propiedad intelectual	3	6		
			Responsabilidad profesional	3	6		
			Calificación total				375

4.1.1.5.2 Escenario dos

Tabla 11 Particularidades del escenario dos

No.	Particularidad	Descripción
Tabla 11 Particularidades del escenario dos		
1	Proyecto:	Diseño y construcción de la ampliación de un tramo de carretera de 20 km, que pasa de 2 a 4 carriles.
2	Etapas del proyecto:	Licitación del Diseño y Construcción.
3	Organismo Ejecutor:	Fideicomiso.
4	Nivel de conocimiento del evaluador:	Intermedio, por lo cual se le asigna el mismo valor de influencia al índice P.
5	Requerimientos BIM:	No existe requerimiento en el Contrato de Fideicomiso para el uso de la metodología BIM. El Fideicomitente (propietario del proyecto), no ha hecho ninguna solicitud expresa para utilizar la metodología BIM.
6	Experiencia del personal:	El personal técnico tiene conocimiento básico en el uso de BIM, sin embargo, no ha sido un requerimiento técnico para la contratación del personal.
7	Experiencia de potenciales oferentes:	Se tiene conocimiento que las principales empresas en el mercado, cuentan con experiencia en el uso BIM o pueden subcontratar los servicios profesionales en BIM.
8	Lecciones aprendidas en proyectos similares:	No existen registros de proyectos similares ejecutados en el país que hayan utilizado esta metodología.
9	Software especializado:	No existe la disponibilidad de <i>software</i> BIM disponible en el equipo tecnológico.
10	Presupuesto asignado:	Se han destinado partidas presupuestarias específicas para la capacitación del personal técnico en BIM y para compra de equipo y licencias de <i>software</i> especializado.
11	Respaldo de la Dirección de proyecto:	El director de proyecto tiene conocimiento básico de la metodología BIM ha decidido utilizar BIM en todas las fases del proyecto y se utilizará un pliego de contratación que incluye un estándar de Plan de Ejecución del proyecto, para diseño y construcción.

El escenario dos presenta un proyecto que consiste en la ejecución del diseño y construcción de la ampliación de un tramo de carretera de 20 km, que pasa de 2 a 4 carriles, a ser desarrollado mediante un Fideicomiso, para lo cual se dispone de una Unidad Ejecutora específica. Es el mismo proyecto descrito en el escenario 1.

La particularidad del escenario 2 es que la evaluación se ha realizado en una etapa de ejecución del proyecto más avanzada, en diseño y construcción, además, algunas de las consideraciones han variado, según se explica a continuación:

1. La organización ha destinado en el presupuesto ordinario partidas especiales para capacitación en BIM al personal profesional, además de la compra de licencias de *software* compatible con BIM, para realizar las labores de control y seguimiento del modelo BIM que ejecute el contratista del diseño y construcción.
2. Se cuenta con el compromiso y respaldo de la alta gerencia para la aplicación de la metodología a partir del diseño y para las fases siguientes del proyecto.

Tabla 12 Evaluación del escenario dos

Aspecto	Dimensión	P	Característica²	C	V	S1	S2
Tabla 12 Evaluación del escenario dos							
Oportunidades	Técnico	3	Planificación	4	12	54	201
			Calidad del diseño	4	12		
			Constructibilidad	3	9		
			Factibilidad	3	9		
			Modelo digital	4	12		
	Administrativo	3	Ciclo de vida	4	12	48	
			Estandarización	3	9		
			Toma de decisiones	3	9		
			Colaboración	3	9		
			Manejo documental	3	9		

² Cada una de las características incluidas en la matriz corresponde a un concepto general que se explica con detalle en la tabla No. 25, se sugiere no debe interpretarse de forma aislada.

Aspecto	Dimensión	P	Característica²	C	V	S1	S2
Tabla 12 Evaluación del escenario dos							
	Económico	3	Productividad	4	12	48	
			Eficiencia en uso de recursos	3	9		
			Financiable	4	6		
			Costo del proyecto	3	12		
			Retorno de la inversión	3	9		
	Legal	3	Prevención de litigios	3	9	51	
			Recurso legal / apelación	3	9		
			Distribución de riesgos	4	12		
			Corrupción	4	12		
			Cumplimiento de normativa	3	9		
Limitaciones	Técnico	3	Interoperabilidad	3	6	36	153
			Pérdida en transferencia de datos	3	6		
			Falta de estándares	2	9		
			Escala del modelo	2	9		
			Innovación en el sector	3	6		
	Administrativo	3	Estructura institucional	3	6	39	
			Recurso humano	2	9		
			Compromiso alta dirección	2	9		
			Contratación	2	9		
			Madurez de la metodología	3	6		

Aspecto	Dimensión	P	Característica²	C	V	S1	S2
Tabla 12 Evaluación del escenario dos							
	Económico	3	Esquema de desarrollo	2	9	42	
			Aumento costos corto plazo	3	6		
			Falta de recursos	2	9		
			Nivel de inversión de los proyectos	2	9		
			Costo de inversión inicial	2	9		
	Legal	3	Leyes y reglamentos actuales	3	6	36	
			Falta contrato estándar	2	9		
			Reclamaciones y disputas legales	2	9		
			Propiedad intelectual	3	6		
			Responsabilidad profesional	3	6		
			Calificación total				357

4.1.1.5.3 Escenario tres

Tabla 13 Particularidades del escenario tres

No.	Particularidad	Descripción
Tabla 13 Particularidades del escenario tres		
1	Proyecto:	Diseño y construcción de la ampliación de un tramo de carretera de 20 km, que pasa de 2 a 4 carriles.
2	Etapas del proyecto:	Licitación del Diseño y Construcción.
3	Organismo Ejecutor:	Oficina de proyectos viales del Gobierno.

No.	Particularidad	Descripción
Tabla 13 Particularidades del escenario tres		
4	Nivel de conocimiento del evaluador:	Intermedio, por lo cual se le asigna el mismo valor de influencia al índice P.
5	Requerimientos BIM:	No existe requerimiento en la legislación o en la normativa institucional para el uso del BIM en proyectos públicos.
6	Experiencia del personal:	El personal técnico tiene conocimiento básico en el uso de BIM, sin embargo, no ha sido un requerimiento técnico para la contratación del personal.
7	Experiencia de potenciales oferentes:	Se tiene conocimiento que las principales empresas en el mercado, cuentan con experiencia en el uso BIM o pueden subcontratar los servicios profesionales en BIM.
8	Lecciones aprendidas en proyectos similares:	No existen registros de proyectos similares ejecutados en el país que hayan utilizado esta metodología.
9	<i>Software</i> especializado:	No existe la disponibilidad de <i>software</i> BIM disponible en el equipo tecnológico.
10	Presupuesto asignado:	Se han destinado partidas presupuestarias específicas para la capacitación del personal técnico en BIM y para compra de equipo y licencias de <i>software</i> especializado.
11	Respaldo de la Dirección de proyecto:	El director de proyecto tiene conocimiento básico de la metodología BIM ha promovido utilizar BIM en todas las fases del proyecto y se utilizará un pliego de contratación que incluye un estándar de plan de ejecución del proyecto, para diseño y construcción.

El tercer escenario presenta condiciones muy similares al segundo escenario, con la particularidad que el organismo ejecutor es la oficina de proyectos viales del Gobierno. Las consideraciones que han variado con respecto al escenario 2 son:

1. El organismo ejecutor es la oficina de vialidad.
2. La alta gerencia tiene conocimiento básico de BIM y ve conveniente implementarlo en el proyecto, lo cual ha promovido en el equipo técnico y en otras áreas de la

institución, su implementación, sin embargo, la decisión no depende únicamente de la alta dirección del proyecto.

Tabla 14 Evaluación del escenario tres

Aspecto	Dimensión	P	Característica ³	C	V	S1	S2
Tabla 14 Evaluación del escenario tres							
Oportunidades	Técnico	3	Planificación	4	12	54	174
			Calidad del diseño	4	12		
			Constructibilidad	3	9		
			Factibilidad	3	9		
			Modelo digital	4	12		
	Administrativo	3	Ciclo de vida	1	3	30	
			Estandarización	2	6		
			Toma de decisiones	2	6		
			Colaboración	2	6		
			Manejo documental	3	9		
	Económico	3	Productividad	3	9	42	
			Eficiencia en uso de recursos	3	9		
			Financiable	2	6		
			Costo del proyecto	3	9		
			Retorno de la inversión	3	9		
	Legal	3	Prevención de litigios	3	9	48	
			Recurso legal / apelación	3	9		
			Distribución de riesgos	3	9		
			Corrupción	4	12		
			Cumplimiento de normativa	3	9		
Limitaciones	Técnico	3	Interoperabilidad	3	6	36	135

³ Cada una de las características incluidas en la matriz corresponde a un concepto general que se explica con detalle en la tabla No. 25, se sugiere no debe interpretarse de forma aislada.

Aspecto	Dimensión	P	Característica ³	C	V	S1	S2
Tabla 14 Evaluación del escenario tres							
			Pérdida en transferencia de datos	3	6		
			Falta de estándares	2	9		
			Escala del modelo	2	9		
			Innovación en el sector	3	6		
	Administrativo	3	Estructura institucional	4	3	30	
			Recurso humano	3	6		
			Compromiso alta dirección	2	9		
			Contratación	3	6		
			Madurez de la metodología	3	6		
	Económico	3	Esquema de desarrollo	3	6	39	
			Aumento costos corto plazo	3	6		
			Falta de recursos	2	9		
			Nivel de inversión de los proyectos	2	9		
			Costo de inversión inicial	2	9		
	Legal	3	Leyes y reglamentos actuales	4	3	30	
			Falta contrato estándar	3	6		
			Reclamaciones y disputas legales	2	9		
			Propiedad intelectual	3	6		
			Responsabilidad profesional	3	6		
			Calificación total				309

4.1.1.5.4 Escenario cuatro

Tabla 15 Particularidades del escenario cuatro

No.	Particularidad	Descripción
Tabla 15 Particularidades del escenario cuatro		
1	Proyecto:	Diseño y construcción de la ampliación de un tramo de carretera de 20 km, que pasa de 2 a 4 carriles.
2	Etapas del proyecto:	Licitación del Diseño y Construcción.
3	Organismo Ejecutor:	Oficina de proyectos Viales del Gobierno.
4	Nivel de conocimiento del evaluador:	Intermedio, por lo cual se le asigna el mismo valor de influencia al índice P.
5	Requerimientos BIM:	Es obligatorio el uso del BIM en la ejecución de proyectos públicos.
6	Experiencia del personal:	El personal técnico tiene conocimiento avanzado en el uso de BIM, han desarrollado proyectos con alcances similares exitosamente.
7	Experiencia de potenciales oferentes:	Las principales empresas en el mercado han adoptado el uso de BIM y las principales empresas que brindan los servicios a subcontratar utilizan activamente esta metodología.
8	Lecciones aprendidas en proyectos similares:	La oficina de proyectos Gubernamental ha asumido la curva de aprendizaje y ha ejecutado varios proyectos con esta metodología.
9	<i>Software</i> especializado:	La oficina de proyectos dispone de los equipos, las licencias y la tecnología necesaria para gestionar los contratos con BIM.
10	Presupuesto asignado:	Se han destinado partidas presupuestarias específicas para la capacitación constante del personal técnico en BIM y para compra de equipo y licencias de <i>software</i> especializado, a mediano y largo plazo.
11	Respaldo de la Dirección de proyecto:	El director de proyecto tiene conocimiento avanzado de la metodología y ha decidido utilizar BIM en todas las fases del proyecto, se utilizará un pliego de contratación que

No.	Particularidad	Descripción
Tabla 15 Particularidades del escenario cuatro		
		incluye un estándar de Plan de Ejecución del Proyecto, para diseño y construcción.

El escenario 4 trata el caso hipotético en el cual el proyecto cuenta con condiciones idóneas para el uso de la metodología BIM en su desarrollo. Las principales consideraciones que han variado con respecto los restantes escenarios son:

1. El organismo ejecutor es la Oficina de Vialidad del Gobierno.
2. El personal tiene experiencia en el uso de la herramienta BIM, han desarrollado proyectos previamente con uso de BIM.
3. Es requisito para la alta gerencia, ser administrador BIM acreditado y con experiencia previa en proyectos públicos viales.
4. El mercado ha aceptado de manera generalizada el uso de BIM, por lo tanto la mayoría de las empresas, potenciales oferentes y principales empresas subcontratistas utilizan activamente la metodología en sus proyectos.
5. La oficina de proyectos dispone de la debida capacitación, equipo tecnológico, licencias de *software* y presupuesto asignado, para garantizar la sostenibilidad en el uso de la tecnología.

Tabla 16 Evaluación del escenario cuatro

Aspecto	Dimensión	P	Característica ⁴	C	V	S1	S2
Tabla 16 Evaluación del escenario cuatro							
Oportunidades	Técnico	3	Planificación	5	15	69	243
			Calidad del diseño	5	15		
			Constructibilidad	4	12		
			Factibilidad	4	12		
			Modelo digital	5	15		

⁴ Cada una de las características incluidas en la matriz corresponde a un concepto general que se explica con detalle en la tabla No. 25, se sugiere no debe interpretarse de forma aislada.

Aspecto	Dimensión	P	Característica ⁴	C	V	S1	S2
Tabla 16 Evaluación del escenario cuatro							
	Administrativo	3	Ciclo de vida	5	15	63	
			Estandarización	4	12		
			Toma de decisiones	4	12		
			Colaboración	4	12		
			Manejo documental	4	12		
	Económico	3	Productividad	4	12	54	
			Eficiencia en uso de recursos	4	12		
			Financiable	3	9		
			Costo del proyecto	4	12		
			Retorno de la inversión	3	9		
	Legal	3	Prevención de litigios	4	12	57	
			Recurso legal / apelación	4	12		
			Distribución de riesgos	4	12		
			Corrupción	4	12		
			Cumplimiento de normativa	3	9		
Limitaciones	Técnico	3	Interoperabilidad	2	9	48	195
			Pérdida en transferencia de datos	2	9		
			Falta de estándares	2	9		
			Escala del modelo	1	12		
			Innovación en el sector	2	9		
	Administrativo	3	Estructura institucional	2	9	54	
			Recurso humano	1	12		
			Compromiso alta dirección	1	12		
			Contratación	1	12		

Aspecto	Dimensión	P	Característica ⁴	C	V	S1	S2
Tabla 16 Evaluación del escenario cuatro							
			Madurez de la metodología	2	9		
	Económico	3	Esquema de desarrollo	2	9	48	
			Aumento costos corto plazo	2	9		
			Falta de recursos	1	12		
			Nivel de inversión de los proyectos	2	9		
			Costo de inversión inicial	2	9		
	Legal	3	Leyes y reglamentos actuales	2	9	45	
			Falta contrato estándar	2	9		
			Reclamaciones y disputas legales	2	9		
			Propiedad intelectual	2	9		
			Responsabilidad profesional	2	9		
			Calificación total				438

4.1.1.6 Contraste de escenarios

4.1.1.6.1 Escenarios 1 y 2

La principal diferencia entre ambos casos es la fase de ejecución en la que se encuentra el proyecto, significa que, la evaluación se realiza en fases distintas del ciclo de vida del proyecto, es decir, el momento en que se evalúan las condiciones del proyecto con la finalidad de decidir si es conveniente o no implementar BIM en dicha fase y esto tiene una gran incidencia en que tanto se pueden potenciar algunos de los beneficios o limitaciones.

Por otro lado, se cuenta con el compromiso total de la dirección del proyecto para utilizar esta metodología en el diseño, construcción, operación y mantenimiento, que son las fases que le restan al proyecto. Para ello, se tiene que el proyecto ahora cuenta con partidas presupuestarias para contratación de servicios de capacitación para el personal profesional técnico, en el manejo de *softwares* específicos para administrar y fiscalizar los contratos. También, se cuenta con presupuesto para la adquisición de las licencias o los complementos correspondientes. Además, se ha definido que para el proceso de licitación del proyecto se utilizará un cartel que integrará un estándar de plan de ejecución del proyecto.

Los factores que mostraron mayores diferencias son:

Tabla 17 Contraste de escenarios uno y dos

Dimensión	Escenario 1	Escenario 2	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 17 Contraste de escenarios uno y dos				
Oportunidades				
Técnico	63	54	-9	Para el escenario 2 se valoró un menor impacto positivo en Planificación y Factibilidad. Esto puede explicarse por el hecho de que ambas características tienen una mejor aplicación y mayor aprovechamiento en las fases más tempranas del proyecto. Si se implementa BIM en anteproyecto se puede maximizar sus beneficios en la planificación del proyecto y en el análisis de la factibilidad. Por otro lado, las características; Calidad del Diseño, Constructibilidad y Modelo Digital

Dimensión	Escenario 1	Escenario 2	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 17 Contraste de escenarios uno y dos				
				son igualmente influyentes en ambas fases y en la fase de diseño no se pierde potencial de beneficios.
Administrativo	60	48	-12	Impacto positivo de todas las características se redujo, a excepción de la estandarización que se mantuvo con el mismo valor. Lo anterior tiene sentido, si se considera que al implementar la metodología en una etapa en la cual se han definido aspecto macro del diseño, se han tomado decisiones esenciales sobre el proyecto, que son el punto de partida para la definición del diseño. Esto restringe la influencia del uso de BIM en alguna parte de las decisiones del proyecto. En ese mismo sentido, al no contarse con un modelo de información al iniciar el diseño, el diseñador deberá modelar el anteproyecto previamente elaborado, que fue desarrollado bajo la modalidad tradicional, que puede considerarse un retrabajo, que provoca una inversión adicional de recursos

Dimensión	Escenario 1	Escenario 2	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 17 Contraste de escenarios uno y dos				
				dificulta el manejo documental de las etapas previas.
Económico	60	48	-9	La calificación bajó en “Eficiencia en el uso de recursos, financiación y costos del proyecto”. Esto se puede explicar apegándose al mismo sentido de análisis del punto anterior; en diseño se debe realizar un retrabajo con el modelo virtual y alimentándolo con la información del anteproyecto, esto reduce la eficiencia en el uso de los recursos y por otro lado, el análisis de factibilidad técnica, económica y financiera tuvo su principal peso en el desarrollo del anteproyecto, que en la etapa de diseño el uso de BIM tendría poca influencia para la financiación del proyecto. Por último, los beneficios que podría tener BIM hacia el costo del proyecto se maximizan en etapas previas al diseño, entonces su impacto positivo es menor.
Legal	45	51	+6	En el aspecto legal se tiene mayor valoración a la “Distribución de riesgos y a

Dimensión	Escenario 1	Escenario 2	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 17 Contraste de escenarios uno y dos				
				Corrupción”, por la decisión de la alta gerencia de utilizar BIM en las siguientes fases del proyecto, aspecto que no estaba claro en el escenario 1. Los otros 3 aspectos pueden ser igualmente beneficiosos en ambos escenarios.
Limitaciones				
Técnico	36	36	=	La valoración del impacto hacia el proyecto que podrían tener las características valoradas en este factor es la misma para ambos escenarios.
Administrativo	33	39	+6	El nivel compromiso de la alta dirección hacia el uso de la metodología y la decisión del uso de un pliego con un apartado específico de requerimientos BIM, tiene un mayor impacto positivo en el escenario 2.
Económico	42	42	=	Ambos escenarios se consideran equivalentes en el aspecto económico
Legal	33	36	+3	El uso de contrato estándar influyó en que esta característica tenga una influencia más positiva para el proyecto.
Calificación total	372	354	-18	

4.1.1.6.2 Escenarios 2 y 3

La principal diferencia entre ambos casos de análisis es el organismo encargado de la ejecución del proyecto, esto es muy relevante, al ser dos estructuras organizacionales muy distintas. Existen diferencias importantes en cuanto a los procesos internos, condiciones de contratación del personal, normativa, cultura organizacional, toma de decisiones, forma de financiamiento del proyecto, entre otros. Se ha utilizado el caso hipotético que este proyecto será desarrollado por la Oficina encargada de la vialidad por parte del Gobierno.

Por otro lado, se cuenta con la anuencia de la dirección del proyecto para utilizar esta metodología al menos para el diseño, construcción, e igualmente al caso 2, se ha gestionado incluir en el presupuesto del Fideicomiso partidas para contratación de servicios de capacitación del personal profesional técnico en el manejo de *softwares* específicos para el control del Modelo Virtual y también, partidas para la adquisición de las licencias o los complementos correspondientes. Sin embargo, en esta institución el mantenimiento y operación de la carretera se transfiere a otro Departamento, y la decisión de implementar BIM en la fase de explotación del bien inmueble no está en manos del director de proyecto de diseño y construcción. Por otro lado, la institución debe gestionar un proceso independiente de implementación, asignación de recursos presupuestarios y actualización de procesos internos de forma independiente para la fase de operación y mantenimiento, que dificulta el seguimiento y aprovechamiento del modelo virtual de información.

Las dimensiones que mostraron mayores diferencias son:

Tabla 18 Contraste de escenarios dos y tres

Dimensión	Escenario 2	Escenario 3	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 18 Contraste de escenarios dos y tres				
Oportunidades				

Dimensión	Escenario 2	Escenario 3	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 18 Contraste de escenarios dos y tres				
Técnico	54	54	=	Ambos escenarios se consideran equivalentes en el aspecto técnico
Administrativo	48	30	-18	La principal diferencia es que existe una condición muy adversa para la implementación de BIM en las Fase de Operación y Mantenimiento en el escenario 3, por esa razón el valor de esta característica fue de 1. Estandarización es menor porque se dificulta el uso documentos estándar compatibles con BIM, como especificaciones técnicas, Plan de Ejecución, términos de referencia, etc. Toma de decisiones tiene un potencial menor de beneficiar al proyecto pues los procesos son más rígidos, las decisiones dependen en algunas ocasiones de varios departamentos de la institución o se fundamentan en el aspecto político, asimismo, el uso de una metodología de colaboración puede tener restricciones en una institución del gobierno, al tener que

Dimensión	Escenario 2	Escenario 3	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 18 Contraste de escenarios dos y tres				
				integrarse otros departamentos o tener que respetar procedimientos operativos establecidos.
Económico	48	42	-6	La menor calificación en productividad está relacionada con las dificultades para la colaboración, con la poca posibilidad de usar de BIM en Operación y Mantenimiento y con la resistencia y falta de motivación que podría tener el recurso humano relacionado con el proyecto.
Legal	51	48	-3	La distribución de riesgos es una oportunidad con menor impacto porque es difícil hacer uso de carteles de licitación estándar que presenten condiciones comprobadas internacionalmente de distribución de riesgos más equilibradas.
Limitaciones				
Técnico	36	36	=	
Administrativo	39	30	-9	Baja calificación en Estructura Organizacional y en Recurso Humano, por la dificultad de implementar cambios en los procesos institucionales y la

Dimensión	Escenario 2	Escenario 3	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 18 Contraste de escenarios dos y tres				
				posible resistencia al cambio por parte del personal profesional técnico de la institución. También, tiene un menor impacto positivo la rigidez en el proceso de contratación.
Económico	42	39	-3	Mayores limitaciones producto del Esquema de Desarrollo
Legal	36	30	-6	Menor calificación por la rigidez normativa producto de las leyes y reglamentos que rigen el desarrollo del proyecto a nivel de Contratación Administrativa. También, la pérdida de los beneficios potenciales por el no uso de pliegos de contratación estándar.
Calificación total	354	309		

4.1.1.6.3 Escenarios 3 y 4

En el escenario 4 el proyecto es ejecutado por una oficina de proyectos del Gobierno, al igual que el caso 3, sin embargo, tiene la característica que la metodología BIM presenta un mayor grado de madurez en su proceso de adopción en el País. El país ha establecido una política de obligatoriedad del uso de BIM en proyectos de infraestructura vial públicos y existe normativa actualizada con Términos de Referencia estándar para contratación.

Aunado a lo anterior, en esta institución el mantenimiento y operación de la carretera se transfiere a otro Departamento, que de igual manera debe dar continuidad al uso de la metodología BIM en la fase de explotación del bien inmueble. La oficina de Conservación Vial asimismo cuenta con experiencia en el manejo de proyecto y utiliza modelos virtuales de la información, el personal está capacitado, con experiencia previa y disponen de las licencias y equipo tecnológico necesario.

Los factores que mostraron mayores diferencias son:

Tabla 19 Contraste de escenarios tres y cuatro

Dimensión	Escenario 3	Escenario 4	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 19 Contraste de escenarios tres y cuatro				
Oportunidades				
Técnico	54	69	+15	En el escenario cuatro la dimensión técnica se ve potenciada al poder ser implementada en todo el ciclo de vida del proyecto. Al ser usado desde las etapas preliminares se puede obtener todos los beneficios en planificación, la colaboración entre las áreas técnicas mejora la calidad del diseño, le brinda constructibilidad, puede ser optimizado el proceso de estudios de factibilidad y se puede alimentar el modelo digital durante todo el ciclo de vida.

Dimensión	Escenario 3	Escenario 4	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 19 Contraste de escenarios tres y cuatro				
Administrativo	30	63	+33	La principal diferencia es que para el escenario 4 existe una condición muy positiva para la implementación de BIM desde el inicio, e incluso en la fase de operación y mantenimiento en el escenario, por esa razón el valor de esta característica pasó de 1 a 4. Estandarización es mejoró porque existen TdR y PEB tipo exigidos por la Administración, así como especificaciones técnicas. Toma de decisiones tiene un potencial muy buena, pues la administración puede decidir con mayor sustento, las decisiones dependen en algunas ocasiones de varios departamentos de la institución que están integrados con la metodología y se ha disminuido la incidencia política se fundamentan en el aspecto político,

Dimensión	Escenario 3	Escenario 4	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 19 Contraste de escenarios tres y cuatro				
				asimismo, el uso de trabajo colaborativo no es total sin embargo puede mejorar considerablemente, al tener que integrarse otros departamentos o tener que respetar procedimientos operativos establecidos. El manejo documento por disposición legal y administrativa debe ser estricto y apegarse a los procedimientos, formularios y formatos que se definan.
Económico	42	54	+12	Todas las características económicas mostraron un mayor puntaje a excepción el retorno de la inversión. Existe una mayor productividad en el personal, al promoverse la capacitación y mayores cualidades técnicas, también al estandarizarse los procesos, esto está muy relacionado con un mejor uso de los recursos. En el caso de los proyectos que son ejecutados por presupuesto de la

Dimensión	Escenario 3	Escenario 4	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 19 Contraste de escenarios tres y cuatro				
				institución y no por financiamiento externo, en financiación no hay mayor incidencia, sin embargo el proyecto en su conjunto puede disminuir su costo total, el beneficio en esta característica es mayor. Por último, los beneficios que podría tener BIM hacia el costo del proyecto traen beneficios directos en lo referente al retorno de la inversión.
Legal	48	57	+9	El uso de pliegos cartelarios estándar, incluso reconocidos internacionalmente, incide en una distribución de riesgos más equilibrada y sencilla de aplicar. Esto repercute en un menor riesgo de litigios en el proceso de ejecución. Por otro lado, el proceso de licitación contiene información más precisa disponible a través del modelo digital para todos los oferentes, aunado a un

Dimensión	Escenario 3	Escenario 4	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 19 Contraste de escenarios tres y cuatro				
				diseño más detallado beneficia en menor cantidad de recursos.
Limitaciones				
Técnico	36	48	+12	
Administrativo	30	54	+24	La adopción de BIM ha implicado un cambio en la Estructura Organizacional tiene una gran mejora en la calificación. Se ha superado la resistencia al cambio al inicio de la adopción por parte del personal profesional técnico de la institución y se tiene un compromiso completo y sostenible por la alta dirección. También, tiene un impacto positivo la mayor flexibilidad en el proceso de contratación. La madurez de la metodología en el país se ha asumido que mejoró levemente.
Económico	39	48	+9	El esquema de desarrollo no ha variado al ser el mismo órgano ejecutor del proyecto, lo mismo sucede

Dimensión	Escenario 3	Escenario 4	Diferencia	Análisis de la diferencia
Tabla 19 Contraste de escenarios tres y cuatro				
				con el aumento de costos a corto plazo que se considera tiene el mismo impacto que el escenario 3 y además, ya ha sido asumido en la estructura de la institución. Un impacto negativo por falta de recursos no se prevé al tenerse presupuesto asignado para recurso humano, equipo tecnológico y administrativo.
Legal	30	45	+15	Mayor calificación por la claridad normativa producto de las leyes y reglamentos que actualizados que rigen el desarrollo del proyecto a nivel de Contratación Administrativa. También, la ganancia de los beneficios potenciales por el no uso de pliegos de contratación estándar.
Calificación total	309	438	+129	

4.2 Base de requerimientos BIM para una contratación

Esta propuesta pretende la implementación de la metodología BIM, para la utilización de esta en un proyecto de diseño y construcción de 4 estructuras tipo puente, que podrá servir para poder comprobar la factibilidad y las potencialidades de esta metodología de trabajo dentro de la definición de procedimientos y protocolos. A tal efecto es de especial importancia lo siguiente:

- Servir como guía representativa de las mejoras potenciales en cuanto a la visualización, manejo de la información y de administración de proyectos de las metodologías BIM.
- Facilitar y optimizar la toma de decisiones y el análisis de alternativas de diseño durante el proceso de diseño del proyecto, en cuanto a la calidad de las propuestas, la estimación y análisis de los costos y el procedimiento constructivo mediante un modelo 5D.
- Control y coordinación de las distintas áreas técnicas en las fases de diseño y construcción.
- Comprobación del mejor proyecto técnicamente viable, revisión y coordinación del diseño.

Control de estándares y codificación de componentes. Así mismo, el diseño y estructuración del modelo digital de datos debe de ir orientado de forma prioritaria al futuro mantenimiento y operación de la infraestructura. Para lo cual se pretende:

- Definir y estructurar la información de los elementos a construir e instalar, para que sea compatible y coherente con las bases de datos de inventario vial del CONAVI.
- Considerar en el diseño los procedimientos constructivos y requerimientos de operación y mantenimiento óptimos.
- Facilitar y servir de soporte para la planificación y optimización de las acciones de operación y mantenimiento.

Las condiciones particulares por definir para lograr la implementación de los TdR BIM en el cartel de licitación, son adaptables a los distintos estándares contractuales

reconocidos internacionalmente. Para este estudio de caso se hará referencia a las condiciones contractuales internacionalmente reconocidas de diseño y construcción de la Federación Internacional de Ingenieros Civiles-Consultores (FIDIC), además del marco y contexto contractual para la generación de proyectos de Fideicomiso en Costa Rica. Los potenciales Oferentes y consecuentemente el Contratista seleccionado deben cumplir las condiciones de contratación para proyecto y obra para instalaciones mecánicas y eléctricas y, para trabajos de ingeniería y edificación proyectados por el contratista de FIDIC (libro amarillo).

4.2.1.1 Sistemas de contratación de BIM

Actualmente, a nivel internacional existen cinco documentos contractuales disponibles en la industria de la construcción, en general, que incorporan algunos de los riesgos legales de BIM. Estos documentos son el anexo BIM Consensusdocs301 (consensusdocs 2008), el protocolo AEC BIM (AEC 2012), el AIA E203 (AIA 2013), el protocolo CIC BIM (CIC 2013) y el contrato de gestión de tiempo y costos CIOB (CIOB 2015). Estos sistemas proporcionan una base para la investigación y el desarrollo, así como la adopción de un sistema de contratación estandarizado para la implementación de BIM. Utilizando los riesgos identificados, se sintetiza que, si bien estos sistemas responden a algunos riesgos de manera bastante adecuada, su uso no se ha generalizado. Por esa razón, se hace referencia que, no serán considerados dentro de los términos de referencia propuestos.

No obstante, se especificará a continuación únicamente las condiciones particulares que deberán ajustarse en el pliego estándar, así como además, se presentará la estructura general de los TdR y el alcance mínimo de cada una de sus secciones.

4.2.1.2 Tipo de valoración

Se define este indicador como la forma en que se exige y se valora la aplicación de metodología BIM en la ejecución de un contrato determinado. En este sentido, se pueden observar diversas opciones:

- **Obligatoriedad:** Si en una licitación es obligatorio el uso de BIM cuando se estipula como un requisito a cumplir dentro de la propuesta técnica sin establecer ningún peso concreto dentro de los criterios de valoración de la oferta.
- **Valorable:** Si el uso de la metodología BIM es valorable cuando se incluyen estos requisitos a la hora de establecer la puntuación de la oferta presentada. La evaluación de estos requisitos BIM puede estar incluida dentro de la valoración subjetiva o mediante fórmula de la oferta técnica presentada.
- **Mejora:** Se considera una mejora cuando el uso de BIM está estipulado como un servicio o alcance adicional o extraordinario que pueden presentar el Contratante, y además, se especifican sus requisitos, condiciones y límites, y se fija su forma de valoración en el cartel de licitación.
- **No se especifica:** Se consideran incluidas bajo esta categoría todas aquellas licitaciones en las que a pesar de que se incluye algún requisito BIM dentro de las especificaciones técnicas, no se establece ningún tipo de valoración sobre dichos requisitos dentro del cartel de licitación.

Sin embargo, en el sector construcción costarricense BIM está muy poco implantado, no existe un precedente de solicitud de requisitos BIM en el contrato de diseño y/o construcción de una obra de infraestructura vial, el tipo de valoración obligatoria deberá exigirse de forma gradual. Al ser este el primer proyecto que lo considere, se propone que la implementación de BIM en el pliego cartelario tendrá un carácter valorable, por cuanto si un oferente no ofrece como parte de su propuesta técnica la inclusión de BIM, este no será descalificado del Concurso, sin embargo, el proceso buscará incentivar a los oferentes a presentar como parte de la propuesta técnica la inclusión de BIM, y se asigne una proporción importante del puntaje a este factor.

La ponderación asignada al precio se estima óptima en 85 puntos y la ponderación para la metodología será de 15 puntos, ambas con respecto a un puntaje total de 100.

4.2.1.3 Metodología de evaluación

El puntaje total se debe obtener al sumar los puntajes ponderados relativos a la calidad y el costo. El factor de ponderación del “costo” tendrá una importancia relativa preponderante con respecto a la metodología.

Tabla 20 Metodología de evaluación de la Matriz

Aspecto	Criterio de evaluación	Puntuación máxima
Tabla 20 Metodología de evaluación de la matriz		
1	Experiencia específica del contratista. (se le asignará 1 pto. por cada proyecto adicional similar ejecutado con BIM, hasta máximo 5 pts.) <i>Requisito mínimo: el oferente deberá acreditar como mínimo un proyecto similar ejecutado con BIM.</i>	5
2	Director BIM ⁵ (Se le asignará 1 pto. por cada proyecto adicional similar ejecutado con BIM, hasta máximo 5 pts.) <i>Requisito mínimo: el Director BIM deberá acreditar como mínimo 1 año de experiencia como Director BIM en proyectos similares y al menos 2 proyectos similares ejecutados con BIM.</i>	5
3	Equipo BIM (se le asignará 2 pts. por incluir un Ingeniero electromecánico que acredite como mínimo 1 proyecto similar ejecutado con BIM).	4

⁵ Será el responsable BIM del Contratista durante la fase de diseño y la fase de Construcción.

Aspecto	Criterio de evaluación	Puntuación máxima
Tabla 20 Metodología de evaluación de la matriz		
	(se le asignará 2 pts. por incluir un Ingeniero estructural que acredite como mínimo 1 proyecto similar ejecutado con BIM).	
4	Presenta un Plan de Ejecución BIM con todos los alcances del Proceso a seguir. <i>Requisito mínimo: deberá presentar el PEB conforme el alcance definido en los TdR BIM.</i>	1

Proyecto similar: se define como un proyecto de ampliación o construcción nueva de: infraestructura vial que incluya el diseño y la construcción de al menos 1 estructura tipo (viaducto, puente, paso a desnivel, túnel) no menor a 30 de longitud del vano mínimo, de 2 o más carriles y un tramo de carretera de al menos 2 carriles y 2 km de longitud.

Requisito mínimo: para que el oferente sea sujeto de valoración y calificación por metodología, deberá cumplir de manera simultánea con los requisitos mínimos indicados para los factores 1,2 y 4. El factor 3 no define requisito mínimo y por lo tanto se considera opcional.

4.2.1.4 Personal clave y personal mínimo

El personal mínimo para acreditar por parte del Oferente con experiencia en BIM será el Director BIM, por su parte, la acreditación es opcional para los Ingenieros Electromecánico BIM y Estructural BIM. No obstante, para que el contratista pueda cumplir con el alcance definido en los TdR BIM

Asimismo, se deberá aportar además el organigrama respectivo en el que se muestre la relación entre los miembros del equipo durante cada una de las fases y partes del proyecto por separado.

4.2.1.5 Roles y Responsabilidades

Tabla 21 Matriz de roles y responsabilidades BIM

Rol	Entidad	Funciones
Tabla 21 Matriz de roles y responsabilidades BIM		
Cliente	Unidad administradora de proyecto	Definir objetivos y requerimientos generales del resultado del proyecto. Validación de prioridades y presupuesto general del proyecto.
Ingeniero civil especialista	Unidad administradora de proyecto	Coordinación de proyecto. Validar y revisar soluciones y propuestas técnicas. Revisión de entregas.
Supervisor BIM	Supervisora de proyecto	Validar propuestas de organización del equipo de trabajo, mecanismos de trabajo y estructuración del modelo de datos. Revisión de entregas.
Director BIM	Contratista	Proporcionar control de calidad para la integración y el cumplimiento de estándares. Asistir en el desarrollo y aplicación de procesos y flujo de trabajo BIM. Apoyar en la coordinación del proyecto con los clientes. Validación de documentos y archivos. Debe proponer la

Rol	Entidad	Funciones
Tabla 21 Matriz de roles y responsabilidades BIM		
		estructuración, la taxonomía y la topología del modelo.
Ingeniero geotecnista experiencia BIM	Contratista	Diseño y modelización de elementos de los sistemas georreferenciados. Generar y mantener la documentación y los entregables de proyecto.
Ingeniero estructural con experiencia BIM	Contratista	Diseño y modelización de elementos de los diferentes componentes estructurales. Generar y mantener la documentación y las entregas de proyecto.

Para evaluar la implementación de la metodología BIM. Se valorará la propuesta de incorporación de la metodología BIM a la fase de Diseño y Construcción de la Estructura. La ejecución de las 4 estructuras, supone una oportunidad para la aplicación de la metodología BIM. Con la intención de concretar dicha oportunidad, se establecen una serie de requisitos mínimos para aquellas empresas interesadas en incorporar BIM a la ejecución del Contrato de Diseño y Construcción de las obras. La aplicación de la metodología BIM a este proyecto como experiencia piloto tiene los siguientes objetivos:

- Servir de experiencia piloto, referencia para futuras aplicaciones. En este caso la utilización de la metodología BIM será complementaria al uso de planos 2D, control de costos mediante archivos y planificación temporal.
- Utilizar las ventajas visuales y de estudio de colisiones del modelo 3D.
- Realizar un seguimiento de la obra en cuanto a plazos de ejecución que tenga su reflejo en la dimensión 4D.

- Realizar una correspondencia entre la obra ejecutada y el costo real de la obra, reflejado en la dimensión 5D.
- Facilitar que el mantenimiento y operación de la infraestructura pueda ser llevada a cabo mediante la metodología BIM.

La metodología BIM compromete a los distintos actores que intervienen en la realización del proyecto en un proceso colaborativo, donde se comparte información sobre este modelo en cualquiera de las fases del ciclo de vida: supervisores, diseñadores, especialistas, constructores, fabricantes y proveedores de productos, operadores, propietario y usuarios. Todos ellos participan en la utilización compartida de uno o varios modelos de información que evolucionan al acumular la información adecuada a cada fase.

4.2.1.6 Estructura general de los Términos de Referencia BIM

Tabla 22 Estructura general de términos de referencia BIM

Apartado		Alcance
No.	Descripción	
TABLA 22 ESTRUCTURA GENERAL DE TÉRMINOS DE REFERENCIA BIM		
1	Objetivo	General El objetivo de la utilización de BIM en la etapa de ejecución es, promover la consistencia del diseño y la construcción de un proyecto c durante las distintas etapas, que considere todos los requerimientos de alcances, plazos, cantidades de materiales, costos estimados y normativas, con la finalidad de prevenir errores o modificaciones críticas sobre el cronograma y presupuesto aprobado. Específicos • Garantizar que los datos y la información estén disponibles, accesibles y utilizables independientemente de la plataforma o soporte tecnológico utilizado para su creación.

Apartado		Alcance
No.	Descripción	
TABLA 22 ESTRUCTURA GENERAL DE TÉRMINOS DE REFERENCIA BIM		
		• Propiciar una coordinación interdisciplinaria de las diferentes áreas técnicas involucradas. • Optimizar la trazabilidad e idoneidad de la información para el uso de esta en la etapa de Operación y Mantenimiento.
2	Términos y definiciones	Se deberán incluir en esta sección todos los términos y definiciones necesarios para la adecuada interpretación de los TdR.
3	Alcances BIM	Niveles de información Tanto la geometría como la información que contienen los componentes de un modelo BIM, pueden tener distintos niveles de detalle según el estado de avance en el que se encuentre el proyecto. Esta información puede aumentar en el detalle a medida que éste avanza. Se definen cinco (5) niveles que van desde la volumetría general hasta la información específica de los componentes del modelo. • NDI 1 (NDI 100) Información inicial general: información inicial acerca de área, altura, volumen, localización y orientación de los elementos generales. • NDI 2(NDI 200) Información básica: Información básica del tamaño, forma, localización y cantidad de los sistemas y elementos generales y su ensamblaje. • NDI 3 (NDI 200) Información detallada: Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad y orientación que sea relevante para el montaje de los elementos. • NDI 4 (NDI 300) Información detallada y coordinada: Información detallada y coordinada respecto del tamaño, forma, localización,

Apartado		Alcance
No.	Descripción	
TABLA 22 ESTRUCTURA GENERAL DE TÉRMINOS DE REFERENCIA BIM		
		cantidad, orientación e interacción entre los sistemas de construcción y sus elementos de montaje específico. • NDI 5 (NDI 400) Información detallada de la fabricación y montaje. Información detallada de la fabricación y montaje, que considera el tamaño, localización, cantidad e interacción entre los elementos. • NDI 6 (NDI 500) Información detallada de lo construido y su puesta en marcha: Información detallada del tamaño, forma, localización, cantidad y de la puesta en marcha de los elementos construidos. Tipo de información (TDI) Se clasifican quince (15) conjuntos de datos que podrían estar incluidos en los modelos, y por lo tanto podría ser extraídos de éstos, que van desde la información básica de identificación general del proyecto, hasta datos específicos de los distintos componentes que lo conforman. La etapa de oferta y contrato considera diez (10) de los quince tipos de información, que se citan a continuación: A. Información general del proyecto. B. Propiedades físicas y geométricas. C. Propiedades geográficas y de localización Espacial. D. Requerimientos específicos de información para el fabricante y/o constructor. E. Especificaciones técnicas. F. Requerimientos y estimación de costos. G. Validación de cumplimiento de programa. H. Requerimientos de fases, secuencia de tiempo y calendarización.

Apartado		Alcance
No.	Descripción	
TABLA 22 ESTRUCTURA GENERAL DE TÉRMINOS DE REFERENCIA BIM		
		I. Logística y secuencia de construcción. J. Entrega de la construcción. K. Manejo de activos Usos BIM Los usos BIM son formas en las que se puede aplicar BIM durante el ciclo de vida de una edificación o infraestructura para obtener uno o más objetivos específicos. Estos usos sirven para explicar las diferentes formas en que las partes interesadas del proyecto pueden utilizar BIM. En el ámbito internacional, existen distintos documentos de definición de usos BIM. Las definiciones incorporadas en el presente estándar están basadas en el documento estándar BIM para proyectos públicos, del PlanBIM de Chile (Planbim, 2016). Estos usos son los siguientes: 1. Modelado de condiciones existentes. 2. Desarrollo de modelo digital. 3. Diseño de las áreas técnicas. (geotecnica, materiales, hidrología, impacto vial, impacto ambiental) 4. Revisión del diseño. 5. Análisis estructural. 6. Programa de obra (4D). 7. Estimación del costo (5D). 8. Diseño de sitio. 9. Diseño del sistema constructivo. 10. Control de obra. 11. Modelado <i>As Built</i>. 12. Manejo de activos. 13. Programación de mantenimiento.

Apartado		Alcance
No.	Descripción	
TABLA 22 ESTRUCTURA GENERAL DE TÉRMINOS DE REFERENCIA BIM		
		Deberá presentar una matriz de Tipos de Información por cada Uso BIM.
4	Entregables BIM	Plan de Ejecución BIM (PEB) El oferente debe realizar un Plan de Ejecución BIM (PEB) de oferta, que deberá ajustarse al TDR BIM, a través de la siguiente información: • Los objetivos del proyecto para la colaboración e información a modelar. • Los principales hitos del proyecto, que concuerde con el programa del proyecto solicitado. • La estrategia de entrega de los modelos BIM y sus entregables del proyecto. • Los roles y responsabilidades sobre cada uno de los entregables. • Las competencias del equipo a cargo, tanto del desarrollo como de los entregables BIM. • La infraestructura tecnológica que se utilizará, se identifica el <i>software</i> y <i>el hardware</i> necesarios. El Contratista deberá elaborar un Plan de Ejecución BIM (PEB) de Contrato, se toma como base el PEB anterior, con más detalle en los siguientes contenidos: a) Gestión: • Roles, responsabilidades y autoridades. • Hitos importantes del proyecto en concordancia con el programa del proyecto. • Estrategia de entrega de los modelos BIM con información del proyecto. • Estrategia de análisis y estudios, que incluya el uso de nubes de puntos, detección de luz y rango (LIDAR) o sistemas mundiales de navegación por satélite.

Apartado		Alcance
No.	Descripción	
TABLA 22 ESTRUCTURA GENERAL DE TÉRMINOS DE REFERENCIA BIM		
		• Uso de datos heredados existentes. • Aprobación de la información. • Proceso de autorización de los modelos BIM del proyecto. b) Planificación y documentación: • Confirmación de la capacidad de la cadena de proveedores o subcontratos. • Procesos de proyecto acordados para colaboración e información a modelar. • Matriz de roles y responsabilidades acordada que incluye subcontratistas. c) El método y procedimiento estándar: • Origen y ubicación (o referencias geográficas a la superficie de la tierra se utiliza una proyección especificada). • Convención de nomenclatura de archivos. • Convención de nomenclatura de capa, donde se usa. • Tolerancias de construcción establecidas para todas las disciplinas. • Dibujo de plantillas de hoja. • Anotación, dimensiones, abreviaturas y símbolos. • Datos de atributos. • (Para una mayor claridad de los puntos anteriores, ver anexo TDR BIM) d) Las soluciones de TI: • Versiones de <i>software</i>. • Formatos de intercambio. • Procesos y sistemas de manejo de datos. • Seguridad de la información.

Apartado		Alcance
No.	Descripción	
TABLA 22 ESTRUCTURA GENERAL DE TÉRMINOS DE REFERENCIA BIM		
5	Modelo BIM	El proceso de definición de la información debe seguir el esquema siguiente: 1. Captura de datos, ya sea a través de topografía existente, escaneado láser, documentación entregada por la propiedad u otros medios propios. 2. Modelado geométrico. 3. Modelado de la información del elemento. 4. Control de calidad de encaje del elemento geométrico y de la información en el conjunto del modelo y el proyecto. 5. Validación. Estructura del modelo. Se definirán las unidades que se utilizarán para el desarrollo de los modelos, así como las coordenadas que se usarán para todos los modelos. Documentos. El Contratista deberá realizar una propuesta de la estructura, nombres de los archivos y carpetas, así como la nomenclatura y codificación necesaria.
6	Colaboración	Para el correcto desarrollo del proyecto es clave que existan métodos establecidos y conocidos por todos, tanto para el manejo de la información como para su intercambio. Estos métodos deben estar apoyados por plataformas habilitantes que faciliten la comunicación y permitan tener trazabilidad de la información y de la toma de decisiones del proyecto. Para esto debe existir un ambiente de colaboración en las distintas etapas del ciclo de vida de los activos. Éste debe permitir que los actores del proyecto accedan a la información para realizar sus diferentes funciones y puede ser implementado de diferentes maneras según el nivel de madurez del solicitante y el proveedor

Apartado		Alcance
No.	Descripción	
TABLA 22 ESTRUCTURA GENERAL DE TÉRMINOS DE REFERENCIA BIM		
		Adjudicado. Este ambiente se conoce como entorno de datos compartidos. Entorno de datos compartidos El Contratista debe definir el tipo de plataforma que soporte este entorno común (nube, FTP, etc.). El acceso a la información del proyecto debe estar restringida a las personas definidas en el PEB mediante permisos y control de usuarios. Así mismo, también debe ser responsabilidad del contratista asegurar el mantenimiento y la integridad del Entorno de Datos Compartidos, y en particular del modelo, además de realizar las copias de seguridad con la periodicidad adecuada.

5 Conclusiones

1. Basado en el análisis de la información del capítulo IV, se logró identificar la problemática más común en la ejecución de los proyectos de infraestructura vial en el país y se caracteriza de la siguiente manera:
 - Los principales problemas en el desarrollo de los proyectos por parte del Gobierno se presentan en la etapa de planificación, a continuación, los ejemplos.
 - No se asigna el plazo ni la inversión de recursos necesarios para que esta etapa sea lo suficientemente detallada y con la calidad adecuada.
 - Se omiten procesos básicos de gestión de proyectos, apegados a las buenas prácticas internacionales en esta materia, como lo son los estudios de prefactibilidad, la gestión social, la gestión de la comunicación, las lecciones aprendidas de procesos anteriores, etc.
 - Existen deficiencias importantes en la calidad del diseño de los proyectos, por diferentes razones, que se pueden citar a continuación:
 - No se realizan estudios previos con el detalle suficiente para reducir la incertidumbre de condiciones físicas del sitio.
 - Si el diseño es elaborado directamente por la administración, la precisión y el nivel de detalle de este es insuficiente, o bien, el proceso que se sigue no asegura la disminución de incongruencias en el diseño. Las siguientes se identifican hasta la etapa de construcción.
 - Mala estimación del presupuesto base de la administración, por errores o indefiniciones en el diseño, diferencias en la cuantificación de cantidades o uso equivocado de la base de costos, no se consideran adecuadamente los efectos de la inflación.
 - No existe trazabilidad eficiente de los procesos previos, de las versiones anteriores o de los insumos utilizados para el diseño final.
 - El presupuesto disponible es insuficiente o hay problemas de financiación de los proyectos. Esto se debe principalmente a que; los diseños presentan gran cantidad de errores que implica una gran incertidumbre en el precio real del proyecto, esto se traduce en sobrecostos para el proyecto en el proceso de oferta,

o la generación de mayor cantidad de órdenes de cambio en la ejecución al tener que subsanar aspectos no resueltos en el diseño. Por otro lado, el periodo de elaboración de ofertas es relativamente corto y calcular cantidades de manera detallada es muy laborioso para los oferentes, entonces el cálculo generalmente no tiene una alta precisión y para los contratos a suma alzada, esa incertidumbre también se traduce en sobrecostos para el proyecto en el proceso de oferta. Los Contratistas deben asumir un riesgo muy alto y esto encarece el proyecto.

- No se invierte lo suficiente en infraestructura, la inversión es un bajo porcentaje del PIB y el país tiene una importante cantidad de kilometraje de calles nacionales y locales, así como gran cantidad de puentes.
 - Ausencia de coordinación entre instituciones para mover con rapidez servicios públicos de agua potable electricidad, aguas residuales y otros que se ubican en el derecho de vía de las carreteras. Se generan atrasos y sobrecostos importantes.
 - Los procesos de contratación son muy susceptibles a reclamos por parte de los oferentes. Además, la metodología de contratación no incentiva a los oferentes ni al contratista a ofrecer mejoras sustantivas al diseño en calidad y costo.
 - Existe una mala supervisión técnica del contrato, por ausencia de supervisión o por insuficiencia de recursos asignados para tal fin.
 - El proceso de cierre de los proyectos es deficiente con una mala documentación del proceso y una mala definición de planos *As Built*.
 - La etapa de operación y mantenimiento carece de procesos integrados de gestión eficientes, que utilicen sistemas específicos para el control de activos.
2. Se han identificado las principales características BIM y las posibles aplicaciones de estas a los diferentes usos que pueden darse en la infraestructura, además, se ha estudiado de qué manera se pueden aplicar los usos del BIM durante todo el ciclo de vida de este tipo de proyectos. Para desarrollar este objetivo se llevó a cabo una revisión literaria de varios autores, para así obtener criterios comunes entre los diferentes autores, para cada uso o beneficio potencial.
 3. Se estudiaron los elementos de mejora en los proyectos de infraestructura vial y se asociaron con la posibilidad de aplicación en el Costa Rica, a través de un análisis de

las principales deficiencias encontradas en la ejecución de proyectos de infraestructura vial y la posibilidad de aplicación del BIM y su beneficio potencial.

Adicionalmente, se propone la incorporación de BIM en un proceso de contratación para la ejecución del Diseño y Construcción de cuatro estructuras tipo puente a desarrollarse en el país. Para esto, es necesario ajustar algunas cláusulas en el pliego cartelario estándar utilizado por la unidad administradora del proyecto. Se debe ajustar el marco contractual para que se ejecute a través de un Fideicomiso de Obra Pública. Las cláusulas específicas que se deben ajustar son:

- Metodología de evaluación
- Requerimientos técnicos de las ofertas
- Personal clave y mínimo
- Roles y responsabilidades
- Propuesta técnica

El pliego cartelario debe incluir la base para los términos de referencia BIM, que serán un protocolo anexo al cartel que detallará el alcance general de la metodología en el proyecto.

Debería dejarse claro que aplicar BIM no garantiza necesariamente que la gestión será más eficaz porque hay trabas legales, resistencia de personas al trabajo en equipo profesional y también malos hábitos de falta transparencia.

Es necesario considerar que para que la implementación del BIM se pueda dar de una manera total, es probable que se deban hacer ajustes en diferentes sectores, tales como:

- Interoperabilidad: existe el riesgo latente de una pérdida de integridad de datos cuando se utilizan diferentes sistemas y software. Esto es especialmente cierto en proyectos internacionales donde empresas de diferentes países a menudo trabajan juntas. Para reducir este riesgo, las partes deben especificar programas de *software* compatibles que puedan usarse en el modelo y proporcionar un procedimiento para minimizar el riesgo de errores en los datos que infectan el diseño.

- Estandarización: dada la naturaleza colaborativa de BIM, es importante tener una sola base. Las partes deben acordar un estándar que incluya términos definidos, procesos, así como confirmar los entregables y especificar cómo se demuestra el cumplimiento. Las condiciones contractuales deben incluir que los términos y entregables acordados se incluyan en todos los subcontratos que tienen una responsabilidad de diseño.
 - Propiedad intelectual: internacionalmente, la posición ha sido que cada parte será propietaria de los derechos de autor de cada elemento del diseño del modelo del que sean responsables. Cuando los actores trabajen en una parte del modelo para el cual otra parte es responsable del diseño, el protocolo puede otorgar una licencia no exclusiva. Las partes deben definir cuándo la propiedad del modelo se transferirá al cliente o al usuario final. Por esto, debe estudiarse con detalle las implicaciones profesionales ante el CFIA.
 - Confidencialidad: las partes deben incorporar una disposición sobre confidencialidad para los datos proporcionados en el modelo por los diversos diseñadores y en el proceso de licitación.
4. Se elaboró una matriz de valoración de proyectos de infraestructura vial con base en las principales características que pueden ser aplicables a Costa Rica dentro del contexto actual. Es una herramienta para que diferentes actores, tales como directores de proyecto, departamentos de proveeduría, unidades ejecutoras de proyectos, Asociaciones Público Privadas, desarrolladores, entre otros, puedan valorar las características BIM aplicables a proyectos de infraestructura vial en Costa Rica, con el objetivo de poder identificar cual es la potencialidad con que cuenta un determinado proyecto para implementar la metodología BIM en la ejecución de alguna de las etapas del ciclo de vida, por medio de un resultado cuantitativo que se clasifica en rangos de valores predeterminados de puntuación. Del uso de la herramienta se desprenden las siguientes conclusiones y recomendaciones:
- Al enumerar a partir de los resultados de la valoración, algunas de las características BIM aplicables a Costa Rica pueden ser consideradas dentro

- del marco legal y administrativo actual. El proceso de implementación, al igual que otros países con mayor avance en este proceso, deberá ser gradualmente incorporado a los pliegos de licitación.
- El valor académico de este estudio es proponer una herramienta cuantitativa para evaluar la potencialidad de implementación de BIM en un proyecto de infraestructura vial, que puede ser ejecutado bajo distintas modalidades de desarrollo público o privado.
 - La herramienta puede ser diseñada de la misma manera mediante una aplicación digital para los diferentes dispositivos electrónicos modernos, tales como teléfonos inteligentes, tabletas o computadoras.
5. Se realizó una simulación del uso de la herramienta mediante la generación de cuatro escenarios distintos de proyectos ficticios. En cada escenario se variaron algunos supuestos clave de los proyectos y se obtuvo una calificación particular y total de cada escenario y, por último, se desarrolló un análisis de contrastes entre algunos de estos escenarios. El análisis de contrastes de escenarios permitió demostrar que la herramienta es sensible a la valoración de proyectos con diferentes condiciones de ejecución, además, que los rangos de valoración de los puntajes obtenidos son capaces de reflejar de manera diferenciada la viabilidad de implementar BIM a cada proyecto en específico.
- Una de las principales virtudes de la herramienta, es que la misma puede ser ajustada a contextos específicos, por ejemplo; país, tipo de proyecto, organización, etapa del ciclo de vida, entre otros. Además, la herramienta puede actualizarse en cualquier momento, como resultado de la valoración y análisis de su uso, para que la misma, se ajuste de mejor manera a las necesidades del usuario.
- Otra importante ventaja, es que la herramienta permite evaluar proyectos bajo escenarios hipotéticos realistas, que pueden predecir las condiciones que tendría ese mismo proyecto si hacer cambios a una o varias características, por lo que, se puede valorar el impacto que dichos cambios tendría sobre la aplicabilidad de BIM.

Recomendaciones

1. Es necesario realizar un mayor desarrollo y estudio para la calibración de la herramienta, a efectos de valorar la sustitución de cualquier característica que no sea representativa para algunos tipos de proyectos, o contexto de desarrollo de la metodología, ya que en la definición de las características se han incluido las que se han considerado principales como resultado de la investigación particular.
2. Dado que se definieron los aspectos, dimensiones y características, se ha fundamentado principalmente en estudios de Norteamérica, Europa y Asia, entonces es necesario complementar este estudio con mayor número de investigaciones elaboradas en Latinoamérica.
3. La herramienta desarrollada puede ser utilizada para diferentes tipos de proyectos de infraestructura vial, tales como carreteras, puentes, túneles, muros, alcantarillas, mejoramiento y rehabilitación de pavimento. Además, podría adaptarse para ser utilizada con mayor precisión para proyectos específicos, no obstante, para eso, se debe hacer una revisión y redefinición de las características mas relevantes en cada dimensión y una valoración de los rangos de valoración resultantes.

Bibliografía.

- A. Bae, D. L. (2016). BIM utilization for optimizing milling quantity and HMA pavement overlay quality. *Can. J. Civ. Eng.*, 43, 886–896.
- A. Borrmann, J. J. (2013). A multi-scale tunnel product model providing coherent geometry and semantics. *Proc. in ASCE International Workshop on Computing in Civil Engineering*. Los Angeles, CA.
- A. Borrmann, T. K. (2015). Multiscale geometric-semantic modeling of shield tunnels for GIS and BIM applications,. *Comput. Aided Civ. Inf. Eng.*, 30, 263–281.
- A. Borrmann, Y. J. (2012). Procedural modeling: A new approach to multi-scale design in infrastructure projects. *Proc. in EG-ICE Workshop on*, 1-10.
- A. Bradley, H. L. (2016). BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. (Elsevier, Ed.) *Automation in Construction*, 71, 139-152.
- A. Hammad, C. Z. (2006). Mobile model-based bridge lifecycle management system, *Comput. Aided Civ. Inf. Eng.*, 21(7), 530-547.
- A. Jootoo, D. L. (2016). A machine learning based approach to bridge design prototyping. *Proc. in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*, (págs. 846–1852). Osaka, Japan.
- A. Omoregie, D. T. (2016). Highway infrastructure and building information modelling in UK. *Proc. Inst. Civ. Eng. Munic. Eng.* , 169, 220–232.
- A.M. Shirole, S. C. (2008). Bridge information modeling for the life cycle,. *Proc. in International Bridge and Structure Management*,. New York.
- A.M. Shirole, T. R. (2009). BrIM for project delivery and the life-cycle: state of the art. *Bridge Structure* , 5(4), 173–187.
- Abdelwahab, H. (2017). Intelligent design (4D, 5D and beyond) for road design and. *International Road Federation (IRF)*, 12, 21-25.
- Abdirad, H. (2015). Advancing in building information modeling (BIM) contracting: Trends in the AEC/FM industry. *Birth and life of the integrated building - Proceeding of the AEI conference*.
- Academia de Centroamérica. (2017). *La infraestructura vial en Costa Rica: desafíos y oportunidades para las asociaciones público-privadas*. Obtenido de . Obtenido de: <https://www.academiaca.or.cr/wp-content/uploads/2017/12/PV-04-17.pdf>
- al., F. N. (2008). Structural health monitoring and reliability estimation: Long span truss bridge application with environmental monitoring data. *Elsevier*.

- Alwash, A. P. (2017). Impact and remedy of legal uncertainties in building information modeling. *Dispute Resolut. Eng. Constr*, 9(3).
- B. Fanning, C. C. (2014). Implementing BIM on infrastructure: comparison of two bridge construction projects. *Pract. Period.*, 20(4), 1-8.
- B. McGuire, R. A. (2016). Bridge information modeling for inspection and evaluation. *J. Bridg. Eng.*, 21(4), 1-9.
- B. Riverio, M. D. (2016). Automated processing of large point clouds for structural health monitoring of masonry arch bridges. *Autom. Constr.*, 72, 258–268.
- B. Sankaran, J. F.-M. (2016). Data integration challenges for CIM in. *Proc. in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*. Osaka, Japan.
- B. Sankaran, W. O. (2015). Establishing the level of development (LOD) requirements for modeling in highway infrastructure. *Proc. in International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (ICCBIE)*. Tokyo, Japan.
- Bien, J. (2011). Modelling of structure geometry in bridge management systems. *Arch Civil Mech. Eng*, 11(3), 519–532.
- C. Koch, A. V. (2017). A tunnel information modelling framework to support management, simulations and visualisations in mechanised tunnelling projects. *Autom. Constr*, 83.
- C. Koch, S. P. (2014). Achievements and challenges in machine vision-based inspection of large concrete structures. *Adv. Struct. Eng.*, 17(3), 303-318.
- C.-S. Shim, K.-M. L. (2012). Three-dimensional information. *Structural Engineering International* , 22(1), 8-13.
- C.S. Shim, N. Y. (2011). Application of 3D bridge information modeling to design and construction of bridges. *Procedia Eng.*, 14, 95-99.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2019). *Pensar en Costa Rica 2025*. San José.
- Construction, McGraw Hill. (2012). The business value of BIM for Infrastructure. *Smart Marmarket*.
- Contraloría General de la República de Costa Rica, CGR. (2018). *INFORME DE LA AUDITORÍA OPERATIVA SOBRE LA EFICIENCIA Y ECONOMÍA DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DE CARRETERAS DE LA*. San José. Recuperado el 14 de enero de 2016
- Costin, A. (2016). *A new methodology for interoperability of heterogeneous bridge information models*. Georgia.

- D. Kitsakis, E. D. (2017). Addressing public law restrictions within a 3D cadastral context. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 6, 6(7), 182.
- DiBernardo, S. (2012). Integrated modeling systems for bridge asset management - case. *Proc. in Structures Congress*. Chicago, Illinois.
- E. Petzek, L. T. (2016). Deconstruction of bridges an environmental sustainable concept. *Procedia Eng.*, 156, 348–355.
- F. Catbas, M. M. (2016). A machine learning-based algorithm for processing massive data collected from the mechanical components of movable bridges. *Autom. Constr.* 72, 72, 269-278.
- F. Peyret, J. J. (2000). The computer integrated road. *Automation in Construction*, 9(5-6), 447-461.
- F. Tanaka, M. H. (2016). Bridge information model based on IFC standards and web content providing system for supporting an inspection process. *Proc. in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*, (págs. 1140–1147). Osaka, Japan.
- F.A. Al-Shalabi, Y. T. (2015). BrIM implementation for documentation of bridge condition for inspection. *Proc. in 5th International/11th Construction Specialty Conference*. Vancouver, British Columbia.
- F.G.B. Blanco, H. C. (2014). The implementation of building information modelling in the United Kingdom by the transport industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 138, 510–520.
- H. Chong, R. L. (2016). Comparative analysis on the adoption and use of BIM in road infrastructure projects. *J. Manag. Eng.*, 32, 1-13.
- H. Hu, I.-S. A. (2010). Use of bridge information modeling for seismic accelerated bridge construction,. *Proc. in Transportation Research Board*. Washington.
- H. Hu, S. C. (2014). Development of alignment-based parametric. *J. Transp. Res. Board*, 2460, 22-30.
- H. Kim, K. O. (2014). Highway alignment construction comparison using object-oriented 3D visualization modeling. *J. Constr. Eng. Management*, 140(10), 1-12.
- H. Lee, M. L. (2017). A study on the development of 3D parametric model for reinforced concrete bridge piers. *Proc. in International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (ICCBIE)*. Taipei, Taiwan.
- H. Li, N. C. (2012). Virtual prototyping for planning bridge construction. *Autom. Constr.* 27, 1-10.
- Infralatam. (2019). *Infralatam*. Recuperado el 15 de 11 de 2019, de <http://es.infralatam.info/dataviews/252251/infraestructura-total/>

- J. Chen, T. B. (2014). A case study of embedding real-time. *Proc. in Construction Research Congress (CRC)*, (págs. 269-278). Atlanta.
- J. Wang, L. H. (2016). BIM-supported tunnel light environment evaluation: A case study on Shanghai Chenxiang Road Tunnel Project,. *Proc. in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*. Osaka, Japan.
- J. Zak, H. M. (2017). Utilization of building information modeling in infrastructure's. *Proc. in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, (págs. 1-6).
- J.C.P. Cheng, Q. L. (2016). Analytical review and evaluation of civil information modeling. *Autom. Constr*, 67, 21–47,.
- K. Helmi, T. T. (2015). Reference free method for real time monitoring of bridge deflections. *Eng. Struct.*, 103, 116-124.
- K. Hovey, H. L. (2012). KDOT's evaluation of sharing electronic data with contractors and GPS construction processes, *Proc. in Transportation Research Board*.
- K.M. Lee, Y. L. (2012). Bridge information models for construction. *Structure and Infrastructure Engineering* , 8(7), 687-703 .
- Kageyama, T. (2016). Preliminary verification of the effects of introduction of CIM in the detailed design phase of bridge. *Proc. in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*. Osaka, Japan.
- Karaman S. Gokhan, S. S. (2013). Three-dimensional parametric data exchange for curved steel bridges. *J. Transp. Res. Board*, 1, 27-34.
- L.R. Tawelian, S. M. (2016). The implementation of geotechnical data into the BIM process. *Procedia Enginnering*, 143, 734–741.
- Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2018). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y SUFICIENCIA DE LA INFORMACIÓN QUE RESPALDA LAS ESTIMACIONES DE PAGO DE OBRA Y USO DEL ÍTEM “TRABAJO A COSTO MÁS PORCENTAJE” EN LOS PROYECTOS DE CONSERVACIÓN VIAL*. San José. Obtenido de https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/1423/Informe%20LM-PI-AT-147-17%20Final_DH_JDR_MS_ws_SG_LL.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- LANAMME. (2019). *Informe de evaluación de la red vial nacional pavimentada de Costa Rica*. San José.
- Liapi, K. (2003). 4D visualization of highway construction projects. *Proc. in 7th International Conference on Information Visualization, IEEE*, (págs. 639-644). London, UK.

- Lobos, D. (2013). Términos de Referencia. Uso de modelos BIM. Dirección. *Concurso de Innovación Y Creatividad*.
- M. Abdessemed, S. K. (2011). Dynamic analysis of a bridge repaired by CFRP: experimental and numerical modelling. *Constr. Build. Mater*, 25, 1270-1276.
- M. Breunig, A. B. (2017). Collaborative multi-scale 3D city and infrastructure modeling and simulation Proc. in The International Archives of the Photogrammetry . *Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-4/W4*. Tehran, Iran.
- M. Gallaher, A. O. (2004). *Cost analysis of inadequate interoperability in the U.S. capital facilities industry*. Gaithersburg: NIST.
- M. Gholami, A. B. (2013). Assessment of bridge management system in Iran. *Procedia Eng*, 54, 573–583.
- M. Marzouk, A. A. (2012). Maintaining subway infrastructure using BIM. *Proc. in Construction Research Congress (CRC)*. West Lafayette, Indiana.
- M. Marzouk, A. A. (2014). BIM-based framework for managing performance of subway stations. *Automatic Construction*, 41, 252-257.
- M. Marzouk, A. A. (2014). Monitoring thermal comfort in subways using building information modeling. *Energ. BuildingsAutom. Constr.*, 84, 252–257.
- M. Marzouk, E. M.-Z. (2017). Assessing environmental impact indicators in road construction projects in developing countries,. *Sustainability*, 9(5), 843.
- M. Marzouk, M. H. (2011). A hybrid model for selecting location of mobile cranes in bridge construction projects. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, 8(3), 18-189.
- M. Marzouk, M. H. (2011). Bridge information modeling in sustainable bridge management. *Proc. in International Conference on Sustainable Design and Construction (ICSDC)*. Kansas City, Missouri.
- M. Marzouk, M. H. (2012). Application of building information modeling in cost estimation of infrastructure bridges. *Int. J. 3-D Inf. Model.*, 1, 17-29.
- M. Marzouk, M. H. (2014). Implementing earned value management using bridge information modeling. *KSCE J. Civ. Eng*, 18(5), 1302-1313.
- M. Mawlana, F. V. (2016). Integrating 4D modeling and discrete event simulation for phasing evaluation of elevated urban highway reconstruction projects. *Autom. Construction*, 60, 25–38.
- M. Minehane, K. R. (2015). Developing analisis bridge information model (BrIM) for a heritage listed viaduct. *Proc. in CITA BIM Gathering*. Dublin, Ireland.

- M. Obergruesser, A. B. (2012). Infrastructural BIM standards – development of an information delivery manual for the geotechnical infrastructural design and analysis process. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*, 581–587.
- Manderson, A. M. (2015). Building information modelling and standardised construction contracts: A content analysis of the GC21 contract. *Constr. Econ. Build*, 72–84.
- Matějka, P. (2014). The importance of a transport infrastructure construction for the implementation of BIM, In conference proceedings of People, Buildings and Environment 2014, an international scientific conference. *Kroměříž*, 23, pp. 277-287.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes de Costa Rica. (2011). *Plan Nacional de Transporte 2011-2035*. San José.
- Miyamoto, K. (2016). A framework for data coordination method of maintenance data and 3D conceptual model on CIM based database. *Proc. in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*. Osaka, Japan.
- N. Ali, S. C. (2014). Development of concrete bridge data schema for interoperability. *J. Transp. Res. Board*, 2406, 87–97.
- N. Kodama, R. F. (2017). Study of standard of LOD/LOI toward implementing CIM in Japan. *Proc. in International Conference on Civil and Building Engineering Informatics (ICCBEI)*. Taipei, Taiwan.
- N. Markiz, A. J. (2014). Integrating a fuzzy-logic decision support system with bridge information modelling and cost estimation at conceptual design stage of concrete box-girder bridges. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3, 135-152.
- N. Okasha, D. F. (2011). Computational platform for the integrated life-cycle management of highway bridges. *Engineering Structures*, 33, 2145-2153.
- O. Abudayyeh, H. A. (2003). As-built information model for bridge maintenance . *J. Comput. Civ. Eng.*, 17, 105-112.
- P. Pakkala, J. M. (2017). Benefits of virtual design and construction in civil engineering in the Nordics. *International Road Federation (IRF) Examiner*, 12, 27-31.
- Perotti, J. S. (2011). *La brecha de infraestructura en América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: CEPAL. Obtenido de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/6357/1/S110095_es.pdf
- Planbim. (2016). *Estándar BIM para Proyectos Públicos*. Santiago, Chile: Corfo.

- Q. Liu, T. G. (2017). The Information Requirements for Transportation Industry's Facilities Management Based on BIM. (Elsevier, Ed.) *The Open Construction and Building Technology Journal*, 11(137), 136-141.
- R. Eadie, T. M. (2015). An investigation into the legal issues relating to building information modelling (BIM). *The Australasian Universities' Building Educators Association Conference*. Sidney.
- R. Hudson, F. C. (1993). Microcomputer bridge management system. *J. Transp. Eng.*, 119(1), 59-76.
- R. Shetwi, B. F. (2015). Large-scale transportation infrastructure projects using building information modelling. *Proc. in Canadian Transport Research Forum (CTRF) Annual Conference*. Montreal, Quebec.
- S. Gristina, C. E. (2016). Developing a 3D road cadastral system: comparing legal requirements and user needs. *11th 3D Geoinfo Conference*, (págs. 223-331). Athens.
- S. Jeong, R. H. (2017). An information modeling framework for bridge monitoring. *Adv. Eng. Softw.*, 117, 1-27.
- S. Jeong, Y. Z. (2016). A NoSQL data management infrastructure for bridge monitoring. *Smart Struct. Syst.*, 17(4), 669-690.
- S. Kim, J. K. (2015). Development of a 3D underground cadastral system with indoor mapping for as-built BIM: the case study of Gangnam subway station in Korea. *Sensors*, 15 (12), 30870–30893.
- S. Vitasek, P. M. (2017). Utilization of BIM for automation of quantity takeoffs and cost estimation in transport infrastructure construction projects in the Czech Republic. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Prague.
- S.F. Huang, C. C. (2011). Design of track alignment using building information modeling. *J. Transp. Eng.*, 137, 823–830.
- S.H. Lee, B. K. (2013). Integration of bridge model data and engineering document information. *Proc. in International Conference on Applications of IT in the AEC Industry*. Beijing.
- S.H. Lee, S. P. (2014). Open BIM-based information modeling of railway bridges and its application concept. *Proc. in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*. Orlando, FL.
- S.H. Park, E. K. (2016). Middleware for translating urban GIS information for building a design society via general BIM tools. *J. Asian Architect. Build. Eng.*, 15(3), 447–454.

- S.M. Vick, I. B. (2016). A review of linear transportation construction progress monitoring techniques. *International Conference on Computing in Civil and Building Engineering*. Osaka, Japon.
- S.S. Chen, A. S. (2006). Integration of information and automation technologies in bridge engineering and management: extending state of the art. *J. Transp. Res. board*, 1-24.
- Sampaio, A. (2003). Geometric modeling of box girder deck for integrated bridge graphical system. *Autom. Constr.*, 12(1), 135-152.
- Sarkar, D. (2016). Risk based building information modeling (BIM) for urban infrastructure transport project, *Adv. Eng. Inform.* 1022-1026.
- W. Liu, H. G. (2014). Using BIM to improve the design and construction of bridge projects: a case study of a long-span steel-box arch bridge project. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 1-11.
- World Economic Forum. (2019). *The Global Competitiveness Report*. World Economic Forum, Cologny, Switzerland.
- Xu, J. (2017). Research on application of BIM 5D technology in central grand project. *Procedia Eng.*, 174, 600-610.
- Y. Ji, A. B. (2013). Exchange of parametric bridge. *J. Comput. Civ. Eng.*, 593–606. Obtenido de [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000286](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000286)
- Y. Sugita, T. K. (2016). Development of a design support system for geological disposal using a CIM concept. *Proc. in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*. Osaka, Japon,.
- Y. Zou, S. Z. (2014). A model-based BIM framework for bridge engineering. *Appl. Mech. Mater.* 587, 9(5), 1339–1343.
- Z. Aziz, Z. R. (2017). Leveraging BIM and big data to deliver well maintained. *Facilities*, 13-14.
- Z. Xiaoyang, L. J. (2016). Towards BIM based model integration and safety analysis for bridge construction . *Proc. in International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (ICCCBE)*. Osaka, Japon.

6 Apéndice

6.1 Apéndice 1

Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
Oportunidades	Técnico	Calidad del diseño	Se puede obtener un diseño más detallado.
			Se minimizan los errores, las interferencias e incongruencias entre las áreas técnicas.
			Se facilita el cumplimiento de los requerimientos del cliente.
			Diseño más preciso reduce la incertidumbre y facilita la estimación del precio en el proceso de contratación.
			Se reducen las solicitudes de información y las órdenes de cambio en etapa de construcción por una mejor interpretación del diseño.
		Planificación	Se facilita la simulación constructiva, secuencia de actividades, asignación de recursos y programación.
			Hay una mejor planificación y monitoreo de la construcción por una mayor colaboración entre las áreas técnicas.

⁶ Las características seleccionadas para cada dimensión, corresponden a las que tuvieron más peso en el análisis cualitativo realizado en el proceso de elaboración de la herramienta. Cada una de las características incluidas en la matriz corresponde a un concepto general que se explica con detalle en la tabla, se sugiere no debe interpretarse de forma aislada. Las características también pueden entenderse como criterios o particularidades

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
		Constructibilidad	Análisis de posibilidades y restricciones del proyecto e incorporación de métodos constructivos idóneos desde la etapa de anteproyecto.
			Es posible la simulación constructiva para optimizar el proceso. Se puede modelar elementos prefabricados.
			Se planifica la construcción desde etapas tempranas y se incorpora el proceso constructivo al modelo.
		Factibilidad	Aumenta el nivel de detalle en etapas tempranas y se tiene gran precisión son cantidades, alternativas, plazos y costos, y se precisa la factibilidad del proyecto.
			Se ejecuta la simulación energética.
			Mejora la calidad y precisión en la evaluación y administración de los componentes social, técnica y ambiental por una mayor colaboración.
			Maximiza la sustentabilidad.
		Modelo digital	Por el mayor nivel de detalle, se tiene más precisión y reducción de riesgos para determinar el proyecto viable.
			Es compatible con criterios de automatización.
			Se hace uso de los principales avances en digitalización e innovación en la industria.
			Facilita la visualización por los interesados.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
	Administrativo		Brinda posibilidades de Marketing digital mediante renderizado del modelo. Mejora comprensión del diseño.
		Ciclo de vida	Integra y define un flujo claro de la información del proyecto en todo su ciclo de vida (Prefactibilidad, planificación, diseño, construcción y operación).
			Mejora la planificación de la operación y mantenimiento de la infraestructura. Mejora el manejo de activos de la infraestructura. Facilita la supervisión e inspección del diseño y construcción.
			Promueve esquemas de contratación con menor incertidumbre por el grado de detalle y precisión del modelo. Se usan los pliegos cartelarios, procedimientos y las especificaciones técnicas estándar. Mejora la eficiencia institucional por estandarización en los procesos y flujos de trabajo.
		Toma de decisiones	El modelo digital facilita la interpretación de parte de los interesados del alcance del proyecto, así como la comunicación más clara y oportuna del avance del proyecto.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
			Facilita, refuerza y sustenta la toma de decisiones de la administración.
		Colaboración	Se trabaja de forma colaborativa entre los distintos interesados desde etapas tempranas. Se define un flujo de trabajo más claro. Se basa en una la comunicación y participación activa de las partes interesadas en todas las fases y etapas del proyecto.
			Implica una reestructuración organizativa con nuevos roles y responsabilidades. Hay una capacitación y participación activa en todo el proceso del equipo técnico de la administración.
		Manejo documental	Estandariza la generación, almacenamiento y transferencia de la información.
			Minimiza la pérdida de información entre las etapas del proyecto.
			Promueve el uso de lecciones aprendidas para futuros proyectos. Favorece la transparencia y acceso a la información. Mejora los procesos de comunicación a terceros. Facilita la gestión social y ambiental y la documenta.
	Económico	Productividad	Disminuye el retrabajo por errores en el diseño y minimiza las órdenes de cambio.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
			Reduce la cantidad total de HH efectivas para la elaboración del diseño, estudio de las alternativas, cambios y correcciones en el diseño.
			Aumenta la productividad en la etapa de construcción, operación y mantenimiento.
			Disminuye los sobrecostos en los proyectos por la mejora en la calidad de los diseños, de la supervisión y el esquema de contratación.
			Se genera una actividad económica estandarizada y generalizada a nivel global, que permite estar en capacidad de exportar servicios técnicos y profesionales.
			Brinda la posibilidad de contar con ventaja competitiva, acceso al mercado para el personal técnico.
	Bancabilidad		Mejora el retorno de la inversión. Disminución del riesgo financiero por la mayor precisión en los datos.
			Mejora la precisión en la factibilidad de los proyectos, la estimación de costos y facilita la planificación de un portafolio de proyectos.
	Uso de recursos		Mejor uso del presupuesto público por los ahorros en la fase de construcción, operación y mantenimiento.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
			Busca esquemas de contratación alternativos que incentiven la optimización del modelo y la reducción de costos por parte del contratista.
			Mejora la imagen de la organización por el uso de recursos tecnológicos más eficientes. Se optimiza el uso de los recursos, se reducen desperdicios y se potencia la eficiencia energética.
		Costo del proyecto	Los proyectos se ejecutan a un menor costos, más rápido y con menores riesgos.
			Hay una mayor inversión efectiva en obra pública.
			Aumenta el valor de la inversión a largo plazo por la mejor calidad en los entregables. Disminuye la cantidad órdenes de cambio.
		Retorno de la inversión	Las metodologías de contratación alternativas son más transparentes y restan posibilidades de corrupción.
			Menor cantidad de cambios en el proyecto y la estandarización de los procesos minimizan el riesgo de corrupción. La mejora en el manejo documental, en la calidad de los diseños y en el esquema de contratación; promueve y facilita la rendición de cuentas.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
			La digitalización del modelo permite comunicar oportunamente todo lo referente al avance del proyecto.
	Legal	Prevención de litigios	El esquema de contratación y el mayor nivel de detalle del diseño disminuyen la incertidumbre de las partes, se propicia una mayor comunicación y fluidez en los contratos evitando diferencias y eventuales litigios. El modelo y la estandarización de procesos permiten el registro eficiente de toda la información del proyecto en todas sus fases, se optimiza la trazabilidad de la información. Mejora la comunicación, registra los acuerdos y facilita la conciliación ante las diferencias.
		Recurso legal / apelación	En el proceso de contratación el modelo digital, tiene más información disponible, más claridad y precisión, con fácil acceso e interpretación por los participantes, y disminuyen las aclaraciones y recursos al proceso.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
		Distribución de riesgos	Busca la generación de términos legales y técnicos estándar, y facilita los procesos y disminuye riesgos. Mejora la integración de las cláusulas contractuales. Propicia un equilibrio en la distribución del riesgo y los costos. El proceso de contratación y el modelo detallado, tiene más información disponible, más precisión, de fácil acceso e interpretación, y se disminuyen los riesgos.
		Corrupción	Las metodologías de contratación alternativas son más transparentes y restan posibilidades de corrupción. Menor cantidad de cambios en el proyecto y la estandarización de los procesos minimizan el riesgo de corrupción. La mejora en el manejo documental, en la calidad de los diseños y en el esquema de contratación; promueve y facilita la rendición de cuentas.
		Cumplimiento de normativa	Es posible automatizar la verificación del cumplimiento de la normativa y de los requerimientos específicos del cliente. Se puede verificar en tiempo real el cumplimiento de la normativa a partir del análisis de alternativas y ajustes al diseño.
Limitaciones	Técnico	Interoperabilidad	Falta de un formato estándar para intercambio de datos en infraestructura, como IFC o NIEM.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
			Incompatibilidad entre algunos <i>softwares</i> multiplataforma y multidisciplinario, podrían presentar pérdida de datos o generación de errores. Ausencia de normativa o directrices gubernamentales para su regulación.
		Riesgo en transferencia de datos	Falta madurez en algunos estándares de transferencia de información para infraestructura, existe el riesgo de errores en la exportación de la información a otros <i>softwares</i> y plataformas, que considere la semántica propia y la geometría propia de la infraestructura. No contar con un respaldo propio en tiempo real de datos del modelo para todas las disciplinas. Mala calidad de internet en el sitio. Cuando el proyecto presenta gran cantidad de versiones, diferentes niveles de información NDI, propósito del modelo y definición de alcances y responsabilidades, se presentan problemas en O&M.
		Falta de estándares	Los contratos se han diseñado de acuerdo con la forma tradicional de ejecución y entrega de proyectos, un método de entrega muy basado en límites. No se dispone o no se usan carteles de contratación estándar internacionales debidamente probados y conocidos. No se dispone de especificaciones técnicas estandarizadas.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
		Escala del modelo	Existe una baja señal celular y velocidad deficiente en algunos sitios remotos que puede limitar el uso de BIM en construcción.
			El modelo debe manejar representaciones a múltiples escalas. Puede presentar errores de escala en la transferencia de datos y en los entregables del modelo.
			No existe estándar para la interoperabilidad de transferencia de datos.
			El modelo implica una alta generación de datos, se requieren equipos de gran capacidad y costo, o grandes capacidades de espacio en la nube.
		Innovación en el sector	El contrato no incluye incentivo para presentar propuestas innovadoras. No dispone de herramientas digitales innovadoras para maximizar la productividad y la seguridad. No se implementan dispositivos avanzados para control y monitoreo tecnológico de los activos. No se aprovechan herramientas de vanguardia para integración de sistemas de información geográfica, análisis estadístico de comportamiento de los activos, eficiencia energética. No se prevé la incorporación del internet de las cosas.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
	Administrativo		Menor madurez en el uso de BIM para infraestructura que Edificaciones.
		Estructura institucional	Se requiere cambios en la estructura organizacional, roles y responsabilidades, que implica ajustes importantes en el departamento técnico, incluso nuevos roles. La estructura organizacional no admite metodologías alternativas y colaborativas. El proceso de implementación es complejo y lento.
		Compromiso de la alta dirección	La alta dirección se resiste al cambio en los procesos, en los roles y responsabilidades por parte de los colaboradores y por parte de la misma entidad.
			Apego a las metodologías tradicionales de ejecución. Dificultades para trabajar con un enfoque de cooperación y alta comunicación. Falta de reconocimiento de los beneficios de BIM.
		Recurso humano	Requiere un proceso arduo de capacitación. Se presenta una alta resistencia al cambio. Hay un aumento importante de la carga trabajo corto plazo. No se dispone de personal técnico capacitado en conocimiento, habilidades y experiencia en la organización y/o en el mercado. No se cuenta con disposición para capacitación y educación continua por parte del personal.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
			Falta de recursos para capacitación.
		Contratación	Falta la adaptación de estándares a las diferentes legislaciones o falta de estándares de contratación.
			Falta de experiencia BIM de empresas con personal propio.
			Falta de profesionales capacitados y con experiencia en los diferentes roles.
		Madurez de la metodología	Falta de subcontratistas con experiencia en BIM.
			Mala calidad o indefinición de alcances contractuales para la metodología.
			Falta de definición de los entregables entre las fases del proyecto y subcontratista a contratista general.
		Madurez de la metodología	La industria BIM está muy poco desarrollada en el país a nivel privado y a nivel de Gobierno es prácticamente inexistente.
			BIM se ha desarrollado principalmente para edificaciones y actualmente está en pleno proceso de desarrollo e implantación en la infraestructura de transporte.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
	Económico	Esquema de desarrollo	El esquema de desarrollo va en función del tipo de financiamiento. Si es inversión del Estado (con presupuesto nacional, o con financiamiento), Fideicomiso, APP, etc. El uso y alcance de la metodología será en función de esta definición. Decidir implementar BIM en el Gobierno, con todos los cambios que esto implica. Algunos esquemas de desarrollo son más flexibles para el uso de metodologías y procedimientos alternativo. El tipo de esquema de desarrollo es una decisión de la administración.
		Aumento de costos a corto plazo	Por la pérdida de productividad al inicio, producto de la curva de aprendizaje los costos aumentan. Se debe invertir tiempo y recursos en capacitación. Curva de aprendizaje en la implementación implica invertir Los subcontratistas cobrarán aumentarán los costos y se deberá supervisar más detalladamente los trabajos, habrá un mayor número de HH en la ejecución del diseño.
		Falta de asignación de recursos	Falta de incentivos al personal para cambiar los procedimientos tradicionales. Se deben invertir muchos recursos en compra de <i>software</i> y <i>hardware</i> especializado para implementar la metodología.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
		Nivel de inversión de los proyectos	El retorno de la inversión del uso de BIM es relativo al monto de los proyectos. Para proyectos de bajo costo el retorno será mucho más difícil. No hay claridad en los beneficios económicos directos por usar BIM. La conveniencia de su uso es para empresas con cierto nivel de ingresos y es diferente para los diferentes tipos de servicios.
		Costo de inversión inicial	La precisión en la factibilidad de los proyectos, la estimación de costos y la planificación de un portafolio de proyectos, podría estar sometida a estrategia y decisiones de la organización. La compra de equipos, <i>softwares</i> y licencias adicionales genera una inversión considerable.
	Legal	Leyes y reglamentos actuales	Para lograr el mayor provecho de BIM en proyectos públicos se deben actualizar las leyes LCA y Concesiones.
			Armonizar cláusulas BIM con la normativa vigente. Vacíos legales
		Falta contrato estándar	Falta estandarización en contratos y en la uniformidad cláusulas contractuales. Existe alteración de los formularios estándar y puede existir dificultades en la ejecución por falta de comprensión. Mala definición del alcance de requerimientos y del plan de ejecución BIM.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
			Ajustar los métodos de entrega y los entregables del proyecto.
			Se debe examinar a fondo las posibilidades de los esquemas de contratación y la adaptación de los estándares contractuales existentes a la legislación nacional.
		Reclamaciones y disputas legales	Por la falta de definición de requerimientos BIM en el Contrato puede existir reclamaciones y disputas legales. Falta experiencia en el arbitraje de proyecto con BIM. El riesgo de reclamaciones aumenta cuando se contrata el diseño y la construcción de manera separada.
		Propiedad intelectual	Mala definición de los alcances de la propiedad intelectual sobre el modelo y honorarios profesionales específicos.
			Definición de derechos y obligaciones de uso actual y futuro del Modelo por las partes.
			Definición de cobertura de ley para derechos de autor de un modelo digital, programa audiovisual, planos diseños registrables separadamente.
			Dificultad para compartir datos con derechos de autor. Falta definición de procedimientos para la ubicación y control de los datos, se puede solventar con modelo federado. Falta de claridad con la propiedad del modelo y su evolución para las etapas posteriores.

Aspecto	Dimensión	Característica ⁶	Descripción de la característica
Tabla 23 Descripción de características de la matriz de valoración			
		Responsabilidad profesional	Falta de definición de los alcances profesionales en cada parte del modelo.
			Falta de cobertura de la responsabilidad profesional con las pólizas del mercado.
			Indefinición sobre la responsabilidad del fabricante de <i>software</i> .
			Incumplimiento del deber de advertir por parte de los profesionales.

Tabla 24 Matriz de oportunidades - plantilla

Aspecto	Dimensión	P	Característica	C	Valor	S1	S2
Tabla 24 Matriz de oportunidades - plantilla							
Oportunidades ⁷	Técnico		Planificación			0	0
			Calidad del diseño				
			Constructibilidad				
			Factibilidad				
			Modelo digital				
	Administrativo		Ciclo de vida			0	
			Estandarización				
			Toma de decisiones				
			Colaboración				
			Manejo documental				
	Económico		Productividad			0	
			Eficiencia en uso de recursos				
			Financiable				
			Costo del proyecto				
			Retorno de la inversión				
	Legal		Prevención de litigios			0	
			Recurso legal / apelación				
			Distribución de riesgos				
			Cartel estándar				
			Cumplimiento de normativa				

Para conocer la descripción de cada columna y las fórmulas a utilizar ver tabla No. 7.

⁷ Oportunidades puede considerarse como aspectos positivos o beneficios.

Tabla 25 Matriz de limitaciones - plantilla

Criterio	Dimensión	P	Característica	C	Valor	S1	S2
Limitaciones ⁸	Técnico		Interoperabilidad			0	0
			Pérdida en transferencia de datos				
			Falta de estándares				
			Escala del modelo				
			Innovación en el sector				
	Administrativo		Estructura institucional			0	
			Recurso humano				
			compromiso alta dirección				
			Contratación				
			Madurez de la metodología				
	Económico		Esquema de desarrollo			0	
			aumento costos corto plazo				
			Falta de recursos				
			Nivel de inversión de los proyectos				
			Costo de inversión inicial				
	Legal		Leyes y reglamentos actuales			0	
			Falta contrato estándar				
			Reclamaciones y disputas legales				
			Propiedad intelectual				
			Responsabilidad profesional				

Para conocer la descripción de cada columna y las fórmulas a utilizar ver tabla No. 7.

⁸ Limitaciones puede considerarse como aspectos negativos o desventajas.

Tabla 26 Valoración del índice P para oportunidades

Valoración del índice P para la matriz de aplicabilidad BIM a proyectos de infraestructura vial	
Criterio de valoración de <u>oportunidades</u>	Puntaje
La más influyente	7
	6
	5
	4
	3
	2
La menos influyente	1
Debe asignar un puntaje entre 1 (mínimo) y 7 (máximo). Además, la sumatoria de valores asignados a cada una de las 4 dimensiones debe ser exactamente 12. Así por ejemplo, si para el evaluador, las 4 dimensiones tienen el mismo nivel de influencia entre sí, entonces deberá asignar un valor de 3 puntos a cada uno.	

Tabla 27 Valoración del índice P para limitaciones

Valoración del índice P para la matriz de aplicabilidad BIM a proyectos de infraestructura vial	
Criterio de valoración de <u>limitaciones</u>	Puntaje
La más influyente	1
	2
	3
	4
	5
	6
La menos influyente	7

Debe asignar un puntaje entre 1 (mínimo) y 7 (máximo). Además, la sumatoria de valores asignados a cada una de las 4 dimensiones debe ser exactamente 12. Así, por ejemplo, si para el evaluador, las 4 dimensiones tienen el mismo nivel de influencia entre sí, entonces deberá asignar un valor de 3 puntos a cada uno.

Tabla 28 Valoración del índice C para oportunidades

Valoración del índice C para aspecto de oportunidades en la matriz de aplicabilidad BIM a proyectos de infraestructura vial		
Influencia de la característica (C)	Valor	Valoración de <u>oportunidades</u>
La más positiva		
	5	Presenta una condición totalmente positiva, sostenible y de mejora continua.
	4	Presenta una condición positiva pero tiene posibilidades de mejora.
	3	No tiene una condición positiva ni negativa, se puede potenciar una condición positiva con medidas sencillas al corto plazo.
	2	Tiene un aporte negativo sin embargo se puede contrarrestar parcialmente con medidas sencillas al corto plazo.
	1	Es una condición en extremo negativa y se puede contrarrestar con medidas fuertes al mediano o largo plazo.
	0	Es una condición totalmente negativa, no se puede contrarrestar por lo tanto es irreversible.
La menos positiva		
<i>Debe asignar valores de 0 a 5 según el nivel de influencia de la característica.</i>		

Tabla 29 Valoración del índice C para limitaciones

Valoración del índice C para aspecto de limitaciones en la matriz de aplicabilidad BIM a proyectos de infraestructura vial		
Influencia de la característica (C)	Valor	Valoración de <u>limitaciones</u>
La menos negativa		
	5	Presenta una condición improbable de afectación negativa.
	4	Presenta una condición poco probable y de poco impacto negativo.
	3	No tiene una condición positiva ni negativa, se puede potenciar la afectación positiva con medidas sencillas al corto plazo.
	2	Tiene un aporte negativo sin embargo se puede contrarrestar parcialmente con medidas sencillas al corto plazo.
	1	Es una condición en extremo negativa y requiere medidas fuertes para contrarrestar al mediano o largo plazo.
	0	Es una condición totalmente negativa, no se puede contrarrestar por lo tanto es irreversible.
La más negativa		
<i>Debe asignar valores de 0 a 5 según el nivel de negatividad de la característica.</i>		

6.2 Apéndice 2

A continuación, se detalla el diseño de las entrevistas realizadas a los expertos clave:

Entrevista 1. Representante del Gobierno, oficina de implementación del BIM.

ESTUDIANTE: NELSON CORDERO MONTERO

Entrevista para el trabajo final de investigación aplicada.

Fecha:

Perfil profesional: [\[incluir acá una breve descripción del perfil profesional\]](#)

Preguntas:

1. ¿Para usted, que es el BIM? ¿y cómo lo proyecta para los próximos años?
2. ¿Qué uso le ha dado usted a esta metodología o qué relación tiene con ella?
3. ¿Por qué usted quiere desarrollar o potenciar el uso del BIM en el sector público?
4. ¿Cómo puede el BIM mejorar la productividad o el resultado de un proyecto de ingeniería y especialmente un proyecto de obra pública?
5. ¿Qué grado de implantación tiene el BIM en proyectos públicos hoy en día en CR?
¿Y qué proceso se debe seguir para su implementación total?
6. ¿El gobierno puede implementar el uso de BIM en todos sus proyectos o para su aprovechamiento óptimo, se debe clasificar para cierto tipo y/o costo de proyecto?
¿Cómo funciona?
7. ¿Para potenciar el uso del BIM, cree que el mercado privado va a direccionar el uso de la metodología en el ámbito público o por el contrario, el gobierno debe adoptarlo en sus proyectos para potenciar el uso en lo privado?
8. Existen países o regiones a nivel mundial, que tiene un grado de madurez en el uso del BIM bastante importante, tal como Estados Unidos, La Unión Europea y Chile. Que incluso se ha normalizado como un requisito obligatorio en proyectos públicos. ¿Se podrá replicar esa experiencia adaptándola a la realidad de Costa Rica y en qué plazo?
9. ¿Cuáles son los principales cambios que se deben llevar a cabo en las instituciones para poder implementar esta metodología, es decir, cuáles son los principales retos? que considere aspectos tales como, el cambio en la estructura organizacional, en el flujo de trabajo, capacitación y el tipo de contratación. Mi caso se refiere específicamente a proyectos viales, pero puede ser generalizado.
10. Para complementar la pregunta anterior. ¿Se puede implementar BIM en un 100% bajo el marco de la LCA actual o esta debe ser ajustada para permitir su implementación?

11. ¿Cuáles son principales ventajas que ve usted al desarrollar un proyecto vial con BIM?

Entrevista 2. Consultor especialista en BIM, representante de empresa privada.

Estudiante: Nelson Cordero Montero

Entrevista para el trabajo final de investigación aplicada.

Fecha:

Perfil profesional: *[incluir acá una breve descripción del perfil profesional]*

1. ¿Para usted, que es el BIM? ¿Es una tendencia a corto plazo o es un cambio permanente en la forma de ejecutar los proyectos?
2. ¿Qué uso le ha dado usted a esta metodología o cuánto tiempo tiene de utilizarla?
3. ¿Cómo puede el BIM mejorar la productividad o el resultado de un proyecto de ingeniería?
4. ¿Cuánto cuesta implementar BIM en un proyecto? ¿Se recupera esa inversión?
5. ¿Qué grado de implantación tiene el BIM en la industria nacional hoy en día? ¿Y qué falta para su implementación total?
6. ¿Para usted cualquier empresa puede adoptar el uso del BIM para todos sus proyectos o existe su aprovechamiento óptimo se puede clasificar para cierto tipo de proyecto o, a partir de un costo mínimo?
7. ¿Para potenciar el uso del BIM, cree que el mercado privado va a direccionar el uso de la metodología en el ámbito público o por el contrario, el gobierno debe adoptarlo en sus proyectos para potenciar el crecimiento privado?
8. ¿Cómo pensaría usted que debe ser el proceso de adopción de esta metodología en proyectos públicos en nuestro país? Mi caso se refiere específicamente a proyectos viales, pero puede ser generalizado.
9. Existen países o regiones a nivel mundial, que tiene un grado de madurez en el uso del BIM bastante importante, tal como Estados Unidos, La Unión Europea y Chile. Que incluso se ha normalizado como un requisito obligatorio en proyectos

públicos. ¿Se podrá replicar esa experiencia adaptándola a la realidad de Costa Rica al corto plazo?

10. ¿Cuáles son las principales dificultades que usted visualiza al poder adoptar esta metodología por parte de las instituciones públicas en sus proyectos? que considere aspectos tales como, el cambio en la estructura organizacional, en el flujo de trabajo, capacitación y el tipo de contratación.
11. Para complementar la pregunta anterior. A nivel de contratación administrativa, ¿habría que hacer cambios importantes para poder desarrollar proyectos con BIM o con la LCA si es posible?
12. ¿Cuáles son principales ventajas que ve usted al desarrollar una carretera con BIM?

Entrevista 3. Especialista en gerencia de proyectos de obra pública. Dirección de importante proyecto de obra pública vial en ejecución.

Estudiante: Nelson Cordero Montero

Entrevista para el trabajo final de investigación aplicada.

Fecha:

Perfil profesional: *[incluir acá una breve descripción del perfil profesional]*

1. ¿Cómo califica usted el estado actual de las carreteras en el país?
2. Según el índice de Competitividad Global, publicado por el Foro Económico Mundial, en el índice de infraestructura de transporte, Costa Rica se encuentra posicionado en el puesto 98/140. En el caso específico de carreteras. En conectividad (velocidad promedio entre principales ciudades) estamos en 111/140 y en la calidad (entrevistas a sectores productivos) en 124/140. De acuerdo con su experiencia en el sector; ¿cuáles considera usted que son las razones principales por las que Costa Rica ha caído en esta condición?
3. ¿Qué decisiones a nivel nacional, se deben de tomar, para revertir esta situación y direccionar de manera firme el mejoramiento de la infraestructura vial?

4. ¿En términos generales, explique el modelo o la forma en que tradicionalmente se han gestionado los proyectos de infraestructura en nuestro país? y ¿Cuáles son las principales deficiencias y virtudes de este modelo?
5. ¿Qué consejos puntuales mencionaría usted para mejorar la Gerencia de un proyecto de obra pública?
6. ¿Cuáles son los principales retos en la operación y mantenimiento del Corredor Vial?

A partir de la breve introducción sobre que el *Building Information Modeling* (BIM), se le presentan las siguientes preguntas:

7. ¿De acuerdo con lo expuesto, en que aspectos de la gerencia de proyectos, que considere todo el ciclo de vida del proyecto, visualiza usted que pueden ser beneficiados con esta metodología?
8. ¿Cree usted que esta metodología pueda y deba ser implementada en la ejecución de este proyecto?
9. ¿Qué debilidades, dudas o cuestionamientos tiene sobre la metodología y su viabilidad de aplicación?