

**BIM en la planificación y diseño de proyectos de infraestructura vial: una revisión
sistemática desde el año 2000 al 2017**

Nilson Eduardo Santamaria Navarro

Proyecto de grado para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Omar Giovanni Sanchez Rivera

MSc. Ingeniero Civil

Codiretor:

Jherson Jhadir Bohorquez Castellanos

Ingeniero Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2019

Agradecimientos

El autor expresa agradecimiento al grupo de investigación de Geomática, Gestión y Optimización de Sistemas, de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Industrial de Santander al aportar las bases de este proyecto.

Se agradece a los investigadores: Omar Giovany Sánchez Rivera, Karen Milady Castañeda Parra, Mayra Alejandra Valenzuela Gutiérrez, Jherson Jahir Bohórquez Castellanos, Guillermo Mejía Aguilar, Hernán Porras Díaz, por los aportes conceptuales brindados en el desarrollo de la investigación.

Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Marco Teórico	13
1.1 BIM (Building Information Modeling)	13
1.2 Proyectos de infraestructura vial	14
1.3 Planificación de proyectos de infraestructura vial	15
2. Metodología	17
2.1 Búsqueda de Información.....	17
2.2 Clasificación de información	19
2.3 Extracción y recolección de información.....	22
3. Resultados	23
3.1 Principales aplicaciones de BIM apoyando actividades de planificación y diseño de infraestructura vial.....	23
3.2 Línea de tiempo de aportes en proyectos de infraestructura vial	27
3.3 Planificación en proyectos de infraestructura vial	30
3.4 Diseño de proyectos de infraestructura vial	32
3.5 Diseños en software	33
4. Discusión.....	34
4.1 BIM en carreteras	34

4.2 BIM en puentes	35
4.3 BIM en túneles	35
4.4 Metodología de planificación BIM	36
4.5 BIM metro subterráneo	36
4.6 Ruta de planificación BIM	37
4.7 Supervisión BIM	37
4.8 Estimación de costos	38
5. Conclusiones	39
Referencias Bibliográficas	42

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Relación entre número de documentos con Revistas, años de publicación y bases de datos.	20
<i>Figura 2.</i> Proceso de búsqueda clasificación y recolección de información	21
<i>Figura 3.</i> Numero de documentos en cada categoría asignada.....	22
<i>Figura 4.</i> Línea de tiempo de los avances en la planificación y diseño de infraestructura vial.....	30
<i>Figura 5.</i> Relación de documentos.	31

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Base de datos para la búsqueda de información.</i>	18
Tabla 2. <i>Palabras clave utilizadas en la búsqueda de documentos</i>	18
Tabla 3. <i>Aportes en la planificación y diseño de proyectos de infraestructura vial.</i>	24

Resumen

Título: BIM en la planificación y diseño de proyectos de infraestructura vial: una revisión sistemática desde el año 2000 al 2017..*

Autora: Nilson Eduardo Santamaria Navarro **

Palabras Clave: Infraestructura BIM, Infraestructura, Diseño y BIM, Carretera BIM, Planificación de la infraestructura vial, Diseño de infraestructura vial.

La planificación y diseño de proyectos de infraestructura vial ha venido presentando avances tecnológicos, y todo gracias a la ayuda de softwares utilizados especialmente para tareas como: diseño, modelación y organización, donde se da seguimiento a los recursos a invertir para desarrollar proyectos de pequeña escala y megaproyectos. Estos estudios con software, incluso, ya son exigidos para presentar y avalar la ejecución de un proyecto y así minimizar costos por desperdicio en la construcción, donde hoy en día aún no se tiene un control eficiente. Al ser tendencia estos estudios en software en la planificación y diseño de proyectos de infraestructura vial, resulta importante tener comprensión de lo que se ha obtenido en los principales avances. Este artículo se direcciona a una revisión sistemática, donde se observa un gran aporte de esta tecnología desde el año 2000 al 2017. Esta revisión sistemática se inició con un total de 342 documentos que se obtuvieron de las bases de datos especializadas. Los resultados presentados dan a entender que año tras año se evidencia la importancia que se asume en la investigación en este campo de la ingeniería civil en la planificación y diseño de proyectos combinado con enfoques asistidos por computador, en donde se encuentra vinculado con herramientas como Building Information Modeling (BIM) que integra la información en la construcción de proyectos..

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Álvaro Viviescas Jaimes

Abstract

Title: BIM in the planning and design of road infrastructure projects: a systematic review from the year 2000 to 2017*

Author: Nilson Eduardo Santamaria Navarro **

Keywords: BIM Infrastructure, Infrastructure, Design & BIM, BIM Highway, Road Infrastructure Planning, Road Infrastructure Design.

Planning and design of road infrastructure projects has been presenting technological advances, and all thanks to the help of software used especially for tasks such as: design, modeling and organization, where the resources to be followed are tracked to develop small-scale projects and megaprojects. These software studies, even, are already required to present and endorse the execution of a project and in this way minimize costs for waste in the construction, where now a days it still do not have an efficient control. Since these software studies are a thend I the planning and design of road infrastructure projects, it is important to have an understanding of what has been achieved in the main advances. This article is directed to a systematic review, where a great contribution of this technology has been observed since 2000 to 2017. This systematic review stared with a total of 342 documents that were obtained from the specialized databases. The results presented suggest that year after year the importance of research assumed in this field of civil engineering in the planning and design of projects combined with computer-assisted approaches, where it is linked to tools such as Building Information Modeling (BIM) that integrates the information in the construction of projects. .

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecanicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Guillermo Mejía Aguilar PhD en Ingeniería de la Construcción Codirector: Jherson Jhadir Bohorquez Castellanos Ingeniero Civil

Introducción

El tiempo actual en el que se encuentra la industria de la construcción, es complejo, pero aun así se torna manejable con las herramientas que el hombre ha ido incorporando para tener más control con todo lo relacionado con las nuevas oportunidades que la tecnología ofrece, ya que con los avances obtenidos en el desarrollo de programas para el cálculo de cualquier tipo de estructura se puede garantizar de mejor manera la seguridad y el costo de esta, donde al pasar el tiempo, estos dos factores son los más predominantes en la ejecución de un proyecto.

La industria de la construcción es una de las ramas que más se desarrolla y a una velocidad bastante rápida, ya que gracias a que se ha implementado la tecnología de última generación con los procesos de construcción, esta rapidez se ve reflejada en los diferentes sistemas y softwares diseñados exclusivamente para todo lo relacionado con la construcción de todo tipo de estructuras (Beach, Petri, Rezgui, & Rana, 2017; Laing, Leon, Mahdjoubi, & Scott, 2014; Takim, Harris, & Nawawi, 2013).

La nueva tecnología ofrece herramientas muy útiles a la hora de pensar en cuestiones de proyectos, ya que ahorran tiempo en cálculos y se puede determinar el costo total del mismo. Sin embargo, no se ha quedado ahí; actualmente, se utilizan los diferentes softwares para observar y analizar cómo será el proyecto en su total terminación, cuanto y que clase de materiales se necesitan, así como la mano de obra utilizada en la ejecución del proyecto (Laing et al., 2014).

Estas nuevas herramientas como lo es BIM, y con la adecuada forma de manejar la información, se prevé que son el futuro de la construcción, ya que ahora los sistemas inteligentes

pueden lograr desde la planeación del proyecto una idea más amplia y realista de lo que va a ser al momento de terminar la construcción (autodesk, n.d.; Chong, Lee, & Wang, 2017).

En la actualidad, la metodología que se usa es básicamente BIM (Building Information Modeling). Este sistema permite revisar diseños a través de una visualización tridimensional antes de empezar a construir, además, está demostrado que utilizando BIM, los costos en un proyecto son menores y se tiene una visión más óptima del diseño del proyecto (Chong et al., 2017).

A través del tiempo se ha notado la evolución de BIM, sin embargo, no se tiene una organización para ver de una manera más efectiva la magnitud de esta nueva herramienta que se puede utilizar para todos los trabajos relacionados con la construcción, y con esta idea, parte la iniciativa de buscar toda la información posible sobre publicaciones de los diferentes años en los que el sistema BIM ha tenido un cambio que refleja puntos de inflexión, los cuales han ayudado al desarrollo de la construcción y de una manera cronológica a organizar los aspectos más relevantes en la industria y su implementación a través de software para visualizar esta evolución.

Con esta información se pretende analizar como BIM puede mejorar y automatizar los procesos de planificación y diseño de proyectos de infraestructura vial, y así ver cuál es la mejor decisión que se puede llevar a cabo para tener el menor costo en la ejecución de un proyecto.

1. Marco Teórico

1.1 BIM (Building Information Modeling)

BIM es una herramienta para generar datos de un proyecto de construcción en donde se usa CAD. Un BIM contiene la información espacial, las propiedades de los materiales y además permite que el usuario actualice la información, puede usarse para diferentes situaciones, como el diseño e integración de la construcción, optimización, evaluación de riesgos, estimación de costos, programación, comunicación, coordinación, documentación, valor creciente en diseño, productividad, calidad, seguridad, eficiencia, sostenibilidad energética y gestión. BIM es considerado en el mundo como una herramienta útil para mejorar la eficiencia en la industria de la construcción y reducir sus altos costos (Aladag, Demirdögen, & Isik, 2016). Además, no es solo una herramienta, es un proceso tecnológico para producir, comunicar y analizar modelos de construcción. Abarca desde su creación datos digitales relacionados con el tiempo y los costos de todo un proyecto durante su desarrollo, esto es necesario para la infraestructura de proyectos y en particular para determinar gastos incurridos durante la construcción (Chong, Lopez, Wang, Wang, & Zhao, 2016a). Así mismo, cuenta con un amplio campo de productividad para determinar diferentes aspectos de un proyecto futuro, en donde se resalta aspectos sociales, económicos y ambientales, factores que son fundamentales a la hora de evaluar cualquier cambio (Chong et al., 2017).

BIM es definido como "un verbo o frase adjetiva para describir herramientas, procesos, y tecnologías que son facilitadas por la lectura digital y así observar sobre un proyecto su desempeño, su planificación, su construcción y luego su funcionamiento". A su vez, se conoce como el arte de gestionar y recolectar información durante todo un ciclo a fin de obtener una representación digital para después tomar decisiones. El resultado es un "modelo de información de construcción". Las herramientas de software BIM se caracterizan por la capacidad de compilar modelos virtuales utilizando objetos paramétricos legibles por máquina que exhiben un comportamiento acorde con la necesidad de diseñar y analizar (Bradley, Li, Lark, & Dunn, 2016; Fazli, Fathi, Enferadi, Fazli, & Fathi, 2014; Sacks, Koskela, Dave, & Owen, 2010).

Este sistema es uno de los descubrimientos importantes para la arquitectura, la ingeniería y la construcción, toda vez que refleja en forma tridimensional los elementos que forman los objetos, tiene características y parámetros como de masa, longitud, capa, piso y fase incorporada, dicho de otra manera, tiene componentes que se incorporan exactamente al trabajo (Jankowski, Prokocki, & Krzemiński, 2015). El éxito de la implementación de BIM depende de la eficiencia de los flujos de trabajo e información utilizados en el diseño y construcción; el beneficio de la tecnología, permite almacenar los análisis obtenidos a partir de los datos recopilados. Con esto, puede mejorar la entrega del producto, que incluye calidad, confiabilidad y consistencia del proceso realizado (N. D. Aziz, Nawawi, & Ariff, 2016; Chong et al., 2017).

1.2 Proyectos de infraestructura vial

La infraestructura vial es un conjunto de elementos útiles para el desplazamiento seguro y confortable de vehículos durante su recorrido (S., 2014), así que, en un mundo de constate

crecimiento y desarrollo económico, es necesario implementar soluciones que permitan la comunicación y el desplazamiento entre sus diferentes entornos, para lo cual se ejecutan proyectos que garanticen un tránsito efectivo y confiable mediante el diseño, construcción y mantenimiento de la estructura vial (Masood, Kharal, & Nasir, 2014).

En ese sentido, los posibles usos de BIM son de gran importancia ya que se establecen estudios que brindan un tránsito efectivo, cómodo y seguro, esto es necesario para la ejecución de un proyecto ya que ayuda a optimizar costos y efectividad (Chong et al., 2017).

La construcción de una ciudad compleja se debe entender que es una tarea difícil, sin embargo, con la nueva tecnología BIM es factible controlar las condiciones y los procesos para resolver problemas de comunicación (Lou, Xu, & Wang, 2017). En ese sentido, los proyectos de edificación acelerados en las áreas urbanas permiten el mejoramiento de las instalaciones un impacto mínimo en el tráfico de flujos y actividades comerciales. Por otro lado, estos esquemas plantean desafíos para controlar el envejecimiento de obras urbanas, edificios e infraestructuras civiles mediante renovaciones y mantenimientos oportunos, mismos que pueden traer problemas como cierres, interrupciones de negocios y preocupaciones de seguridad en ambientes ocupados (Anusha et al., n.d.; Kalasapudi, Tang, Zhang, Diosdado, & Ganapathy, 2015).

La infraestructura vial es necesaria para el crecimiento y desarrollo económico de un país, así que es de gran importancia establecer estudios que brinden un tránsito efectivo, cómodo y seguro.

1.3 Planificación de proyectos de infraestructura vial

La planificación de proyectos de infraestructura vial consiste en organizar todas las actividades que son parte del proceso de desarrollo de la construcción, donde se dictan pautas para la organización

del proyecto para evitar conflictos entre tareas y así, disminuir costos y riesgos (“Icte 2015 2754,” 2015).

Cualquier planificación de proyectos de infraestructura vial se debe hacer en diferentes niveles básicos, el primero de ellos es la planificación estratégica o de largo plazo, donde básicamente es el anteproyecto, donde se centra en aspectos globales y sin llegar a ningún nivel de detalle muy grande para así determinar propuestas de costos de una vía o estudios de factibles que servirán de base a la planificación del proyecto. El segundo nivel es la planificación táctica o de mediano plazo, la cual planifica de forma concreta el proyecto y generalmente es el actual plan de construcción del proyecto, y el ultimo nivel de planificación es el operacional o de corto plazo, en donde se ve al detalle las actividades ya definidas en el anterior nivel para ejecutar el proyecto y las tareas que lo componen evitando interferencias y faltas de recursos (“Icte 2015 2754,” 2015; Lou et al., 2017).

En el diseño de la infraestructura vial, esta nueva metodología BIM es aplicable a diversos campos de la ingeniería civil, ya que se implementa con la tecnología para la ejecución de proyectos de construcción o edificaciones. Funciona de la misma manera para proyectos de infraestructura vial y lo que varía es la estructura a diseñar y las herramientas para la creación de elementos viales como lo es AutoCAD (Correa, 2016).

Son varios procesos los que intervienen en el desarrollo de un proyecto BIM para infraestructura vial, como lo es la programación, donde se incluye los objetivos, diseño, presupuesto, también abarca recopilación de información de tráfico, topografía, zonas de riesgo y posibles expropiaciones, además, se decide las herramientas BIM a utilizar como INFRAWORKS y AutoCAD. También se debe pensar en el análisis y el detalle del proyecto ya que con BIM se puede seleccionar la alternativa y el diseño con mejor viabilidad (Correa, 2016).

2. Metodología

En esta sección se presenta los detalles de las actividades realizadas para la recopilación, clasificación y extracción de información de los documentos que están relacionados con BIM e Infraestructura vial, donde surgen tres secciones: (1) búsqueda de información, (2) clasificación de información, y (3) extracción y recolección de información.

2.1 Búsqueda de Información

Para la búsqueda de los documentos científicos seleccionados, se utilizaron las diferentes bases de datos de la universidad industrial de Santander, donde dos investigadores fueron designados para buscar todo tipo de artículos que trataran con temas específicos en relación a BIM e Infraestructura Vial. Los documentos se buscaron con las palabras claves acordadas con el director del proyecto y el estudiante responsable de la ejecución del proyecto.

En la tabla 1, se presentan las bases de datos utilizadas para la búsqueda de información. En la tabla 2, se presentan las palabras claves utilizadas en cada una de las bases de datos.

Tabla 1.

Base de datos para la búsqueda de información.

Id	Base de datos	Encargado
1	ELSEVIER	Investigador 1
2	Google	
3	ASCE	
4	ICE	
5	MDPI	
6	ScienceDirect	
7	Esmerald Insight	Investigador 2
8	THE ROYAL SOCIETY	
9	Springer	
10	Taylor and Francis	
11	otras	
12	CIB	

Tabla 2.

Palabras clave utilizadas en la búsqueda de documentos

Id	Palabra clave
1	BIM Infrastructure
2	Infrastructure
3	Design & BIM
4	BIM Highway
5	Road Infrastructure Planning
6	Road Infrastructure Design

Cada investigador descargó los documentos de las diferentes bases de datos que se asignaron, buscando por las palabras claves definidas (ver tabla 2), como resultado del proceso se recopilaron un total de 342 documentos, sin embargo, al hacer una revisión rápida de los títulos, se encontraron 35 documentos repetidos los cuales fueron retirados.

2.2 Clasificación de información

Para la etapa de clasificación de información, se tomaron los 307 documentos restantes y se procedió a la lectura de resumen de cada documento para así realizar un filtro que deje como resultado los artículos que están únicamente enfocados en el área de infraestructura vial, unidos con el estudio y aplicación de BIM, y con ellos tener la muestra necesaria para abordar nuestro caso de estudio.

Al terminar esta revisión se obtuvo que 69 documentos hablan sobre los temas de interés a los que nos queremos enfocar para nuestro trabajo, y los otros 238 documentos restantes fueron descartados ya que no cumplían con una expectativa de encontrar información necesaria.

Con los 69 documentos seleccionados para trabajar se procedió a organizarlos en un archivo de Excel para así descartar algún otro documento repetido teniendo como bases de esta organización el título, los autores, el journal, año de publicación, idioma, base de datos donde se publicó el documento y un resumen donde se pueda leer y analizar de que trata el documento, para así tener una idea más amplia sobre el contenido y tema de cual habla cada documento. En la figura 1, se puede observar el nombre de revista, año de publicación y base de datos de los 69 documentos seleccionados como muestra.

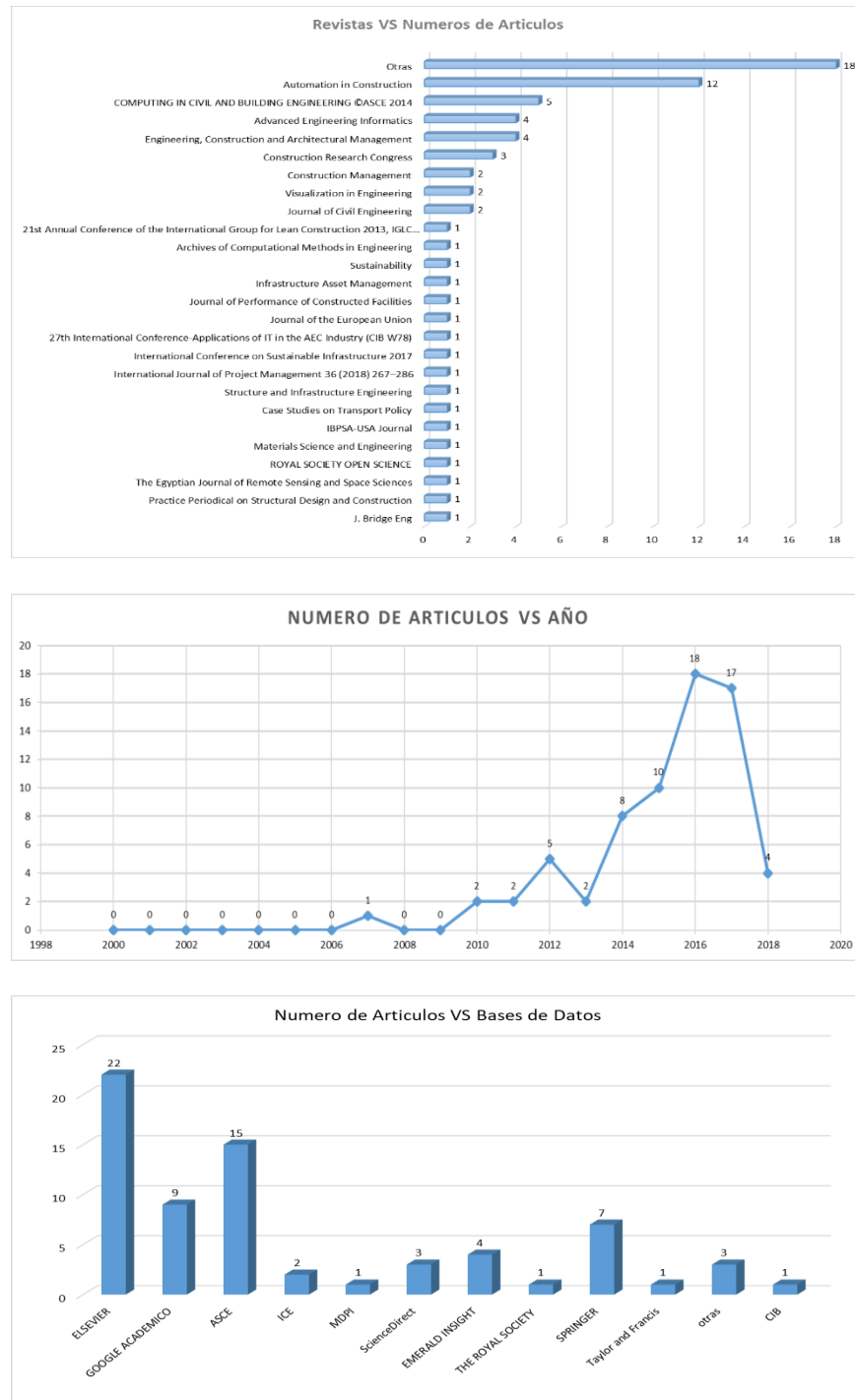


Figura 1. Relación entre número de documentos con Revistas, años de publicación y bases de datos.

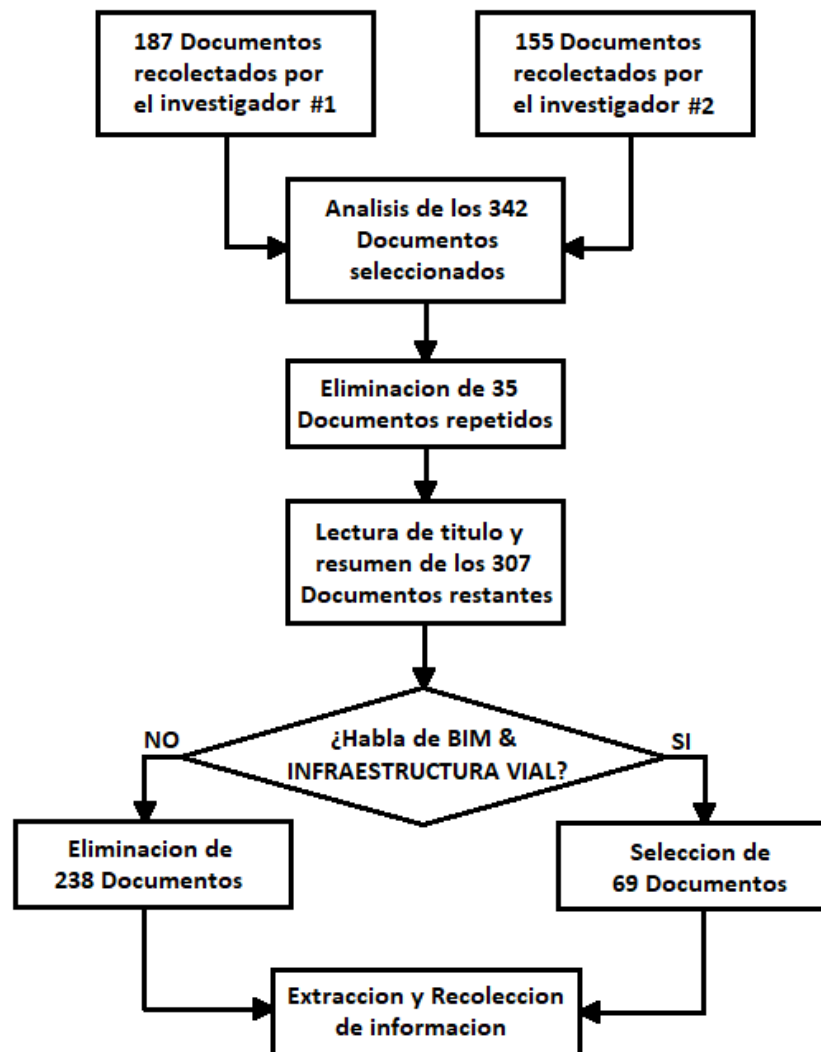


Figura 2. Proceso de búsqueda clasificación y recolección de información

La figura 2, muestra el proceso de búsqueda y clasificación de la información.

Teniendo en cuenta el proceso de selección de los documentos recolectados, y luego de leer el resumen de cada uno de ellos, para así, tener una idea más clara de lo que podemos encontrar, se asignaron las siguientes categorías: (1) conceptos básicos de planificación, (2) planificación en rutas subterráneas y seguridad, (3) aspectos ambientales relacionados con proyectos de

infraestructura vial, (4) diseño de proyectos de infraestructura vial, (5) planificación en proyectos de infraestructura vial, (6) diseños en software, (7) monitoreo de proyectos de infraestructura vial.

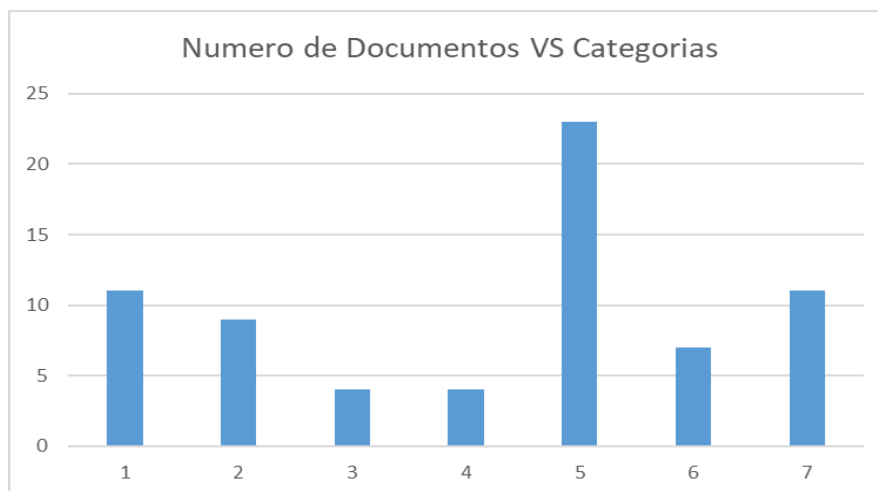


Figura 3. Numero de documentos en cada categoría asignada.

En la figura 3, se observa la clasificación de los documentos según las categorías asignadas para visualizar el punto de enfoque de cada una de ellas.

Esta organización de documentos para la investigación, se hizo en el software XMIND, donde se clasificaron los 69 documentos en un mapa mental y con base a su contenido se definieron categorías que une características de cada artículo.

2.3 Extracción y recolección de información

Con la clasificación de la información ya organizada, se procedió a obtener datos y evidencias que ayudaran a cumplir los objetivos planteados en esta investigación.

Las categorías que se seleccionaron como evidencia para iniciar este proceso fueron: (1) diseño de proyectos de infraestructura vial, (2) planificación en proyectos de infraestructura vial, (3) diseños en software, en donde podemos encontrar que representan un total de 34 documentos.

Para iniciar con el proceso de recolección de información, se procedió a leer cada documento y extraer información necesaria con resúmenes en Microsoft Word de lo relacionado con planificación y diseño de infraestructura vial. Con estos resúmenes de información se logró caracterizar los avances en planificación y diseño en diferentes proyectos viales en todo el mundo.

3. Resultados

Con la información sustraída de los 34 documentos utilizados, se encontraron diversas aplicaciones de uso de BIM (Building Information Modeling) en la ejecución de proyectos de infraestructura vial.

3.1 Principales aplicaciones de BIM apoyando actividades de planificación y diseño de infraestructura vial

En la tabla 3 se organizan en orden cronológico los aportes que se tienen en la planificación y diseño de proyectos de infraestructura vial, los cuales muestran avances en proyectos de carreteras, túneles y puentes.

Tabla 3.

Aportes en la planificación y diseño de proyectos de infraestructura vial.

Año	Aporte
2010	O. Seif et al., describen una estrategia de entrega integrada del proyecto (IPD), que depende de la participación temprana de todas las partes del proyecto para aumentar la colaboración y aumentar el rendimiento. Además, presentan un Modelado de información de construcción (BIM), que es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación (Seif & Engineer, 2010).
2011	CS Shim et al., propone un esquema de información extensible para puentes para permitir la interoperabilidad entre diferentes procesos de diseño y construcción. Desde la etapa de planificación de un proyecto de construcción de puentes hasta la etapa de construcción (Shim, Yun, & Song, 2011).
2012	Saidi K. et al., están investigando cómo la metodología propuesta se compara con metodologías alternativas, como el radar de penetración en el suelo y las metodologías electromagnéticas, que identifican la ubicación, la cobertura y el diámetro de la barra de refuerzo (Akula et al., 2012).
2014	Zhenhua S. et al., se basan en representaciones en 3D de alternativas de alineación de carreteras para reducir el tiempo empleado en la planificación y reducir el costo general del proyecto, El objetivo es construir un sistema de modelo inteligente 3D con información de ingeniería practica para mejorar el proceso de diseño y construcción (S., 2014).
2014	S. Džumhur et al., desarrollan un escenario para la práctica de proyectos de infraestructura vial donde inician un proceso de establecimiento de directrices y adoptan estándares para la implementación de BIM (Ljevo & Mari, 2018).
2014	S. Lee et al., para aplicar BIM de manera efectiva a la infraestructura ferroviaria, propuso métodos aproximados para utilizar la IFC actual y medidas para agregar entidad ha modelado de información basado en la IFC existente para gestionar la información de la fase de diseño del puente ferroviario (Jung, Berges, & Jr, 2014a).
2014	Mohamed M. et al., presentan una aplicación específica de puente que realiza su función de manera automatizada para realizar estimaciones de costos y medir el rendimiento en

Año	Aporte
	cualquier fecha durante la ejecución del proyecto. Está diseñado de manera flexible para ser utilizado con valores predeterminados (Marzouk & Hisham, 2014).
2015	Blaine F. et al., proporcionan un análisis comparativo que evalúa la magnitud de los impactos asociados con el uso de BIM en la construcción de puentes, tanto para implementaciones de primera vez como para implementaciones de seguimiento (Fanning, Clevenger, Ozbek, & Mahmoud, 2015).
2015	A. Borrmann et al., desarrollan un prototipo de información geográfica para la planificación, diseño y construcción en túneles, las representaciones a escala múltiple están bien establecidas en geografía y cartografía (Borrmann et al., 2015).
2016	H. Y. Chong et al., la investigación ha logrado su objetivo principal de analizar y comparar la opción y el uso de BIM en los proyectos de proyectos en Australia y la República Popular China. Los hallazgos cualitativos se obtuvieron principalmente en base al análisis de los modelos BIM y los documentos relacionados en ambos proyectos (Chong et al., 2016a).
2016	Hyunjoo K. et al., este estudio propone un modelo de objeto inteligente en 3D en la construcción de carreteras para representar electrónicamente una gran cantidad de información en proyectos de carreteras basados en la norma internacional ISO 10303. También conocido como STEP (Estándar) (Kim, Shen, Moon, Ju, & Choi, 2016).
2016	Brendan M. et al., presentan un método y una implementación de prototipos para rastrear y evaluar la condición estructural de los puentes. El método utiliza software con Building Information Modeling (BIM) para vincular y analizar datos relacionados con la inspección, evaluación y gestión de puentes (McGuire, Atadero, Clevenger, & Ozbek, 2016).
2016	Sedek y Serwa, integran un enfoque en las tecnologías TLS y BRLM. Los resultados demuestran que la técnica existente puede emplearse para sentir los elementos defectuosos o la imprecisión de la estructura de forma rápida y precisa (Sedek & Serwa, 2016).
2016	S. K. Leen et., proponen un método para un sistema operativo de telepresencia basado en un objeto activo que está vinculado con datos de video en tiempo real para la gestión

Año	Aporte
	eficiente del proceso en relación con el proyecto con el fin de aumentar el uso de ND datos de objetos CAD, que se utilizan recientemente en varias maneras de diseños de proyectos (Kang, Kim, Moon, & Kim, 2016).
2016	Yang Z. et al., presentan un enfoque para integrar el conocimiento y la experiencia en BIM para la gestión de riesgos al vincular BIM a un RBS personalizado. resumen los desarrollos y los desafíos existentes en los métodos de administración de riesgos tradicionales y basados en BIM, se explora la posibilidad de separar BIM en diferentes LOC y sistemas técnicos (Zou, Kiviniemi, & Jones, 2016).
2016	Lee S. et al., este estudio examina la aplicabilidad del esquema de datos IFC existente a túneles de carretera NATM, y utilizó los resultados para expandir el IFC existente para permitir el intercambio y la gestión eficiente de la información de diseño del túnel (Lee, Park, & Park, 2016).
2017	Z. Aziz et al., revisan el valor que se puede generar a través de la gestión integrada de datos de ciclo de vida de los datos habilitados por BIM, además argumentan que los datos de las fases de diseño y construcción de los proyectos pueden utilizarse para informar a los registros de activos desde un momento anterior (Z. Aziz, Riaz, & Arslan, 2017).
2017	Tezel y Aziz, investigan la realización actual de VM y explorar las posibles oportunidades para futuras implementaciones de VM en carreteras y proyectos de construcción, donde VM es una de las prácticas centrales del sistema de producción Lean. Es una estrategia administrativa que sugiere compartir información relevante e información sensorial fácil de entender (Tezel & Aziz, 2017).
2017	Thomas B. et al., describen una superposición BIM que permite la federación automática de datos BIM distribuidos de una manera coherente y administrada. También describe un enfoque distribuido de BIM que aborda varias barreras claves para la adopción de BIM en la industria de la construcción (Beach et al., 2017).
2017	W. ZhouLa et al., presentan estadísticas de datos y participan en el análisis de modelos, diseño de investigación y redacción del documento; realizan las estadísticas de información y participan en el análisis del archivo; además llevan a cabo la coordinación general y el trabajo de acuerdo sobre la investigación (Zhou et al., 2017).

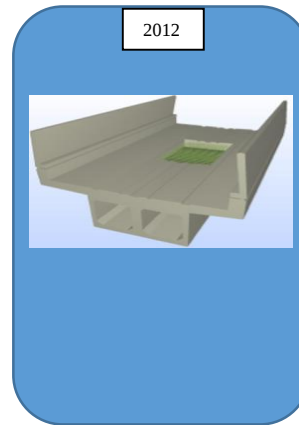
Año	Aporte
2018	B. Sankaran et al., ilustran hallazgos estadísticos con ejemplos de casos obtenidos a través de guías documentadas de la literatura y las guías de práctica de las STA. La evidencia respaldó la importancia del lenguaje contractual, las pautas de procedimiento y las PPP para aumentar el uso de la CIM (Sankaran, Nevett, O'Brien, Goodrum, & Johnson, 2018).
2018	Charles T. et al., Usan un enfoque conceptual de arriba hacia abajo donde se muestra el Nivel de Detalle (LOD), es un elemento crucial en la definición del contenido de un uso BIM. cubren una gran parte de los objetos que componen un proyecto de infraestructura (seguridad, drenaje e impacto ambiental) (Tolmer, Castaing, Diab, & Morand, 2017).
2018	Bimal K. et al., presentan algunos resultados clave para generar ideas para una adopción más amplia de BIM en importantes proyectos de infraestructura. Este documento proporciona una descripción de cómo se adoptó BIM en parte de un importante proyecto de infraestructura en Escocia con el fin de evaluar sus beneficios (Kumar, Cai, & Hastak, 2017).

3.2 Línea de tiempo de aportes en proyectos de infraestructura vial

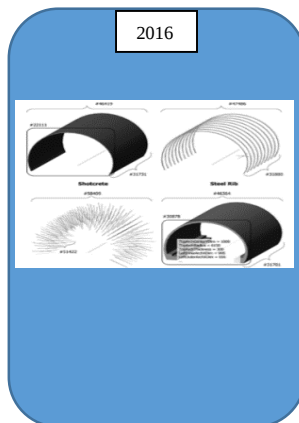
En la figura 4, se ilustran los principales avances de BIM relacionados con las actividades de planificación y diseño de infraestructura vial en un periodo comprendido entre el año 2000 al 2018 a través de una línea del tiempo.



O. Seif et al., presentan un Modelado de información de construcción (BIM), que es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación [20].



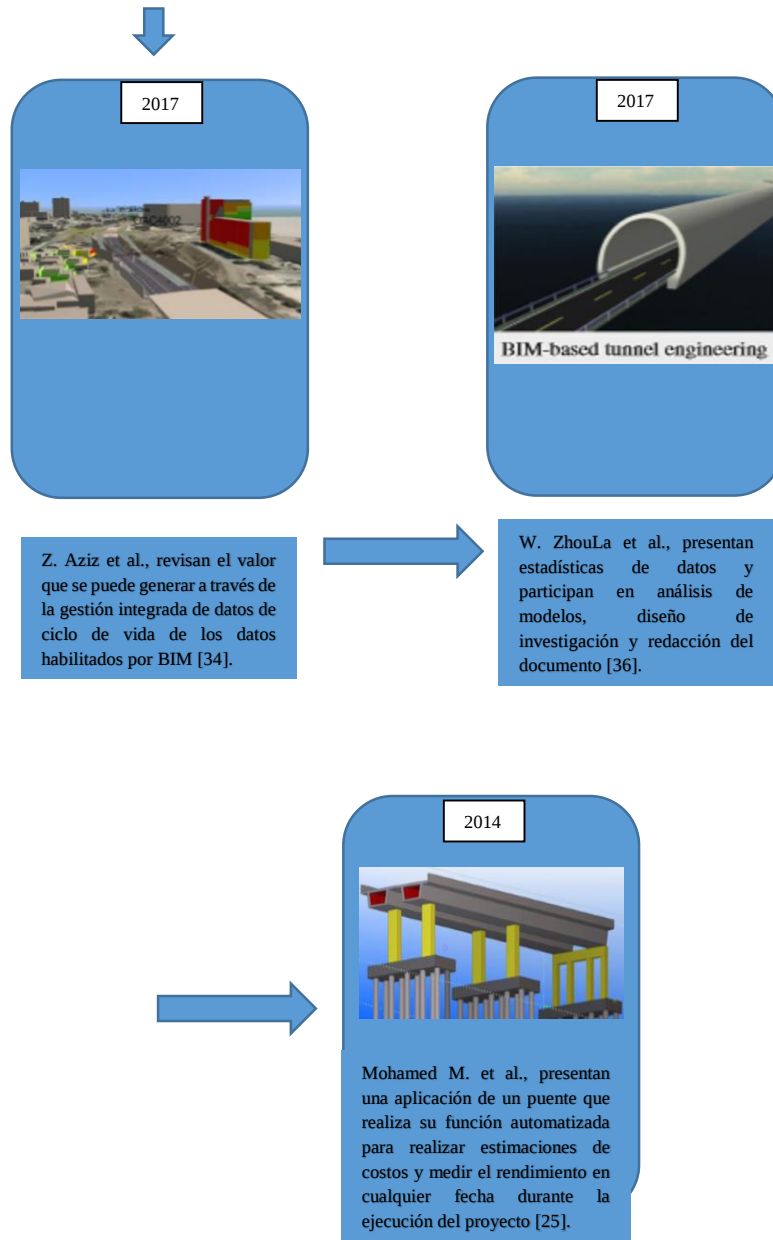
Saidi.K.et al, está investigando como el método propuesto se compara con metodologías alternativas, como el radar de penetración en el suelo y las que identifican la ubicación, la cobertura y el diámetro de la barra de refuerzo [22].



Lee S. et al., este estudio examina la aplicabilidad del esquema IFC existente a túneles de carretera NATM y utilizó los resultados para expandir IFC y permitir el intercambio y gestión eficiente de información de diseño del túnel [33].



H.Y. Chong et al., la investigación ha logrado el objetivo de analizar y comparar la opción y el uso de BIM en los proyectos de Australia y la República Popular China [7].



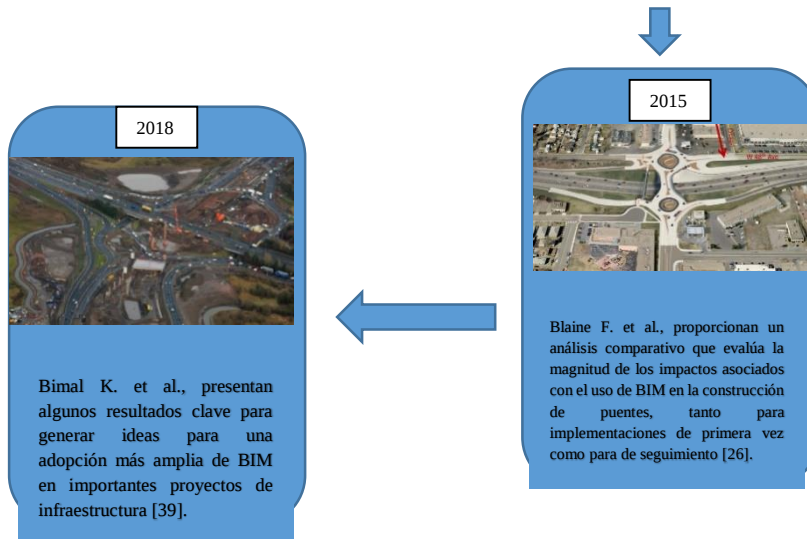


Figura 4. Línea de tiempo de los avances en la planificación y diseño de infraestructura vial.

3.3 Planificación en proyectos de infraestructura vial

Teniendo en cuenta el número de documentos seleccionados para esta revisión sistemática, se puede analizar el avance en temas específicos con respecto a la infraestructura vial y sus aplicaciones en campo de cada ramificación, en donde se refleja que se ha tenido mayores avances en temas de investigación de la mano con Building Information Modeling (BIM). En la figura 5 se puede observar la centralización del estudio de la planificación de proyectos viales y se puede proyectar hacia donde seguirán estos estudios.

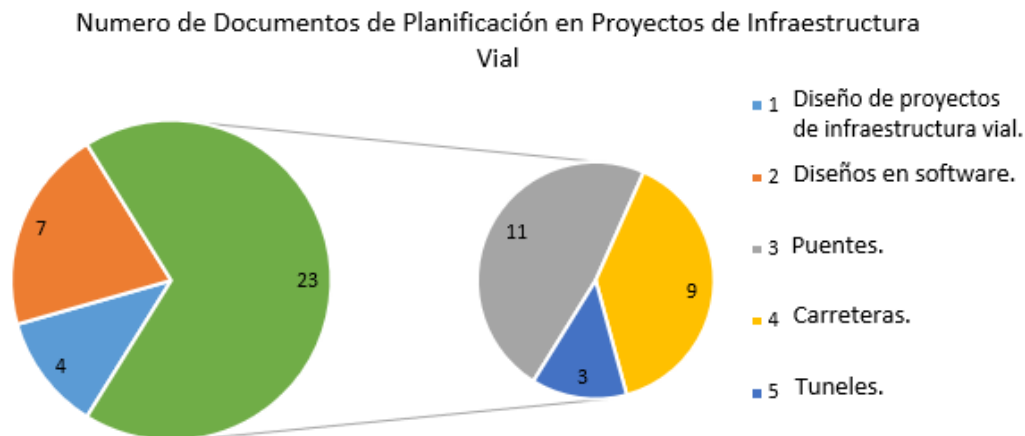


Figura 5. Relación de documentos.

Con 23 documentos de estudio, la planificación de proyectos de infraestructura vial muestra enfoque en el que se dirige las investigaciones y en lo que va a ser tendencia para años futuros en la búsqueda de aplicaciones con BIM. Además, con los datos recopilados se puede analizar hacia dónde se quiere llegar en temas de desarrollo de vías, como los son el estudio de puentes y carreteras de altas velocidades, y con esto se puede proyectar la unión de la planificación con sistemas BIM, donde se aprovecha la optimización de los recursos y los tiempos de ejecución.

En la información sustraída, se analizan proyectos de en donde se ve de buena manera el uso de BIM, sin embargo, también se debe tener en cuenta que estos estudios han sido empleados como pruebas de desarrollo con el solo objetivo de analizar si en verdad se refleja una ventaja considerable en temas de planificación y construcción, los datos arrojados en los proyectos no han dejado del todo claro las ventajas ya que, al ser un método nuevo para la industria de la construcción, se comenten errores de apreciaciones no contemplados lo que genera sobrecostos por no tener una idea clara de su utilización.

Se debe también resaltar que en el éxito del uso de BIM en temas de planificación ha sido muy superior en todos sus aspectos, así que no cabe duda que al ser utilizada de manera adecuada, la información ayuda a tener un menor costo con una productividad mayor en la obra.

En ocasiones BIM no puede aplicarse durante todo el período de un proyecto porque existe cierta incompatibilidad entre diferentes unidades de software de diseño, software de construcción y software de operador, esto sucede porque la aplicación de BIM en ingeniería aún se encuentra en su etapa inicial, en el futuro inminente, esta tecnología se extenderá gradualmente a otros campos, como la construcción de túneles de montaña, metro y túneles municipales (Zhou et al., 2017).

3.4 Diseño de proyectos de infraestructura vial

En el diseño de proyectos de infraestructura vial, se tiene poca información ya que debe ir a la par de la planificación, en donde su estudio no ha tenido profundidad en los inicios de BIM. Con la información recolectada para efectos de diseño se encontraron 4 documentos pertinentes para casos de infraestructura vial, donde tal vez, esto sea un obstáculo para tener un mejor avance en el campo de aplicación ya que no se cuenta con información disponible y certera.

La definición de tener el diseño con el uso de BIM se traduce en poder realizar una construcción virtual con intercambio de fases dependiendo del diseño que se ejecuta en la obra. Sin embargo, desde la fase de diseño hasta la fase de construcción, la información puede eliminarse, archivarse o adicionarse según el caso, lo cual generaría una disminución en la productividad (Minagawa & Kusayanagi, 2015).

Si en la fase de construcción, se realizan cambios en el diseño o si este es insuficiente en la estructura, disminuye notoriamente la eficiencia de la operación y el mantenimiento. Si el diseño

es en tecnologías 2D, un cambio de diseño impredecible provoca un retraso en el programa y una reducción de la productividad. Y si se utiliza el proceso de diseño BIM, el costo para el diseño aumenta, pero el impacto para la reducción del costo total es mayor que el aumento en el costo del diseño (Chong, Lopez, Wang, Wang, & Zhao, 2016b; Minagawa & Kusayanagi, 2015).

3.5 Diseños en software

Se logra entender que, gracias al desarrollo de software, se tiene un avance importante en la construcción vial, y esto facilita en gran medida los cálculos y parámetros a seguir para hacer que un proyecto vial funcione de una manera correcta.

Se tienen ventajas como en la realización de programaciones para planificar procesos en la obra, en donde los proyectos de construcción son cada vez más complejos (Platt, 2007).

La tecnología de construcción BIM, además de las innumerables ventajas que posee en el diseño y etapa de construcción, digitalmente es una plataforma segura y estructurada, pues requiere de la utilización de un espacio digital abierto al que pueden ingresar los miembros de un equipo de trabajo para compartir información y estar visualizando el avance de cada tarea del proyecto (Son, Bosché, & Kim, 2015).

Además, en dicho entorno colaborativo de las tecnologías BIM, se establecen flujos de intercambio de información, permitiendo que todos los datos del proyecto se pueda transmitir entre las distintas áreas de trabajo y que a su vez, se verifique y apruebe el modelo de información que genere confiabilidad y exactitud en los datos adicionados al BIM (Son et al., 2015).

4. Discusión

4.1 BIM en carreteras

Teniendo en cuenta que BIM es una representación digital compartida basada en estándares, también proporciona beneficios al proyecto desde diferentes ámbitos:

- Para el diseñador, BIM facilita la creación de diferentes alternativas de diseño, al igual que puede realizar modificaciones en el diseño reduciendo el tiempo y esfuerzo.
- Para el contratista, BIM coordina de manera eficiente los modelos y crea la mejor visualización del proyecto.
- Para el propietario, BIM es modelo de información de construcción integrado al finalizar el proyecto, generando de esta manera toda la información sobre la obra, como por ejemplo los contratistas que trabajaron en el proyecto y las fotos de la construcción en diferentes etapas antes, durante y después, generando de este modo la etapa de operación y mantenimiento.

El BIM en proyectos de infraestructura vial, sirve para crear, gestionar y mantener toda la información crítica relacionada con un activo, como información geoespacial, representación gráfica de las redes de transporte, recursos requeridos en el proyecto, etc. La utilización adecuada de los datos BIM ayudará a lograr una solución de diseño generalmente rentable y mejorará la eficiencia en la comunicación entre los interesados en el proyecto (Chong et al., 2016b).

4.2 BIM en puentes

Se hace necesaria la aplicación de BIM para proyectos de puentes, ya que, genera estabilidad en la información de diferentes fases desde el diseño, obteniendo una representación tridimensional de datos y conlleva hasta el mantenimiento, facilitando la inspección y evaluación de puentes, y permitiendo que las empresas transportadoras administren de manera eficiente los inventarios de puentes y conduzcan a una práctica más autorizada.

Por otro lado, BIM tiene una aplicación de Modelado de información de puente (BrIM). Bridge Information Modeling (BrIM) que como su nombre lo dice, es una representación inteligente de puentes, que almacena toda la información necesaria en la construcción del puente a lo largo de todo su ciclo de vida, el costo y la administración del tiempo en la ejecución de la obra (Seif & Engineer, 2010).

4.3 BIM en túneles

La tecnología BIM se incluye a la construcción de túneles, principalmente durante el diseño de sus etapas de construcción y operación con el objetivo de solucionar temas en los cuales se incluyan estructuras complejas, se realicen diseños extensos, la construcción tenga un ciclo de construcción prolongada, falta de estándares, combinación compleja con GIS (Sistema de Información Geográfica) y en el momento de la construcción del proyecto se encuentre con riesgos de seguridad, por lo tanto, ayuda a presentar en forma de un modelo informatizado y digital, por medio del cual se puede disfrutar de una experiencia visual en 3D del túnel (Zhou et al., 2017).

4.4 Metodología de planificación BIM

De acuerdo con una comparación entre la utilización de los métodos tradicionales y tecnología BIM en proyectos de construcción vial, generalizando que las tecnologías BIM ofrecen mayores beneficios para el avance del diseño y trabajo colaborativo. Por lo tanto, los métodos tradicionales, que han sido útiles para proyectos realizados en la historia, se perciben cada vez más como arcaicos o sustituidos (Omoregie & Turnbull, 2016).

A través de recursos digitales compartidos, BIM ofrece estimaciones de costos, cuantificaciones y mediciones precisas que se pueden generar directamente, a comparación del enfoque tradicional que generalmente el proyecto requería de un aumento del 50 -80%. Sin dejar a un lado que los costos pueden sufrir variaciones en el ciclo de vida de un proyecto, esto es en la planificación, el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de la instalación una vez finalizada (Omoregie & Turnbull, 2016).

4.5 BIM metro subterráneo

La utilización de BIM en proyectos de líneas férreas y trenes, tienen un aspecto importante en cuanto al apoyo informativo del sistema de monitoreo, recopilación y análisis de información. También posee un enfoque basado en procesos para el mantenimiento de estructuras artificiales y a así optimizar costos, esto de acuerdo a una base de datos que contenga el historial de mantenimiento de las instalaciones.

4.6 Ruta de planificación BIM

Las ventajas de dicho método de planificación, se mantiene en el análisis de BIM a GIS. Si la información interior es el valor agregado de BIM para el análisis espacial, se utilizan además elementos de construcción detallados de BIM para crear automáticamente, que no solo mejoró la eficiencia, sino también detalles renovados en comparación con la red interior del antiguo modelo, no obstante, el análisis SIG la adopta para aplicaciones en interiores y exteriores.

Los modelos pueden clasificarse en cuatro categorías: el modelo geométrico de trabajo en red (GNM), el modelo de espacio navegable, la subdivisión modelo de método, y el modelo de cuadrícula regular. Que representa relaciones topológicas entre objetos urbanos 3D (Teo & Cho, 2016).

4.7 Supervisión BIM

Luego de cada actividad terminada, es necesario realizar una inspección o monitoreo de calidad en la construcción y debe ser continuo, esto con el fin de identificar inconformidades o defectos que alteren el trabajo realizado y de esta manera corregir de ser necesario el problema hallado además si se exceden en dicha revisión, puede generar conflictos que obstaculizan el control de calidad y el buen funcionamiento del proyecto.

En cuanto a la implementación de un programa de gestión de calidad, se cataloga como necesaria, debido a que minimiza el retrabajo "esfuerzo innecesario de rehacer un proceso o actividad que se implementó incorrectamente la primera vez", de esta manera se economizan costos y el tiempo puede cumplirse con lo estipulado.

El sistema de información geográfica (GIS) tiene la capacidad de almacenar, analizar e informar la ubicación geográfica actual, por medio de datos de atributos asociados e información del tiempo. Sin embargo, dichos datos contribuyen con el monitoreo del proyecto a gran escala, aplicando también imágenes de teledetección contenidas en la base de datos GIS, las cuales pueden ser monitoreo ambiental, mapeo y planificación del uso de la tierra, estas son hechas en la superficie superior de la tierra, tomadas por sensores que se encuentran en vehículos espaciales o aéreos, los cuales permiten, que las características en la superficie de la tierra, sean analizadas e interpretadas según su ubicación espacial y temporal [29],(Behnam et al., 2016).

Los proyectos de construcción de infraestructura tradicional, poseen un 57% de desperdicio en costos de mano de obra, esto por causa de errores en la construcción, falta de información actualizada, planificación subóptima y flujo de información, también el retraso de informes de la obra, genera errores e interrumpe la comunicación entre el constructor y propietario del proyecto (Kivimaki & Heikkila, 2015).

4.8 Estimación de costos

Las tecnologías BIM y GIS se han utilizado ampliamente para diversas construcciones y aplicaciones, y sus éxitos han demostrado que la integración de BIM y GIS tienen potencial para mejorar las prácticas existentes para la gestión de la infraestructura vial.

Una de las características importantes del sistema es que puede proporcionar visualizaciones 3D de la carretera, puentes y túneles. El motor de modelado 3D permite al usuario identificar los componentes de la ruta, como de corte de movimientos de tierra, secciones de puentes y secciones de túneles ya que una visualización clara permite una comprensión del plan general del proyecto.

La reciente integración de BIM y GIS representa una oportunidad sin precedentes para que las partes interesadas de la construcción gestionen un proyecto de infraestructura con procesos mejorados de diseño e ingeniería (Jung, Berges, & Jr, 2014b; Vitásek & Matějka, 2017).

A cualquier inversor le conviene conocer los costos del proyecto de construcción con el mayor detalle posible, a fin de tomar decisiones económicamente acertadas con respecto al desarrollo de los trabajos de construcción. (Vitásek & Matějka, 2017).

5. Conclusiones

En esta revisión sistemática se hace un aporte al estudio de avance a través del tiempo de Building Information Modeling (BIM), y a su proceso de participación en diferentes proyectos de infraestructura vial en temas relacionados con la planificación y diseño, se hace una recopilación de la información más actualizada desde el año 2000 donde fueron los inicios de la unión de la tecnología con la construcción inteligente, y se alcanza a visualizar en temas estadísticos que ha tenido un crecimiento exponencial al ser de gran ayuda en temas de disminución de costos y efectividad en ejecución de obra.

Los documentos utilizados para esta investigación muestran el cómo se está trabajando con software en los proyectos de obras viales de carreteras, puentes y túneles y la ventaja que se adquiere al utilizar estas herramientas para aprovechar al máximo los tiempos de ejecución, dando así una mejor calidad de vida a los usuarios por temas de movilidad y seguridad vial.

Con BIM, los proyectos de planificación y diseño de infraestructura vial mejoran en su calidad de ejecución al manejar un buen análisis de datos e ingresarlos de manera correcta y precisa, ya que, por su parte los métodos tradicionales se exponen a fallas si se tiene que generar un cambio de objetivo en la dirección inicial del proyecto.

Con el estudio de los diferentes proyectos realizados con esta nueva herramienta se hace notorio que las obras de ingeniería través del tiempo son más grandes y complejas, sin embargo en la gran mayoría de construcciones aún se implementan sistemas convencionales ya que no se ha hecho un esfuerzo amplio a nivel de estudio para orientar a los profesionales a participar de lo que ofrece en evolución el Building Information Modeling (BIM) y de su gran aporte a la construcción vial teniendo en cuenta que se puede lograr proyectar la mejor ruta de planificación y ejecución con el solo hecho de observar y analizar comparaciones entre los diferentes costos de alternativas para llevar con éxito el proyecto.

En términos generales la planificación y diseño con BIM supera los métodos tradicionales gracias al espacio comunicativo y colaborativo, sin embargo, hay que resaltar que, en los proyectos a corto plazo los métodos tradicionales son más beneficiosos ya que no representan tiempo en estudios y ejecución, mientras que los proyectos a largo plazo proporcionan productividad y eficiencia sacrificando tiempo en su etapa inicial para modelos en 3D para así tomar mejores decisiones.

En la mayoría de casos de estudio se puede ver que al utilizar BIM se maneja información en simultaneidad, lo cual es la clave del éxito de ese nuevo aporte de la tecnología, permitiendo que toda esta información del proyecto se pueda transmitir entre las distintas áreas, que a su vez sea verificada y aprobada en el modelo de información y visualización.

Los datos contenidos en estos modelos, se almacenan e intercambian información que se utiliza para el monitoreo en tiempo real, por lo que se pueden reducir los costos y su tiempo de trabajo durante la construcción.

En la actualidad BIM se encuentra ya en todas las ramas de la ingeniería civil, sea desde vías, estructuras, aguas y en todas las obras que incluyen procesos de toma de decisiones donde más adelante se refleja en buenos manejos de recursos. Destaca que en la rama donde más investigaciones se tiene es la de estructuras de edificaciones, se entiende esta tendencia ya que, desde hace muchos años la humanidad ha venido desarrollando la construcción vertical.

La infraestructura vial ha dado saltos gigantes en megaproyectos con la utilización de BIM, donde se usa actualmente a una pequeña escala con el solo propósito de saber interpretar los datos y ejecutarlos en la realidad, ya está en uso esta tecnología y la tendencia que se muestra es que seguirá creciendo no solo en estudiar el proceso, también en la implementación en todos y cada uno de los proyectos para hacer de la construcción un trabajo más ordenado y beneficioso para las partes involucradas.

Referencias Bibliográficas

- Akula, M., Lipman, R. R., Franaszek, M., Saidi, K. S., Cheok, G. S., & Kamat, V. R. (2012). Augmenting BIM with 3D Imaging Data to Control Drilling for Embeds into Reinforced Concrete Bridge Decks. *Construction Research Congress 2012*, 1145–1154. <https://doi.org/10.1061/9780784412329.115>
- Aladag, H., Demirdögen, G., & Isık, Z. (2016). Building Information Modeling (BIM) Use in Turkish Construction Industry. *Procedia Engineering*, 161, 174–179. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.520>
- Anusha, S. P., Vanajakshi, L., Asce, A. M., Subramanian, S. C., Rilett, L., & Asce, M. (n.d.). Cycle-by-Cycle Analysis of Signalized Intersections for Varying Traffic Conditions with Erroneous Detector Data, 1–12. <https://doi.org/10.1061/JTEPBS.0000059>.
- autodesk. (n.d.). BIM para Infraestructura :Un medio para transformar los negocios.
- Aziz, N. D., Nawawi, A. H., & Ariff, N. R. M. (2016). Building Information Modelling (BIM) in Facilities Management: Opportunities to be Considered by Facility Managers. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 234, 353–362. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.10.252>
- Aziz, Z., Riaz, Z., & Arslan, M. (2017). Leveraging BIM and Big Data to deliver well maintained highways. *Facilities*, 35(13–14), 818–832. <https://doi.org/10.1108/F-02-2016-0021>
- Beach, T., Petri, I., Rezgui, Y., & Rana, O. (2017). Management of Collaborative BIM Data by Federating Distributed BIM Models. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 31(4), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000657](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000657)
- Behnam, A., Wickramasinghe, D. C., Ghaffar, M. A. A., Vu, T. T., Tang, Y. H., & Isa, H. B. M. (2016). Automated progress monitoring system for linear infrastructure projects using satellite remote sensing. *Automation in Construction*, 68, 114–127.

<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.05.002>

- Borrmann, A., Kolbe, T. H., Donaubauer, A., Steuer, H., Jubierre, J. R., & Flurl, M. (2015). Multi-Scale Geometric-Semantic Modeling of Shield Tunnels for GIS and BIM Applications. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 30(4), 263–281. <https://doi.org/10.1111/mice.12090>
- Bradley, A., Li, H., Lark, R., & Dunn, S. (2016). BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction*, 71, 139–152. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.019>
- Chong, H. Y., Lee, C. Y., & Wang, X. (2017). A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4114–4126. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.222>
- Chong, H. Y., Lopez, R., Wang, J., Wang, X., & Zhao, Z. (2016a). Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 32(6), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000460](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000460).
- Chong, H. Y., Lopez, R., Wang, J., Wang, X., & Zhao, Z. (2016b). Comparative Analysis on the Adoption and Use of BIM in Road Infrastructure Projects. *Journal of Management in Engineering*, 32(6), 05016021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000460](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000460)
- Correa, F. X. A. (2016). Aplicación de Modelo BIM para Proyectos de Infraestructura Vial. *Pontificia Universidad Católica Del Ecuador*.
- Fanning, B., Clevenger, C. M., Ozbek, M. E., & Mahmoud, H. (2015). Implementing BIM on Infrastructure: Comparison of Two Bridge Construction Projects. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 20(4), 04014044. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000239](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000239)
- Fazli, A., Fathi, S., Enferadi, M. H., Fazli, M., & Fathi, B. (2014). Appraising Effectiveness of Building Information Management (BIM) in Project Management. *Procedia Technology*, 16, 1116–1125. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2014.10.126>

Icte 2015 2754. (2015), 2754–2760.

Jankowski, B., Prokocki, J., & Krzemiński, M. (2015). Functional assessment of BIM methodology based on implementation in design and construction company. *Procedia Engineering*, 111(TFoCE), 351–355. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.100>

Jung, I., Berges, M., & Jr, J. H. G. (2014a). Open BIM-based Information Modeling of Railway Bridges and its Application Concept, (Asce 2013), 1771–1778.

Jung, I., Berges, M., & Jr, J. H. G. (2014b). Project Cost Estimation of National Road in Preliminary Feasibility Stage Using BIM/GIS Platform, (Asce 2013), 1771–1778.

Kalasapudi, V. S., Tang, P., Zhang, C., Diosdado, J., & Ganapathy, R. (2015). Adaptive 3D Imaging and Tolerance Analysis of Prefabricated Components for Accelerated Construction. *Procedia Engineering*, 118, 1060–1067. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.549>

Kang, L. S., Kim, H. S., Moon, H. S., & Kim, S. K. (2016). Managing construction schedule by telepresence: Integration of site video feed with an active nD CAD simulation. *Automation in Construction*, 68, 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.003>

Kim, H., Shen, Z., Moon, H., Ju, K., & Choi, W. (2016). Developing a 3D intelligent object model for the application of construction planning/simulation in a highway project. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(2), 538–548. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0463-4>

Kivimaki, T., & Heikkila, R. (2015). Infra BIM based Real-time Quality Control of Infrastructure Construction Projects. *Proceedings of the 32nd International Symposium on Automation and Robotics in Construction and Mining*, 877–882.

Kumar, B., Cai, H., & Hastak, M. (2017). An Assessment of Benefits of Using BIM on an Infrastructure Project. *International Conference on Sustainable Infrastructure 2017*, 88–95. <https://doi.org/10.1061/9780784481219.008>

Laing, R., Leon, M., Mahdjoubi, L., & Scott, J. (2014). Integrating Rapid 3D Data Collection Techniques to Support BIM Design Decision Making. *Procedia Environmental Sciences*,

22, 120–130. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.11.012>

Lee, S. H., Park, S. I., & Park, J. (2016). Development of an IFC-based data schema for the design information representation of the NATM tunnel. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(6), 2112–2123. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0123-8>

Ljevo, Ž., & Mari, J. (2018). BIM Project Execution Planning Suited for Road Infrastructure Pilot Project in Bosnia and Herzegovina, 57(February 2014).

Lou, J., Xu, J., & Wang, K. (2017). Study on Construction Quality Control of Urban Complex Project Based on BIM. *Procedia Engineering*, 174, 668–676. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.01.215>

Marzouk, M., & Hisham, M. (2014). Implementing earned value management using bridge information modeling. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18(5), 1302–1313. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0455-9>

Masood, R., Kharal, M. K. N., & Nasir, A. R. (2014). Is BIM adoption advantageous for construction industry of Pakistan? *Procedia Engineering*, 77, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.07.021>

McGuire, B., Atadero, R., Clevenger, C., & Ozbek, M. (2016). Bridge Information Modeling for Inspection and Evaluation. *Journal of Bridge Engineering*, 21(4), 04015076. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000850](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000850)

Minagawa, M., & Kusayanagi, S. (2015). Study on BIM utilization for design improvement of infrastructure project. *Procedia Engineering*, 125, 431–437. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.113>

Omeregíe, A., & Turnbull, D. E. (2016). Highway infrastructure and Building Information Modelling in UK. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Municipal Engineer*, 169(4), 220–232. <https://doi.org/10.1680/jmuen.15.00020>

Platt, A. (2007). 4D CAD for Highway Construction Projects, (54), 127.

- S., Z. (2014). Object Based 3D Intelligent Model for Construction Planning/Simulation in a Highway Construction, (Bernstein 2012), 259–268. Retrieved from <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784413517.fm>
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), 968–980. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203)
- Sankaran, B., Nevett, G., O'Brien, W. J., Goodrum, P. M., & Johnson, J. (2018). Civil Integrated Management: Empirical study of digital practices in highway project delivery and asset management. *Automation in Construction*, 87(February 2017), 84–95. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.006>
- Sedek, M., & Serwa, A. (2016). Development of new system for detection of bridges construction defects using terrestrial laser remote sensing technology. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 19(2), 273–283. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.12.005>
- Seif, O., & Engineer, S. (2010). on the Use of Building Information Modeling in.
- Shim, C. S., Yun, N. R., & Song, H. H. (2011). Application of 3D bridge information modeling to design and construction of bridges. *Procedia Engineering*, 14, 95–99. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.010>
- Son, H., Bosché, F., & Kim, C. (2015). As-built data acquisition and its use in production monitoring and automated layout of civil infrastructure: A survey. *Advanced Engineering Informatics*, 29(2), 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2015.01.009>
- Takim, R., Harris, M., & Nawawi, A. H. (2013). Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Quality of Life Within Architectural, Engineering and Construction (AEC) Industry. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 101, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.07.175>
- Teo, T. A., & Cho, K. H. (2016). BIM-oriented indoor network model for indoor and outdoor combined route planning. *Advanced Engineering Informatics*, 30(3), 268–282. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2016.04.007>

- Tezel, A., & Aziz, Z. (2017). Visual management in highways construction and maintenance in England. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 24(3), 486–513. <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2016-0052>
- Tolmer, C. E., Castaing, C., Diab, Y., & Morand, D. (2017). Adapting LOD definition to meet BIM uses requirements and data modeling for linear infrastructures projects: using system and requirement engineering. *Visualization in Engineering*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40327-017-0059-9>
- Vitásek, S., & Matějka, P. (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*, 236(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/236/1/012110>
- Zhou, W., Qin, H., Qiu, J., Fan, H., Lai, J., Wang, K., & Wang, L. (2017). Building information modelling review with potential applications in tunnel engineering of China. *Royal Society Open Science*, 4(8). <https://doi.org/10.1098/rsos.170174>
- Zou, Y., Kiviniemi, A., & Jones, S. W. (2016). Engineering, Construction and Architectural Management Developing a tailored RBS linking to BIM for risk management of bridge projects“ Developing a tailored RBS linking to BIM for risk management of bridge projects “*Architectural Management Iss*, 23(6), 727–750. <https://doi.org/10.1136/bcr-2012-006652>