

Revisión sistemática de la implementación BIM basada en modelos de diseño para la construcción de obras viales

Systematic review of BIM implementation based on design models for road construction

Sócrates Pedro Muñoz Pérez¹, José Rony Llamo Cubas²

Tipo de Artículo: Investigación revisión.

Recibido: 25/12/21 **Aprobado:** 18/05/22 **Publicado:** 18/12/2022

Resumen: La metodología BIM es un sistema de métodos innovadores para documentación y diseño de proyectos de infraestructura vial, puesto que los canales de comunicación son parte fundamental del desarrollo de una región y los procesos que permiten su construcción necesitan ser mejorados. El presente documento tiene como objetivo evaluar de manera sistemática la implementación BIM basada en modelos de diseño para la construcción de obras viales. Se realizó un análisis cualitativo mediante el cual se revisaron 80 artículos indexados entre los años 2017 y 2021, distribuidos de la siguiente manera: 50 artículos son de Scopus, 15 de Ebsco y 15 de Science Direct. Se concluye que el empleo de BIM en obras de infraestructura vial es un nuevo recurso que ofrece un sustento confiable para la toma de decisiones

a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción porque optimiza el tiempo de diseño, construcción y gestión operativa.

Palabras clave: Metodología BIM, infraestructura vial, construcción, tiempo de diseño.

Abstract: The BIM methodology is a system of innovative methods for documentation and design of road infrastructure projects, since communication channels are a fundamental part of the development of a region and the processes that allow its construction need to be improved. The objective of this document is to systematically evaluate the BIM implementation based on design models for the construction of road works. A qualitative analysis was carried out through which

1 Universidad Señor de Sipán. Perú, Chiclayo. msocrates@crece.uss.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>.

2 Universidad Señor de Sipán. Perú, Chiclayo. lcubasjoserony@crece.uss.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3874-7500>.

80 articles indexed between the years 2017 and 2021 were reviewed, distributed as follows: 50 articles are from Scopus, 15 from Ebsco and 15 from Science Direct, it is concluded that the use of BIM in works Road infrastructure is a new resource that offers a reliable support for decision-making throughout the entire life cycle of a construction project, optimizing design, construction and operational management time.

Keywords: BIM Methodology, road infrastructure, construction, design time

I. Introducción

Por ser una metodología *boom* en el sector de la construcción y debido a la gran empleabilidad en este campo, BIM está teniendo un importante crecimiento en los proyectos de infraestructura [1]. Varios factores han contribuido a este auge; por un lado, los relacionados con las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) y con las herramientas de adquisición y gestión de la información digital; pero también los relacionados con la estandarización y, sobre todo, la demanda en la contratación pública [2].

La red de carreteras de un país forma parte de la infraestructura de transporte más importante, ya que sirve para movilizar bienes, personas y mercancías [3]. Por ello, es de vital importancia que la construcción de la infraestructura vial se lleve a cabo de la mejor forma, teniendo en cuenta la elaboración de la ingeniería de detalle y aplicando las herramientas tecnológicas en obra para obtener productos económicos y seguros, de manera que se optimice el tiempo de planificación y construcción, apoyado en nuevos procesos que se desarrollaron a partir de la tecnología de la información existente [4].

Los flujos de trabajo abiertos o no controlados que se utilizan actualmente en el sector de la construcción, incluyendo las vías, suelen descartar fases importantes de un proyecto y, lo más importante, no están respaldados por una metodología que

les permita monitorear su gestión en las diferentes fases. La aplicación de una metodología como BIM reduciría el costo de todo el proyecto en las diferentes fases de su ciclo de vida [5].

Un proyecto de ingeniería civil, por lo general, adolece de problemas porque no se aplica una metodología de gestión en todas las etapas. Entre estos problemas se cuentan la interferencia espacial y tecnológica, los cambios no controlados, la desvinculación de áreas involucradas, la duplicación de trabajo la inconsistencia entre dibujo y diseño [6].

Con la finalidad de eliminar y minimizar las actividades y procesos desconectados unos de otros, se propone en todo el mundo el uso de métodos que logren reducir los problemas que implica la ejecución de un proyecto de ingeniería [7]. Es por ello que la metodología BIM se ha ido introduciendo gradualmente en varios países, como parte de las normativas obligatorias para la implementación de Proyectos de Infraestructura (PI), durante los últimos 10 años [8].

Países como Gran Bretaña empezaron a exigir, a partir de 2016, que todos los proyectos públicos se realicen según la metodología BIM (MBIM), dando como resultado que las empresas se vean obligadas a mejorar la gestión de sus proyectos e implementar procedimientos para utilizar la MBIM [9].

La MBIM fue implementada parcialmente por un pequeño grupo de empresas utilizando herramientas BIM (HBIM). A través de la formación continua [10] y el uso de profesionales en la gestión de herramientas, han reconocido la necesidad de desarrollar métodos de trabajo compatibles con esta tecnología en sus flujos de trabajo (FT) [11] empresas relacionadas con la construcción de infraestructura de transporte (CIT), como diversas constructoras que han publicado trabajos en los que han desarrollado proyectos utilizando herramientas BIM [12].

A pesar de que las empresas involucradas en el diseño que utilizan el software BIM como herramienta de trabajo, alivian ciertos problemas de ingeniería mencionados anteriormente [13]; además, la aplicación de una metodología definida limita y reduce el valor que estas herramientas pueden ofrecer dentro de un FT BIM [14].

Es necesaria la aplicación de la MBIM como proceso integrador de métodos y herramientas de gestión estructurados [15], debido a que tanto los términos de los contratos como los involucrados interesados en la construcción deben evolucionar y adoptar nuevos procesos y herramientas tecnológicas desde el inicio del proceso de diseño para fomentar la colaboración entre los interesados, como son los diseñadores, los directores de diseño y construcción, los proveedores y los subcontratistas, de manera que logren un mayor nivel de mejora potencialmente llevado a cabo por las nuevas tecnologías aliadas de las prácticas de gestión [16].

El empleo de HBIM aisladas de un flujo de proceso disminuye los beneficios que ofrece esta tecnología al preservar la información técnica contenida en sus modelos, porque, si se interrumpe el proceso BIM [17], se convierten en dibujos CAD que solo conservan sus propiedades geométricas vectoriales, así como el uso de la obra de ingeniería del modelo BIM en fases posteriores del proyecto [18].

La definición del flujo de trabajo al planificar un sitio de construcción de carreteras siempre es variable y depende de los términos del contrato y de las características técnicas del proyecto [19]; sin embargo, de acuerdo con los procedimientos y flujos sugeridos para el diseño de un proyecto vial descrito en el Manual de Diseño de Carreteras, es posible establecer un flujo tradicionalmente utilizado para proyectos de infraestructura vial (PIV) [20].

En el contexto de la problemática planteada, se tuvo por objetivo evaluar la información de la aplicación de la implementación BIM en obras de infraestructura vial.

II. Objetivos del estudio

El presente documento propone los siguientes objetivos:

- Realizar una revisión holística de los artículos de revistas BIM y los registros de citas.
- Definir los subcampos que constituyen la estructura intelectual de los campos de investigación BIM.
- Identificar la estructura de financiación para la investigación BIM basada en el análisis del país y el análisis de la categoría de investigación.
- Identificar y establecer la red de publicaciones BIM por origen de la investigación y ámbito geográfico.
- Identificar la metodología de investigación más destacada empleada en estudios BIM anteriores.
- Identificar el software BIM relevante, el esquema de datos y las áreas de proyecto para la aplicación BIM.
- Clasificar las publicaciones BIM en función de los sectores de proyecto a los que se aplican.

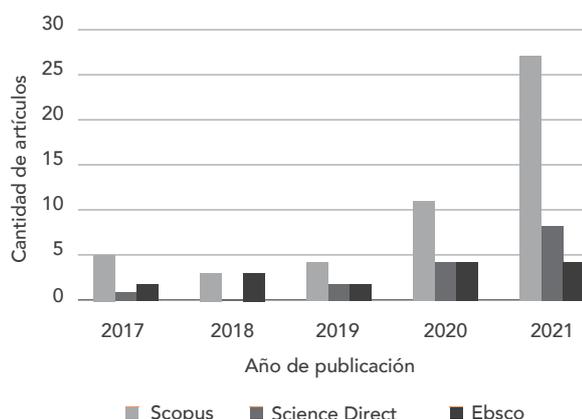
III. Materiales y métodos

Se planteó una metodología que recopila investigaciones científicas de base de datos como Scopus, Science Direct y Ebsco referentes al tema de revisión. La Tabla 1 relaciona el total de artículos seleccionados con base en los filtros de búsqueda, como año de publicación y área y tipo de documento. En la Figura 1 puede verse la distribución en cantidad de investigaciones extraídas por base de datos y año de búsqueda. El procedimiento establecido consiste en realizar las consultas por medio de palabras clave usando operadores booleanos como BIM AND road infrastructure y BIM AND works; además, se tuvo que filtrar por años de búsqueda (desde el 2017 al 2021), tipo de documento y área de alcance para fines específicos de estudio, tal como puede verse en la Tabla 1. Finalmente, se logró obtener 80 investigaciones científicas.

Tabla 1. Criterios de búsqueda y de selección de los artículos usados en la presente investigación.

Palabras clave	Documentos encontrados	Años de publicación de documentos	Filtro de búsqueda	Resultados de filtros	Artículos seleccionados	Documentos seleccionados en Scopus	Documentos seleccionados en Science Direct	Documentos seleccionados en Ebsco
BIM AND road infrastructure	131	2017-2021	Engineering/ Research Articles	31	22	22		
BIM AND works	3.100		Engineering/ Research Articles	688	28	28		
BIM in road infrastructure	467		Engineering/ Research Articles	175	15		15	
BIM in road infrastructure works	1.403		Engineering/ Research Articles	844	15			15
Total por base de datos						50	15	15
Total							80	

Fuente: Elaboración propia

Figura 1. Distribución por año de búsqueda.

Fuente: Elaboración propia

IV. BIM: Origen y concepto

En la década de los 70 el modelado de información para las edificaciones se atribuyó a varios investigadores, incluido el más destacado, Phillip Bernstein, el cual introdujo el concepto de modelos virtuales enriquecidos con información. A

mediados de la misma década, Charles Eastman comenzó a difundir el término BIM y sintetizó la teoría que lo vinculaba con el desarrollo de modelos de información para la construcción [21].

El desarrollador de software húngaro Graphisoft implementó, en 1987, el concepto BIM en una de sus primeras aplicaciones, llamada Virtual Building, como una extensión vinculada al programa ArchiCAD [22]. Esto transformaría la fase de planificación y diseño de un PI, ya que pueden realizarse dibujos bidimensionales y tridimensionales [23].

A mediados de 1995, empresas de desarrollo de software, como Bentley y Autodesk, comenzaron a mejorar sus herramientas CAD para combinar el concepto BIM como modelado de construcción paramétrico [24] y que las herramientas de construcción ganen importancia en lugar de las herramientas de dibujo [25].

El modelado de información de construcción (BIM) está recibiendo mayor relevancia a nivel mundial en la industria de la arquitectura, la ingeniería

y construcción (AEC), debido a su capacidad para almacenar y facilitar el uso y la reutilización de los datos a través de las fases de desarrollo del proyecto, al tiempo que evita la repetición innecesaria de las tareas de proyecto o diseño [25].

Sin embargo, el BIM es una tecnología digital giratoria e innovadora, con aplicaciones recientes en áreas como la sostenibilidad y la gestión de instalaciones, a pesar de la naturaleza fragmentada de la industria de la construcción. Mientras tanto, el BIM ha empezado a recibir más atención de la comunidad académica con varios artículos de investigación [26].

Entre ellos se incluyen artículos sobre el desarrollo del plan de estudios BIM para estudiantes universitarios. Los trabajos relacionados con el desarrollo del currículo BIM incluyen literatura como "desarrollo de cursos y enseñanza colaborativa" [27]. También se incluye la "evaluación del plan de estudios BIM frente a las necesidades industriales" y la "experimentación en clase con herramientas BIM", entre otros muchos temas relacionados [28].

El BIM puede verse como una nueva perspectiva sobre gestión, diseño y construcción de instalaciones, a través de la cual se utiliza una representación digital del proceso constructivo [29] para facilitar el intercambio e interoperabilidad de la información en formato digital [30].

Se trata de una solución innovadora con mucho por explorar. Dado que garantiza un "proceso integrado coordinado" [31], es una herramienta de gran utilidad para todos los interesados en el proyecto, quienes podrían encontrarla adecuada y apropiada para sus trabajos debido a su naturaleza diversa y a la perspectiva de colaboración para la industria de la construcción [32]. Uno de los beneficios de BIM es el aumento en el retorno de la inversión (RI) para los clientes, que "facilita la difusión de la información", y esto, a su vez, ayuda a asegurar el éxito del proyecto [33].

Asimismo, las herramientas tecnológicas relacionadas, como el sistema de realidad aumentada (RA) y el sistema de información geográfica (SIG), también se han integrado en

el proceso BIM para facilitar la visualización del proceso de construcción [34].

BIM es un concepto que está siendo adoptado actualmente por muchos fabricantes de software y su desarrollo no tiene límites hasta el día de hoy, debido a que estas herramientas BIM deben basarse siempre en un método que permita el desarrollo de una ingeniería coordinada e integrada. Esto ha llevado al desarrollo de programas formativos, diplomados o de posgrado en la temática de Gestión BIM, cuyo objetivo es formar profesionales capaces de gestionar de forma eficaz los procesos constructivos [35].

El concepto BIM corresponde a la representación digital de las propiedades tanto funcionales como físicas de una infraestructura. BIM es una fuente común de inquisición sobre un edificio, que proporciona una base confiable para tomar buenas decisiones en el proceso del proyecto, desde su concepción hasta su ejecución, incluida la demolición [36].

BIM se muestra como una alternativa de solución en administración, planificación en PI y otras áreas cuya necesidad es impartir procesos o conceptos de tal forma que la idea a transferir no se base en la interpretación geométrica de dibujo sino en información sobre las propiedades o la simulación espacial de un objeto, un proceso o una geometría. En pocas palabras, el que un dibujo multivectorial forme una geometría similar a un mueble en vista en planta depende de la calidad del dibujo y de la familiaridad del consumidor con el dibujo para identificarlo y llevarlo al gráfico [37].

Con el método BIM, aquel mobiliario se convierte en un modelo tridimensional del cual pueden obtenerse cálculos y vistas, gracias al uso de su campo de información o parámetros, tales como propiedades mecánicas del material, área, ubicación espacial, volumen y material [38].

V. Estudios sobre la implementación BIM

Los estudios anteriores sobre revisiones de la literatura BIM se han centrado en áreas o temas de investigación específicos, como la gestión de

instalaciones y la sostenibilidad ambiental. Los estudios han esbozado las prácticas actuales y las direcciones futuras a través de diversos enfoques de investigación, tales como encuestas, revisiones críticas de la literatura y entrevistas [39]. Además, los investigadores han llevado a cabo revisiones y análisis que incluyen el proyecto de los contratistas para adoptar BIM, el modelo de proceso de licitación electrónica, la gestión de residuos, la educación y el conocimiento. Otros incluyen simulación de redes sociales, BIM en la nube y adopciones de tecnología [40].

Existen otros estudios sobre la integración BIM-SIG y la sostenibilidad; sin embargo, recientemente, en los últimos 5 años, se ha realizado una gran cantidad de revisiones de la literatura sobre el campo de investigación de BIM. Puede observarse el empleo de la literatura de BIM para deducir áreas de investigación principales de BIM y etiquetas de factores del Análisis Semántico Latente (ASL), descrito como una "técnica de procesamiento de lenguaje natural" que sirve para analizar los resúmenes de los artículos de revistas [41].

Mientras tanto, Koo y sus colaboradores emplearon el software informático Citespace para examinar los registros de citas descargados de la base de datos Web of Science con el fin de identificar a los autores con más citas y referencias bibliográficas y los "temas calientes" en las áreas de investigación BIM con más citas [42], [43].

Las revisiones anteriores de BIM se centraron, principalmente, en el análisis de las citas de los autores y las revistas, mientras que este estudio intenta llenar el vacío en las revisiones de la literatura existente y añadir valor al área de conocimiento de BIM [44], [45].

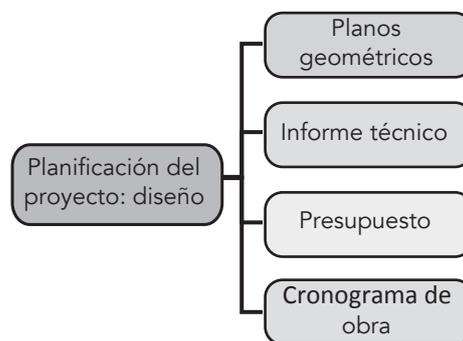
A lo largo del análisis bibliométrico y las revisiones de la literatura, el estudio adoptó un enfoque más sistemático y analítico para lograr los objetivos del estudio. Se analizó una amplia gama de publicaciones en varias casas de publicación de revistas. La siguiente sección se centra en la discusión de la metodología de investigación aplicada y la estrategia de búsqueda de literatura [46].

VI. Etapas de un proyecto BIM

La programación es una fase técnica inicial de un proyecto. Se caracteriza por el planteamiento al alcance del proyecto, sus peculiaridades técnicas, lineamientos y objetivos, así como la recopilación de información sobre factores de influencia, tales como la intención de diseño, la locación y las limitantes técnicas, normativas y presupuestarias [47].

El diseño conceptual es el resultado de recopilar y analizar toda la información que define el proyecto, lo que da lugar a la idea de diseño inicial. En esta fase se abordan posibles alternativas u opciones para que se lleve a cabo el proyecto de manera satisfactoria [48]. Se lleva a escenarios con diseños conceptuales para el análisis y selección, el cual representa el mayor beneficio que converge con la finalidad del proyecto. En esta fase, es necesario utilizar una herramienta BIM que permita acceder a información de evaluación sobre las propuestas, para que puedan ser parte de la asistencia en la elección de la mejor alternativa, tal como se muestra en la Figura 2 para un proyecto vial [49].

Figura 2. Flujo de producción en proyectos viales.



Fuente: *Elaboración propia*

El diseño de detalle en un proyecto, cuando se selecciona la mejor opción entre los diseños propuestos, inicia con el detallado del mismo, así como un estudio específico de las partes que

componen el proyecto [50]; además, incluye la aplicación de reglamentos técnicos y la adaptación técnicamente asistida del diseño conceptual para conseguir el diseño final [51].

Se recomienda que la HBIM en la que se creó el diseño conceptual sea compatible con la HBIM del diseño final, para utilizar el mayor número posible de características geométricas descritas en el diseño conceptual. La continuidad y consistencia de los datos es parte fundamental de la metodología BIM [40], [52].

El análisis es el procesamiento mediante el cual se debe probar digitalmente el diseño detallado de la infraestructura. Existen varios análisis que pueden realizarse digitalmente o por métodos de cálculo [53]. En la fase de análisis, el modelo de diseño se somete a ciertas pruebas que pueden o no respaldar el diseño definitivo. Estas deben programarse para que los resultados que se obtengan correspondan con la realidad [54].

Existen HBIM que pueden realizar un análisis de la plataforma de diseño, así como herramientas de análisis exclusivas. No obstante, la condición para cumplir con el ciclo BIM en esta fase es que los resultados puedan consumirse y utilizarse para los ajustes del modelo, de modo que el diseñador tenga datos de evaluación para refinarlo [55].

La documentación es la fase en que se ajusta el modelo y se completan los elementos de diseño y luego se grafican los documentos resultantes del mismo, planos, cómputos métricos o cubicación, detalles, imágenes y leyendas, los cuales son productos a extraer del modelo BIM [56].

La fabricación inicia cuando el proyecto ha completado la fase de diseño y comienza la ejecución física o el trabajo. Diversos proyectos tienen propiedades muy específicas que requieren que sus elementos sean fabricados de manera especial [57]. Usando máquinas compatibles, es posible cortar, imprimir, dar forma o producir digitalmente los elementos a través de un dispositivo periférico; en otras palabras, la

metodología BIM permite crear automáticamente los elementos u objetos diseñados [58].

La construcción/presupuestario (4D y 5D) es una fase en la que se requiere la aplicación de una dirección de proyecto, porque aquí, cuando se asocia un plan de ejecución (4D), pueden incluirse evaluaciones de tal forma que el costo del proyecto pueda incluirse en sus fases de ejecución (5D). Para ello se requiere que la HBIM permita la extracción de información con el fin de cuantificar y caracterizar materiales para los elementos modelados [59].

La logística y la construcción se encuentran en la fase en que los empleados están llevando a cabo la construcción del proyecto [60]. La MBIM influye en el seguimiento y control logístico basado en la planificación del trabajo. Los problemas de interacción entre las disciplinas también pueden verificarse con anterioridad, lo que lleva a los expertos a realizar ajustes al proyecto antes de que se lleve a cabo [61].

El mantenimiento y la operación se llevan a cabo cuando se termina la construcción y el PI comienza a brindar los servicios para los cuales fue construido, es decir que ha comenzado su fase operativa. Esta fase se caracteriza por el consumo de los recursos contenidos en la MBIM para el funcionamiento idóneo de la infraestructura, así como por la adecuación y actualización que la infraestructura pueda recibir en el tiempo debido a su uso o mantenimiento [61].

La demolición es la fase de destrucción de la infraestructura, la cual completa el ciclo de una estructura. La MBIM, en este desarrollo, servirá para distinguir qué tipo de material y qué tipo de estructura les permitirá precisar el mejor mecanismo y método para su demolición [62].

Renovación es la fase en la que se decidió adaptar la infraestructura original (IO) con el objeto de aumentar su tamaño o añadir una nueva estructura [63]. El MBIM permite detallar la IO y utilizar esta información para crear la nueva estructura complementaria [64].

VII. BIM en diseño de infraestructura vial

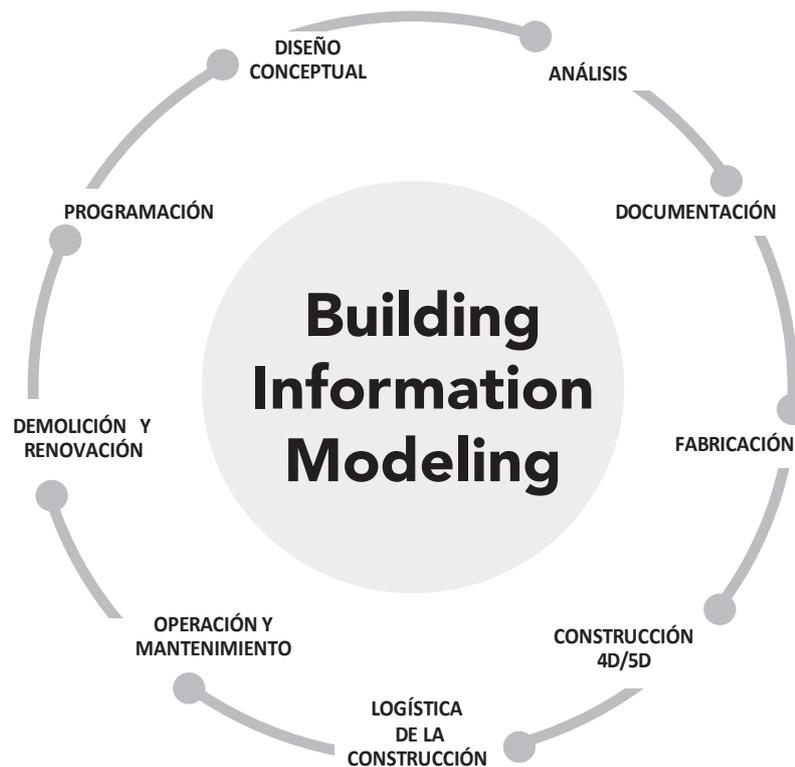
La metodología BIM es muy versátil y aplicable en diferentes áreas de la ingeniería civil y el mayor desarrollo en tecnología BIM se aplica en viviendas y edificaciones. El concepto se aplica de la misma forma en diferentes utilidades, las cuales pueden variar dependiendo de la estructura que se esté diseñando [65]. Los proyectos de infraestructura vial deben utilizar todas las herramientas que faciliten el desarrollo de elementos viales, como, por ejemplo, AutoCAD Civil 3D [66].

Todos los procesos de la MBIM pueden utilizarse para planificar y ejecutar un proyecto de ingeniería, pero no todos los proyectos de construcción de carreteras pueden pasar por todas las fases [67].

Dependiendo del rubro de la especialidad y de la diferencia de los elementos a construir, varios de los procesos BIM pueden excluirse en el desarrollo integral de un proyecto de construcción vial [68], ya que no todos los paquetes de software permiten el uso de información de los elementos modelados, como se describe en un flujo BIM, o no pueden modelar estos elementos más complejos [69].

Con base en lo anterior, suele establecerse un flujo de proceso para el empleo de la MBIM cuando se desarrolla un proyecto específico de infraestructura vial, el cual debe cumplir un ciclo con ciertas etapas [70], tal como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Ciclo en un proyecto BIM.



Fuente: Elaboración propia

La metodología BIM, aplicada a proyectos de infraestructura vial, plantea el alcance y los objetivos de los lineamientos técnicos, la intención de diseño y el presupuesto referencial [71]. La recopilación y análisis de información se basa en la topografía referencial, el análisis de zonas de riesgo, la caracterización de suelos, imágenes satelitales y estudios de tráfico promedio diario anual. El planteamiento de elección de HBIM y flujo de trabajo aborda programas como AutoCAD Civil 3D y Autodesk Infraworks 360 [72].

El diseño conceptual BIM en proyectos viales se fundamenta en la información digitalizada, el plan a nivel conceptual, el análisis técnico y las alternativas de diseño [73]. Dicho diseño de detalle BIM vial genera, a partir de recolección de información y levantamiento topográfico, una mejor alternativa, al aplicar la normativa de diseño geométrico vigente de un país y la dinámica de materiales para el modelado BIM [74].

El análisis BIM vial aborda la información taquimétrica obtenida del replanto de un diseño definitivo, el cual comprueba la normativa técnica y el análisis gráfico y recorrido de modelo vial [75]. La documentación BIM vial se basa en elaboración de plantilla de plano y extracción del mismo en perfil y planta, la extracción de reportes de cuantificación de obra y de diseño geométrico de vías [76].

La construcción (4D y 5D) BIM vial plantea la vinculación y elaboración del cronograma para la ejecución del proyecto, además de identificar los posibles conflictos con diferentes disciplinas que intervengan en la construcción de un proyecto [77].

VIII. Conclusiones

La solución a las complejas situaciones en el desarrollo de proyectos y obras de infraestructura vial de un país debe ejecutarse según esquemas metódicos que permitan encontrar soluciones eficientes y apoyarse en la tecnología de punta, utilizada sistemáticamente bajo parámetros de orden lógico, los cuales acceden a presentar proyectos de diseño adaptados de manera óptima a las situaciones reales de obra.

La implementación de una metodología centrada en modelos digitales BIM permite anticipar las condiciones finales de un proyecto de forma muy precisa, para identificar posibles problemas que sucedan en su contexto.

Restringir la geometría de un proyecto de carretera, mediante regulaciones vinculadas a un modelado digital bajo la MBIM, garantiza que los diseñadores profesionales cumplan con los parámetros requeridos por las regulaciones.

Los cambios o ajustes a la construcción en un MBIM reducen el tiempo de trabajo a través de la conexión dinámica parametrizada entre el dibujo y el modelo y eliminan los errores debidos a la falta de actualización de los cambios.

La cuantificación de los recursos de costo y tiempo, basada en la geometría obtenida en un modelo BIM, reduce el error en la estimación del tiempo y permite el aumento en la producción.

Es más fácil y económico realizar mejoras y corregir fallos o retrasos en la fase de estudio o diseño que corregir retrasos o costos en las fases de construcción de un proyecto. Es por ello que representa una gran ventaja implementar la MBIM en el proceso del ciclo de vida de un proyecto.

IX. Referencias

- [1] F. Rodrigues, F. Antunes y R. Matos, "Safety plugins for risks prevention through design resourcing BIM", *Construction Innovation*, vol. 21, no. 2, pp. 244-258, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/CI-12-2019-0147>
- [2] M. Sbiti, K. Beddiar, D. Beladjine, R. Perrault y B. Mazari, "Toward BIM and LPS Data Integration for Lean Site Project Management: A State-of-the-Art Review and Recommendations", *Buildings*, vol. 11 no. 5, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/buildings11050196>
- [3] A. M. Eldeeb, M. A. M. Farag y L. M. Abd El-hafez, "Using BIM as a lean management tool in construction processes – A case study: Using BIM as a lean management tool", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 13, no. 2, marzo de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.07.009>

- [4] P. Bosch-Sijtsema y P. Gluch, "Challenging construction project management institutions: the role and agency of BIM actors", *International Journal of Construction Management*, vol. 21, no. 11, pp. 1077-1087, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1602585>
- [5] M. Afzal, M. T. Shafiq y H. A. Jassmi, "Improving construction safety with virtual-design construction technologies – a review", *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 26, pp. 319-340, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2021.018>
- [6] A. A. Akintola, S. Venkatachalam, D. Root y A. H. Oti, "Distilling agency in BIM-induced change in work practices", *Construction Innovation*, vol. 21, no. 3, pp. 490-522, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/CI-09-2019-0088>
- [7] M. Al-Kasasbeh, O. Abudayyeh y H. Liu, "An integrated decision support system for building asset management based on BIM and Work Breakdown Structure", *Journal of Building Engineering*, vol. 34, febrero de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101959>
- [8] A. V. Arrotéia, R. C. Freitas y S. B. Melhado, "Barriers to BIM Adoption in Brazil", *Frontiers in Built Environment*, vol. 7, marzo de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.520154>
- [9] Z. Aziz, Z. Riaz y M. Arslan, "Leveraging BIM and Big Data to deliver well maintained highways", *Facilities*, vol. 35, no. 13-14, pp. 818-832, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/F-02-2016-0021>
- [10] L. Barazzetti, M. Previtali y M. Scaioni, "Roads Detection and Parametrization in Integrated BIM-GIS Using LiDAR", *Infrastructures*, vol. 5, no. 7, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/infrastructures5070055>
- [11] P. Bellido-Montesinos, F. Lozano-Galant, F. J. Castilla y J. A. Lozano-Galant, "Experiences learned from an international BIM contest: Software use and information workflow analysis to be published in: Journal of Building Engineering", *Journal of Building Engineering*, vol. 21, pp. 149-157, enero de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.10.012>
- [12] S. A. Biancardo, A. Capano, S. G. de Oliveira y A. Tibaut, "Integration of BIM and Procedural Modeling Tools for Road Design", *Infrastructures*, vol. 5, no. 4, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/infrastructures5040037>
- [13] S. A. Biancardo, N. Viscione, A. Cerbone y E. Dessì, Jr, "BIM-Based Design for Road Infrastructure: A Critical Focus on Modeling Guardrails and Retaining Walls", *Infrastructures*, vol. 5, no. 7, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/infrastructures5070059>
- [14] A. S. Borkowski y M. Wyszomirski, "Landscape Information modelling: an important aspect of BIM modelling, examples of cubature, infrastructure, and planning projects", *Geomatics, Landmanagement and Landscape*, no. 1, pp. 7-22, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.15576/GLL/2021.1.7>
- [15] G. Bosurgi, O. Pellegrino y G. Sollazzo, "Pavement condition information modelling in an I-BIM environment", *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 23, no. 13, pp. 4803-4818, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10298436.2021.1978442>
- [16] M. Botte, A. Zampi, C. Oretto y L. D'Acerno, "The Use of Road Microsimulation Software within BIM Environments: A Preliminary Assessment", *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2021, no. especial, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2021/8871288>
- [17] K. Castañeda, O. Sánchez, R. F. Herrera, E. Pellicer y H. Porras, "BIM-based traffic analysis and simulation at road intersection design", *Automation in Construction*, vol. 131, noviembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103911>

- [18] L. Chen, P. Shi, Q. Tang, W. Liu y Q. Wu, "Development and application of a specification-compliant highway tunnel facility management system based on BIM", *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 97, marzo de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103262>
- [19] X. Chen, A. Y. Chang-Richards, A. Pelosi, Y. Jia, X. Shen, M. K. Siddiqui y N. Yang, "Implementation of technologies in the construction industry: a systematic review", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no. 8, pp. 3181-3209, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2021-0172>
- [20] J. Collao, F. Lozano-Galant, J. A. Lozano-Galant y J. Turmo, "BIM Visual Programming Tools Applications in Infrastructure Projects: A State-of-the-Art Review", *Applied Sciences*, vol. 11, no. 18, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app11188343>
- [21] A. Costin, A. Adibfar, H. Hu y S. S. Chen, "Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations", *Automation in Construction*, vol. 94, pp. 257-281, octubre de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.001>
- [22] H. Ehrbar, "BIM im Infrastrukturbau der Deutschen Bahn", *Bautechnik*, vol. 94, no. 4, pp. 237-247, abril de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/bate.201700012>
- [23] H. O. Elhusseiny, I. Nosair y A. S. Ezeldin, "Developing a user plug-in to assess delay causes' impact on construction projects in Egypt", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 3553-3568, diciembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.04.013>
- [24] M. Evans, P. Farrell, A. Mashali y W. Zewein, "Critical success factors for adopting building information modelling (BIM) and lean construction practices on construction mega-projects: a Delphi survey", *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 537-556, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JEDT-04-2020-0146>
- [25] S. Fabozzi, S. A. Biancardo, R. Veropalumbo y E. Bilotta, "I-BIM based approach for geotechnical and numerical modelling of a conventional tunnel excavation", *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol. 108, febrero de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103723>
- [26] W. Fentzloff, S. Rothe, C. Stahn y D. Papantonakis, "BIM meets Lean – Logistics study of a long tunnel using BIM and Lean methods", *Geomechanics and Tunnelling*, vol. 14, no. 3, pp. 286-297, junio de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/geot.202100012>
- [27] A. Gerbov, V. Singh y M. Herva, "Challenges in applying design research studies to assess benefits of BIM in infrastructure projects: Reflections from Finnish case studies", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 25, no. 1, pp. 2-20, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2016-0260>
- [28] A. Girardet y C. Boton, "A parametric BIM approach to foster bridge project design and análisis", *Automation in Construction*, vol. 126, junio de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103679>
- [29] A. Glema, "Building Information Modeling BIM - Level of Digital Construction", *Archives of Civil Engineering*, vol. 63, no. 3, pp. 39-51, 2017 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1515/ace-2017-0027>
- [30] B. Grzyl, E. Miszewska-Urbańska y M. Apollo, "Building Information Modelling as an Opportunity and Risk for Stakeholders Involved in Construction Investment Process", *Procedia Engineering*, vol. 196, pp. 1026-1033, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.045>
- [31] Z. Hao, W. Zhang y Y. Zhao, "Integrated BIM and VR to implement IPD mode in transportation infrastructure projects: System design and case application", *PLOS ONE*, vol. 16, no. 11, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259046>

- [32] E. Haronian y R. Sacks, "ROADELS: discrete information objects for production planning and control of road construction", *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 25, no. especial, pp. 254-271, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.015>
- [33] W. Hatem, W y B. Maula, "Improving Project Monitoring by Integrating BIM with Augmented Reality", *International Review of Civil Engineering*, vol. 11, no. 6, pp. 304-310, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.15866/irece.v11i6.19358>
- [34] S. Hire, S. Sandbhor, K. Ruikar y C. B. Amarnath, "BIM usage benefits and challenges for site safety application in Indian construction sector", *Asian Journal of Civil Engineering*, vol. 22, pp. 1249-1267, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42107-021-00379-8>
- [35] Y. Hong, A. W. A. Hammad, S. Sepasgozar y A. Akbarnezhad, "BIM adoption model for small and medium construction organisations in Australia", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 26, no. 2, pp. 154-183, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2017-0064>
- [36] M. Q. Huang, J. Ninić y Q. B. Zhang, "BIM, machine learning and computer vision techniques in underground construction: Current status and future perspectives", *Tunnelling and Underground Space Technology*, vol 108, febrero de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103677>
- [37] Y. Huang, S. Wang y J. Zhao, "The Application Research on BIM Technology in Road and Bridge Projects in the Western Yunnan Area", *Agro Food Industry Hi-Tech*, vol. 28, no. 1, pp. 2964-2967, 2017.
- [38] M. Häußler, S. Esser y A. Borrmann, "Code compliance checking of railway designs by integrating BIM, BPMN and DMN", *Automation in Construction*, vol. 121, enero de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103427>
- [39] A. Justo, M. Soilán, A. Sánchez-Rodríguez y B. Riveiro, "Scan-to-BIM for the infrastructure domain: Generation of IFC-complaint models of road infrastructure assets and semantics using 3D point cloud data", *Automation in Construction*, vol. 127, julio de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103703>
- [40] M. Kalach, M.-A. Abdul Malak y I. Srour, "BIM-Enabled Streaming of Changes and Potential Claims Induced by Fast-Tracking Design-Build Projects", *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, vol. 13, no. 1, febrero de 2021 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-4170.0000450](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000450)
- [41] S. Kim, S. Chin, J. Han and C.-H. Choi, "Measurement of Construction BIM Value Based on a Case Study of a Large-Scale Building Project", *Journal of Management in Engineering*, vol. 33, no. 6, noviembre de 2017 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000551](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000551)
- [42] B. Koo, R. Jung, Y. Yu y I. Kim, "A geometric deep learning approach for checking element-to-entity mappings in infrastructure building information models", *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 239-250, febrero de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jcde/qwaa075>
- [43] S. S. Lee, K. T. Kim, W. A. Tanoli y J. W. Seo, "Flexible 3D Model Partitioning System for nD-Based BIM Implementation of Alignment-Based Civil Infrastructure", *Journal of Management in Engineering*, vol. 36, no. 1, enero de 2020 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000725](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000725)
- [44] R. L. Machado y C. Vilela, "Conceptual framework for integrating BIM and augmented reality in construction management". *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 26, no. 1, pp. 83-94, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.11803>

- [45] A. Marefat, H. Toosi y R. Mahmoudi Hasankhanlo, "A BIM approach for construction safety: applications, barriers and solutions", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 26, no. 9, pp. 1855-1877, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2017-0011>
- [46] F. Mellado y E. C. W. Lou, "Building information modelling, lean and sustainability: An integration framework to promote performance improvements in the construction industry", *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, octubre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102355>
- [47] M. E. Murphy y M.-M. Nahod, "Stakeholder competency in evaluating the environmental impacts of infrastructure projects using BIM", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 24, no. 5, pp. 718-735, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2015-0106>
- [48] O. Olugboyega, D. J. Edwards, A. O. Windapo, E. D. Omopariola y I. Martek, "Development of a conceptual model for evaluating the success of BIM-based construction projects", *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 10, no. 4, pp. 681-701, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/SASBE-02-2020-0013>
- [49] J. Patacas, N. Dawood y M. Kassem, "BIM for facilities management: A framework and a common data environment using open standards", *Automation in Construction*, vol. 120, diciembre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103366>
- [50] A. Pompigna y R. Mauro, "Smart roads: A state of the art of highways innovations in the Smart Age", *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 25, enero de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.04.005>
- [51] R. Rajadurai y A. Vilventhan, "Integrating road information modeling (RIM) and geographic information system (GIS) for effective utility relocations in infrastructure projects", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no. 9, pp. 3647-3663, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2021-0295>
- [52] M. J. Rojas, R. F. Herrera, C. Mourgues, J. L. Ponz-Tienda, L. F. Alarcón y E. Pellicer, "BIM Use Assessment (BUA) Tool for Characterizing the Application Levels of BIM Uses for the Planning and Design of Construction Projects", *Advances in Civil Engineering*, vol. 2019, no. especial, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2019/9094254>
- [53] R. Samimpay y E. Saghatforoush, "Benefits of Implementing Building Information Modeling (BIM) in Infrastructure Projects", *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, vol. 10, no. 2, pp. 123-140, 2020 [En línea]. Disponible en: <http://doi.org/10.2478/jepm-2020-0015>
- [54] B. Sankaran, G. Nevet, W. J. O'Brien, P. M. Goodrum y J. Johnson, "Civil Integrated Management: Empirical study of digital practices in highway project delivery and asset management", *Automation in Construction*, vol. 87, pp. 84-95, marzo de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.12.006>
- [55] C. P. Schimanski, N. L. Pradhan, D. Chaltsev, G. Pasetti Monizza y D. T. Matt, "Integrating BIM with Lean Construction approach: Functional requirements and production management software", *Automation in Construction*, vol. 132, diciembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103969>
- [56] M.-H. Shin y H.-Y. Kim. "Facilitators and Barriers in Applying Building Information Modeling (BIM) for Construction Industry", *Applied Sciences*, vol. 11, no. 19, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app11198983>

- [57] M.-H. Shin, J.-M. Kim y J.-H. Baek, "Study on UI Standards When Building a BIM-Based Integrated Life Cycle Management System for Railway Infrastructure", *Journal of the Korean Society for Railway*, vol. 24, no. 8, pp. 746-755, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.7782/JKSR.2021.24.8.746>
- [58] M. Soilán, A. Justo, A. Sánchez-Rodríguez y B. Riveiro, "3D Point Cloud to BIM: Semi-Automated Framework to Define IFC Alignment Entities from MLS-Acquired LiDAR Data of Highway Roads", *Remote Sensing*, vol. 12, no. 14, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs12142301>
- [59] T. Su, H. Li y Y. An, "A BIM and machine learning integration framework for automated property valuation", *Journal of Building Engineering*, vol. 44, diciembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102636>
- [60] M. V. Tallgren, M. Roupé, M. Johansson y P. Bosch-Sijtsema, "BIM-tool development enhancing collaborative scheduling for pre-construction", *Journal of Information Technology in Construction*, vol. 25, pp. 374-397, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.022>
- [61] F. Tang, T. Ma, J. Zhang, Y. Guan y L. Chen, "Integrating three-dimensional road design and pavement structure analysis based on BIM", *Automation in Construction*, vol. 113, mayo de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103152>
- [62] A. Tezel y Z. Aziz, "Visual management in highways construction and maintenance in England", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 24, no. 3, pp. 486-513, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2016-0052>
- [63] J. Torrico, "BIM en infraestructuras civiles", *Revista de Obras Públicas*, no. 3615, pp. 60-65, 2019.
- [64] G. Ugglá y M. Horemuz, "Geographic capabilities and limitations of Industry Foundation Classes", *Automation in Construction*, vol. 96, pp. 554-566, diciembre de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.014>
- [65] T. Umar, "Challenges of BIM implementation in GCC construction industry", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no. 3, pp. 1139-1168, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2019-0608>
- [66] L. Ustinovičius, A. Puzinas, J. Starynina, M. Vaišnoras, O. Černiavskaja y R. Kontrimovičius, "Challenges of BIM technology application in project planning", *Engineering Management in Production and Services*, vol. 10, no. 2, pp. 15-28, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.2478/emj-2018-0008>
- [67] T. Vilitienė, E. Šarkienė, V. Šarka y A. Kiaulakis, "BIM Application in Infrastructure Projects", *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering*, vol. 15, no. 3, pp. 74-92, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.7250/bjrbe.2020-15.485>
- [68] A. F. Van Roy y A. Firdaus, "Building Information Modelling in Indonesia: Knowledge, Implementation and Barriers", *Journal of Construction in Developing Countries*, vol. 25, no. 2, pp. 199-217, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.21315/jcdc2020.25.2.8>
- [69] V. Vignali, E. M. Acerra, C. Lantieri, F. di Vincenzo, G. Piacentini y S. Pancaldi, "Building information Modelling (BIM) application for an existing road infrastructure", *Automation in Construction*, vol. 128, agosto de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103752>
- [70] J. Wang y W. Lu, "A deployment framework for BIM localization", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 29, no. 1, pp. 407-430, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-09-2020-0747>
- [71] G. Yanda, M. Amin y T. D. Soehari, "Investment, Returns, and Risk of Building Information Modeling (BIM) Implementation in Indonesia's Construction Project", *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 5159-5166, octubre de 2019 [En línea]. Disponible en: <http://www.doi.org/10.35940/ijeat.A1806.109119>

- [72] J.-B. Yang y H.-Y. Chou, "Subjective benefit evaluation model for immature BIM-enabled stakeholders", *Automation in Construction*, vol. 106, octubre de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102908>
- [73] Y. Yang, S. T. Ng, J. Dao, S. Zhou, F. J. Xu, X. Xu y Z. Zhou, "BIM-GIS-DCEs enabled vulnerability assessment of interdependent infrastructures – A case of stormwater drainage-building-road transport Nexus in urban flooding", *Automation in Construction*, vol. 125, mayo de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103626>
- [74] G. Yu, Z. Mao, M. Hu, Z. Li y V. Sugumaran, "BIM+ Topology Diagram-Driven Multiutility Tunnel Emergency Response Method", *Journal of Computing in Civil Engineering*, vol. 33, no. 6, noviembre de 2019 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000851](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000851)
- [75] J. Zak y S. Vitasek, "BIM superior approach for infrastructure construction in the Czech Republic", en 17th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Jelgava, 23-25 de mayo de 2018, pp. 578-584 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N210>
- [76] S. Znobishchev y V. Shamraeva, "Practical Use of BIM Modeling for Road Infrastructure Facilities", *Architecture and Engineering*, vol. 4, no. 3, pp. 49-54, 2019 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.23968/2500-0055-2019-4-3-49-54>
- [77] M. A. van Eldik, F. Vahdatikhaki, J. M. Oliveira dos Santos, M. Visser y A. Doree, "BIM-based environmental impact assessment for infrastructure design projects", *Automation in Construction*, vol. 120, diciembre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103379>