



**Aplicación de metodologías ágiles para la planificación de proyectos de
infraestructura vial en Bogotá**

Elaborado por:

Diana Karina Correa Villamizar

Daniel Arturo Ramírez Gutiérrez

Laura Camila Lancheros Arias

Especialización Gerencia en Proyectos

Universidad Ean

Escuela de Formación en Investigación

Seminario de Investigación de Postgrado

Bogotá

23/11/2022

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	5
Introducción	6
Problema de Investigación	8
Pregunta de Investigación.....	10
Objetivos.....	10
Objetivo General.....	10
Objetivo Específicos	10
Justificación	11
Marco Teórico	13
Marco metodológico	19
Primer Nivel.....	19
Enfoque, alcance y diseño de la investigación.....	19
Definición de Variables	20
Población y muestra.....	22
Segundo Nivel.....	23
Selección de métodos o instrumentos de recolección de datos.....	23
Análisis de datos y técnicas	23
Análisis y discusión de los resultados.....	24
1. Diagnóstico cuantitativo proyectos con atrasos y sobrecostos	24
2. Descripción de la metodología actual de los proyectos de infraestructura vial.....	30
3. Identificación y análisis de criterios cualitativos que generan impacto en el cumplimiento de los proyectos.	33

4. Descripción de Técnica Scrum y Kanban y aplicación en la fase de planeación de los proyectos.	38
5. Proyectos viales con BIM, beneficios u oportunidades en la planificación del proyecto.	43
Conclusiones	50
Referencias	52

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Municipios con mayor número de obras inconclusas	24
Gráfica 2. Costos de los proyectos.....	26
Gráfica 3. Costos planeados vs costos reales.....	27
Gráfica 4. Porcentajes de avance programados vs ejecutados	27
Gráfica 5. Porcentaje de atraso en obras	28
Gráfica 6. Duración programada vs ejecutada.....	30
Gráfica 7. Ciclo de estructuración de proyectos de Infraestructura de Transporte.....	38
Gráfica 8. Ciclo de maduración ciclo de maduración de un proyecto de infraestructura de transporte.....	39
Gráfica 9. SCRUM.....	40
Gráfica 10. Proyectos desarrollados por el IDU	43
Gráfica 11. Porcentajes de avances proyectos BIM.....	44
Gráfica 12. Presupuesto ejecutado vs programado	44
Gráfica 13. Beneficios de la implementación BIM	47

Lista de Tablas

Tabla 1. Proyectos evaluados.....	25
-----------------------------------	----

Resumen

Las estadísticas presentadas por la Contraloría de Bogotá presentan que los problemas de cumplimiento en la entrega de proyectos de infraestructura vial en Bogotá han incrementado. Actualmente la planificación de estos proyectos se encuentran enmarcados dentro del enfoque tradicional, por lo que se considera pertinente evaluar si dicha metodología se adapta al entorno cambiante y dinámico de las obras o si se requiere de una transición de estos hacia una metodología híbrida o ágil. Para dicha investigación se hará uso de la metodología con un enfoque mixto, para llevar a cabo un análisis de variables cualitativas que influyen en el atraso de los proyectos viales como parte de la etapa de planificación, la evaluación del comportamiento de las variables cuantitativas respecto al tiempo y presupuesto de los proyectos, junto con un análisis causal de técnicas scrum y kanban. El tipo de estudio a utilizar es descriptivo, tomando como referencia las variables de tiempo y presupuesto; de acuerdo al resultado de la investigación, las técnicas de metodologías ágiles para los proyectos de infraestructura vial son aplicables a la etapa de planeación, ya que representan un ahorro en tiempo de búsqueda de información en un 60%, una reducción en tiempo de cantidad de obras en un 85%, un 70% de eficiencia y permiten una reducción de los conflictos presentados durante la obra en un 79%.

Palabras Claves: Metodología Ágil, Infraestructura, Presupuesto, Proyectos, tiempo.

Introducción

El sector de infraestructura en el país es fuente de reactivación económica y también es fundamental para el crecimiento y desarrollo económico del país, sin embargo de acuerdo con los últimos informes de la Contraloría de Bogotá, solo en el primer semestre del año se identificaron 35 obras de infraestructura con atrasos y problemas de ejecución de entrega en la Ciudad de Bogotá, siendo esta la que mayor porcentaje representa en el desarrollo económico del país (Contraloría de Bogotá, 2021). Muchos de los proyectos planificados alcanzan una etapa superior a la de factibilidad y en su ejecución se evidencia como empiezan a presentar demoras en los cronogramas planificados, generando así impactos negativos tanto para el proyecto como para el entorno (sociedad, movilidad y economía) del país.

Los proyectos de infraestructura vial no solo surgen como necesidad de fortalecer la economía del país, sino como una necesidad de dar solución a problemáticas viales para el desplazamiento de los ciudadanos que habitan o transitan en una zona, garantizando la conexión entre vías lejanas reduciendo tiempos de trayectos de un lugar a otro, generando empleos e incluso la disminución en los costos de transporte para la sociedad. Es tan relevante e importante la infraestructura vial en un país, que por esta razón surge la necesidad de realizar una investigación que permita conocer actualmente de qué manera y bajo qué procedimientos son planificados los proyectos viales en la Ciudad de Bogotá.

Una vez teniendo claridad sobre el desarrollo de la metodología tradicional que normalmente es usada para los proyectos de infraestructura vial, se pretende identificar los factores que inciden directamente en el control del cronograma y presupuesto de los mismos, las afectaciones que conlleva al entorno, el no cumplimiento de los proyectos; lo anterior teniendo como punto de partida que en general, para estos proyectos no se realiza un exhaustivo diseño y factibilidad de los diferentes recursos que se requieren para su desarrollo, no existen estimaciones claras sobre el presupuesto, lo cual genera adiciones financieras y de tiempo en una etapa mucho más avanzada del proyecto, impactando de manera negativa el desarrollo del mismo.

En general, los proyectos independiente del sector, deben estar soportados bajo alguna metodología que les permita tener una mayor administración, control, seguimiento y resultados de lo que se espera con los proyectos, es por ello que en el desarrollo de la investigación además de identificar el comportamiento de la variable tiempo y presupuesto en los proyectos viales en Bogotá, se va a investigar sobre proyectos que hayan usado en su planificación técnicas de metodologías diferentes a la tradicional como la ágil o híbrida, en las cuales se pueda identificar sus beneficios, impactos, procedimientos, alcance y como aportan de manera considerable al entorno, por lo anterior se espera definir si ¿Son las metodologías ágiles adecuadas para mejorar la planeación de los proyectos de infraestructura vial en Bogotá?

Problema de Investigación

En la primera parte del siglo pasado, la ciudad de Bogotá no contaba con un plan de obras públicas, ni una entidad que se encargará de manera estructurada, del desarrollo y planeación de las obras públicas; sin embargo, la necesidad del desarrollo vial, determinó la creación de una junta metropolitana de obras públicas, que posteriormente concibió un plan para el desarrollo urbanístico de Bogotá, y es así como en el año 1936 se habló por primera vez de la idea de espacio público, focalizado en asuntos de avenidas y alamedas. En la década del 40 se dio paso a incluir asuntos como áreas de expansión, densidad de la población y equipos de servicios públicos.

Para la segunda parte del siglo XX, se contaba con una oficina de planificación distrital que logró mantener y mejorar los proyectos de desarrollo vial. Para comienzos del siglo XXI, Bogotá realiza una lista de obras encontrando que, de 34 obras autorizadas, aún había 14 por iniciar desde el año 1995, esto permitió iniciar un proceso de planificación integral, reconociendo el urbanismo desde la función pública y la puesta en marcha del sistema de transporte masivo y demás alternativas integradas al mismo sistema, vinculando vías y espacios públicos.

En lo concerniente a la gestión de proyectos, a nivel nacional al igual que en su capital, los proyectos de infraestructura vial implementan el análisis predictivo, con miras a tener el control de las variables y los resultados del mismo, con base en la experiencia adquirida a lo largo de los años, sin embargo dado a las cifras de obras inconclusas, es posible deducir que la metodología tradicional podría estar quedándose corta a la hora de establecer estrategias que permita dar cumplimiento a la planificación de los proyectos.

Según estudios realizados por la universidad de Oxford en alianza con McKynse & Company, de 54.000 proyectos de infraestructura evaluados, el 45% de ellos excedieron el presupuesto estimado, 7% de estos proyectos siguieron trabajando aun cuando el cronograma de actividades había excedido y un 56% de estos proyectos entregan menos valor que el establecido. Así mismo The Standish Group reportó en su estudio anual Chaos Report que de un 100% de

proyectos, solo un 16% llegan a ser exitosos cubriendo con las especificaciones en el tiempo programado y con el presupuesto estimado, un 53% son problemáticos toda vez que costaron más de lo previsto, presentaron fechas de entrega fuera del programa de trabajo y tuvieron una funcionalidad menor a lo previsto en el alcance y el 31% restante fracasan al ser cancelados durante alguna etapa de su desarrollo. (KZI, 2016).

El sector de la infraestructura en Colombia es una fuente de reactivación económica, sin embargo, en los últimos años se ha podido evidenciar que los proyectos de infraestructura vial no han tenido la mejor gestión por incumplimiento en los cronogramas e incremento de presupuestos. De acuerdo con (Contraloría de Bogotá, 2021) solo en el primer semestre del año se identificaron 35 obras de infraestructura con atrasos y problemas de ejecución de entrega en la Ciudad de Bogotá, siendo esta la que mayor porcentaje representa en el desarrollo económico del país. En general, la Contraloría de Bogotá, con los análisis y seguimientos realizados, determina que la mayor parte de los proyectos viales no se cumplen por falta de planeación, en muchas ocasiones los encargados del proyecto, no han solicitado aprobaciones ante entidades requeridas, incluso permisos o acuerdos con el acueducto para hacer traslado de redes, o con inmuebles afectados que no debían haberse tenido en cuenta por ser patrimonio cultural, lo cual debe ser identificado en la etapa de planeación. (Ruiz, 2022)

Teniendo en cuenta que los proyectos se componen de varias fases y cada una de ellas presenta particularidades que hacen que sean susceptibles a cambios, se considera necesario involucrar un enfoque iterativo que permita una adaptación ágil y orientada a cambios, de este modo, elementos conocidos o características determinadas con anterioridad, pueden seguir un ciclo de vida predictivo, mientras que aquellos elementos que están sujetos a modificaciones o sean dinámicos, puedan seguir un ciclo de vida de desarrollo adaptativo (Project Management Institute, 2017); este enfoque iterativo tiene como base las herramientas que ofrece la metodología BIM para la aplicación de controles en la etapa de planeación, con el objetivo de identificar los principales factores inhibidores para un control efectivo de costos y programación, lo cual permitirá que la planificación de los proyectos pueda cumplirse de manera exitosa en su

cronograma y presupuesto, contribuyendo a los indicadores financieros del país, bienestar de las personas, movilidad en Bogotá, productividad a la hora de desarrollar un proyecto.

Pregunta de Investigación

¿Son las metodologías ágiles adecuadas para mejorar la planeación de los proyectos de infraestructura vial en Bogotá?

Objetivos

Objetivo General

Determinar si la metodología ágil de gestión de proyectos es aplicable a la planeación de los proyectos de infraestructura vial en Bogotá.

Objetivo Específicos

1. Identificar los principales problemas que tienen los proyectos de infraestructura vial en la planeación del proyecto.
2. Conceptualizar las técnicas de la metodología ágil de proyectos y su aplicación en la fase de planeación.
3. Determinar de qué manera se puede aplicar la metodología ágil o híbrida a los proyectos de infraestructura vial.
4. Identificar beneficios de la implementación de sistemas de información Building Information Modeling - BIM.
5. Identificar las mejoras y beneficios que tendrían los proyectos de infraestructura vial al aplicar una técnica de metodología ágil de proyectos para la fase de planeación.

Justificación

El presente estudio constituye una propuesta para mejorar la estimación de tiempo y costos de los proyectos viales, al analizar si la metodología ágil es aplicable a la fase de planeación de los proyectos de infraestructura vial en la ciudad de Bogotá, contemplando dentro de su alcance una evaluación respecto a si la planeación que actualmente están llevando los proyectos es o no la indicada, teniendo como identificación del problema: Demoras en los cronogramas, incremento presupuestal e incumplimiento de las entregas de los proyectos en infraestructura vial. A lo largo de la investigación se espera identificar la manera de aplicar una metodología ágil de gestión de proyectos para la fase de planeación, la cual tiene un alcance mucho más flexible a diferencia de la metodología tradicional, con el fin de poder mitigar los problemas más relevantes que actualmente presentan las obras viales.

A su vez con la investigación, se pretende evaluar la conveniencia de la implementación de herramientas que ofrece la metodología BIM a partir del enfoque iterativo, para su posible aplicación al sector de la infraestructura vial en Bogotá; si bien se pretende analizar la aplicación de esta metodología durante la etapa de planeación, los resultados del estudio ayudarán al cumplimiento con éxito de un proyecto involucrando otras fases del ciclo de vida, debido a que la relación existente entre las fases puede ser iterativa y no obedecer a una relación estrictamente secuencial, es decir que los lineamientos dados podrán ser aplicados durante las otras fases, para un control efectivo de costos y programación.

Adicionalmente, con este estudio y la orientación para una nueva metodología en el sector de infraestructura y los proyectos viales, se espera garantizar el cumplimiento de cronogramas con éxito, es decir, que la entrega final del proyecto se dé bajo los tiempos estipulados en la planeación, lo cual permitiría que no se requiera incurrir en un gran porcentaje de recursos y costos adicionales, que se cuente con una buena calidad del producto final a entregar, que no existan prórrogas o proyectos detenidos por una mala planificación; así como una respuesta favorable frente a los requerimientos de los clientes y usuarios de la vías respecto a plazos de entrega, velocidad de ejecución, inestabilidad del entorno o problemas que puedan surgir a lo largo del ciclo de vida del proyecto, logrando de esta forma una gestión eficiente de

este tipo de proyectos, al integrar el conocimiento de las metodologías ágiles, con métodos tradicionales, permitiendo a su vez identificar la relación e interacción de las variables definidas de costos y tiempo en la infraestructura vial y la metodologías ágiles.

Teniendo en cuenta que el campo de investigación del presente estudio descriptivo contribuirá al área de emprendimiento y gerencia, dentro del grupo de investigación de dirección y gestión de proyectos, enfocado a la línea de investigación modelos, metodologías y sistemas de gestión para la gerencia de proyectos, los resultados podrán ser aplicados dentro de los lineamientos para la planificación de futuros proyectos de infraestructura vial y la modernización de los mismos, también favorecerá la Estrategia Nacional BIM 2020 – 2026; beneficiando y aportando favorablemente al desarrollo y crecimiento económico del país, bienestar y calidad de vida de la sociedad, disminución de tasas de desempleo y de problemas de movilización, y por ende favoreciendo los indicadores financieros del país.

Marco Teórico

Las metodologías ágiles comenzaron como una iniciativa para gestionar proyectos de desarrollo de software más allá del proceso tradicional, en donde se busca responder de manera oportuna a los cambios que pudieran surgir durante un proceso, involucrando y enfocándose en el cliente y en el equipo desarrollador, incorporando dentro de la metodología un enfoque iterativo que permitiera predecir y controlar el riesgo a través del SCRUM. Actualmente la metodología ágil a través de un enfoque iterativo permite integrar programas y productos muy útiles para la creación y gestión de proyectos de construcción, incorporando un ambiente digital con formas de trabajar más eficaces y con mejores resultados, al integrar datos estructurados y multidisciplinares, para generar una representación digital de un activo durante todo su ciclo de vida, desde la planificación y el diseño, hasta la construcción y las operaciones.

En el desarrollo de la investigación se pretende analizar si la metodología ágil puede ser aplicable a los proyectos de infraestructura vial de la ciudad de Bogotá, para ello se trabajará sobre el marco de referencias del sector de infraestructura vial y sobre las técnicas y modelos existentes para la gestión ágil de proyectos.

Gestión de Proyectos y metodologías ágiles

Los proyectos fracasan principalmente porque no se ponen en práctica correctamente, porque los gestores no son capaces de agregar el esfuerzo humano de forma efectiva. (Barceló, 2013, p.9) Una correcta gestión de proyectos y planificación permite que se establezca tiempo, costos, recursos y alcance. El plan para la dirección del proyecto define la manera en que el proyecto se ejecuta, se monitorea, se controla y se cierra. El contenido del plan para la dirección del proyecto varía en función del área de aplicación y de la complejidad del proyecto. (Project Management Institute, 2017, p.83)

Los enfoques ágiles están alineados con los principios y valores declarados en el manifiesto ágil, donde es posible resaltar características como el énfasis en el valor del WIP (Work in Progress, Trabajo en Progreso), la responsabilidad de cada individuo durante el desarrollo y la actitud positiva frente a los cambios en los requerimientos (Villaroel R, Figueroa

I,Cornide H. 2020, p.142), las actuales organizaciones buscan optar por el uso de metodologías ágiles para encontrar mayores beneficios, como retorno a la inversión, satisfacción del cliente y calidad en el producto final a entregar como parte del proyecto, a través de un índice de medición ágil y un proceso de adopción que permite que las organizaciones integren sus proyectos mucho más fácil a la metodología ágil (James A, 2007)

Existe dos principales técnicas de metodologías ágiles SCRUM y KANBAN, las cuales se crearon como necesidad para dar mayor flexibilidad y adaptación inicialmente a los proyectos de software, ya que al hacer uso de metodologías tradicionales el alcance es mucho más detallado y los cambios que se puedan presentar en el ciclo de vida del proyecto, generan una mayor afectación al alcance, tiempo y costos que se definen en la etapa de planeación del proyecto.

Usualmente los proyectos de infraestructura pública tienden a generar sobrecostos debido a las fallas durante la planeación y la ejecución de los proyectos, utilizar metodologías complementarias como lo son las metodologías ágiles, las permiten monitorear los procesos de manera más efectiva minimizando y controlando a tiempo costos, tiempo e impacto social. De manera que en la actualidad es posible lograr a través de metodologías ágiles mejoras en el desempeño y presupuesto de los proyectos sin arriesgar requerimientos técnicos, legales o de cualquier interés que se pueda afectar con el resultado planeado.

Técnica de Scrum

Nació en la década de los 90 como necesidad de obtener nuevas prácticas en los procesos de software, es usada porque tiene un enfoque liviano y fácil de aprender. (Villaroel et al., 2020), el scrum en la actualidad es una técnica generalmente usada para proyectos de software que permiten el trabajo colaborativo, el seguimiento continuo de avances, ajustes de acuerdo con los seguimiento realizados, el SCRUM del equipo de proyecto es el encargado de movilizar que cada una de las actividades y tareas planeadas se den bajo los tiempos y adicionalmente coordina que se puedan realizar de manera flexible modificaciones en los entregables de forma que no se afecte considerablemente el alcance del proyecto. Aunque, es una técnica en su mayoría usada

para software, en la actualidad está empezando a ser usada por diferentes organizaciones, lo cual ha permitido fortalecer esta técnica y cambiar las reglas de la misma para ser acogida por diferentes sectores, no solamente el tecnológico.

La técnica del SCRUM, definida por los desarrolladores de la teoría como “Un marco de trabajo por el cual las personas pueden acometer problemas complejos adaptativos” (Schwaber & Sutherland, 2013), permite que las personas y las interacciones estén por encima de los procesos y las herramientas, la máxima prioridad siempre será satisfacer las necesidades del cliente mediante la entrega temprana y continua del alcance del proyecto, esta técnica permite aceptación de cambios en los requisitos, incluso en las últimas fases del proyecto, las mejores arquitectura, rediseños y requisitos surgen en equipos auto organizados (Maximini, 2015, #p.29).

Modelo del SCRUM:

Tiene una constante gestión evolutiva del avance, busca que la base del trabajo esté dada en la calidad del resultado del producto, es una estrategia de desarrollo incremental desarrollada a través de sprints. En la planificación del proyecto es primordial el concepto, visión, o necesidades del cliente.

Cada sprint puede durar entre una a cuatro semanas, esto permite un mayor seguimiento y agilidad a los entregables del proyecto, el equipo de trabajo en cada sprint definido monitorea en reuniones cortas el avance y seguimiento de los entregables, con el fin de ir gestionado o abordando temas pendientes o por solucionar.

Dentro del artefacto, que se refiere al producto final a entregar no es necesario mayor detalle, ya que en cada sprint se puede ir actualizando o modificando la lista por cada uno de los miembros del equipo, controlado siempre por el SCRUM MASTER quién se encarga de facilitar y gestionar la ejecución del proyecto. (Scrum Manager, 2015)

El marco técnico del SCRUM está formado por:

- Roles: Equipo de scrum, scrum master, dueño del producto.

- Artefactos: Pila del producto, Pila del sprint.
- Eventos: Sprint, reunión de planificación del sprint. o Scrum diario. o revisión del sprint. o retrospectiva del sprint.

Técnica KANBAN

Siendo también una metodología ágil, fue empleada inicialmente por Toyota para referirse al sistema de visualización empleado en los procesos de producción que coordinan en una cadena de montaje la entrega a tiempo de cada parte en el momento que se necesita, evitando sobreproducción y almacenamiento innecesario de producto. (Villaroel R, Figueroa I. 2020, p.143), esta técnica a diferencia del SCRUM, permite que se pueda encontrar un equilibrio entre las entregas requeridas y la disponibilidad del recurso humano, esto a través de tableros que permiten ir registrando las tareas, priorizando cada una de ellas y así mismo permitiendo flexibilidad en el desarrollo de las mismas. Una de las mayores ventajas de esta técnica ágil es planificar la flexibilidad, en la que el equipo de trabajo se centra únicamente en el trabajo en curso para hacer la entrega más efectiva y eficiente, tiene duración de ciclos reducidos y métricas visuales.

De acuerdo con (Radigan, 2021) las diferencias entre la técnica de SCRUM KANBAN son las siguientes: El SCRUM se trabaja bajo periodos de tiempo cortos y definidos conocidos como sprint, mientras que en KANBAN es un flujo continuo de tiempo, en SCRUM al final de cada sprint se hace una aprobación del entregable de producto, en KANBAN es una entrega continua o depende de los requerimientos del equipo, la métrica clave para SCRUM es la velocidad, mientras que para KANBAN es el tiempo del ciclo.

Planificación en metodologías ágiles

A través de las iteraciones, se establece primero el qué, en donde el cliente o dueño del producto presentan los requisitos priorizados y objetivos de manera que el equipo del proyecto puede revisar la lista de requerimientos. Posterior a ello, se establece el Cómo, el equipo del proyecto estima un tiempo para cada entregable de la lista de requisitos (Backlog), con el fin de

definir cuáles serán los primeros entregables. En esta etapa de planeación no se requiere mayor detalle de los requerimientos ya que se pueden ir cambiando o refinando. (Scrum Manager, 2015). En esta etapa se hace entrega de la cantidad de sprints a trabajar, duración de cada sprint, actividades y tareas a realizar en cada sprint.

Desarrollo de proyectos de infraestructura vial en Colombia

En la gestión de proyectos predictiva existente en infraestructura vial en Colombia, la planificación de proyectos es la parte en la cual se determinan los objetivos y metas del proyecto dentro del sector económico en el cual se encuentra. Se identifica la necesidad u origen del proyecto, generalmente los proyectos de infraestructura surgen por requerir la transformación o renovación en alguna zona puntual, esto permite determinar en una etapa temprana que el proyecto va a ser beneficioso para la sociedad. (USUGA MORENO, 2013).

Según el Departamento Nacional de Planeación, la planificación de un proyecto se desarrolla en etapas, la inicial e intermedia en donde se define el proyecto y se realiza un análisis de factibilidad del mismo, generalmente se usan variables cualitativas. En la etapa final, se realiza la fase de contratación, allí se establecen los stakeholders que deben participar en el desarrollo de proyectos de infraestructura vial. (DNP, 2020) En Colombia generalmente las entidades participantes son: INVIAS, Departamento Nacional de Planeación, Unidad Administrativa Especial de Rehabilitación y Mantenimiento Vial, Instituto de Desarrollo Urbano (Ciudad de Bogotá) y la agencia nacional de infraestructura (ANI).

De acuerdo con el manual del Departamento Nacional de planeación para el desarrollo de proyectos, en la planeación se debe evaluar la complejidad del entorno o contexto de desarrollo del proyecto, valorar la capacidad del patrocinador, para el caso de proyectos públicos se deben evaluar los recursos del estado para financiamiento de las obras, se deben comprender los desafíos e identificar las brechas que se puedan presentar y por último planificar acciones para las posibles brechas (DNP, 2020). En la planificación de proyectos se debe identificar la disponibilidad de servicios para el desarrollo del mismo, establecer las ventajas competitivas, el grado de especialización productiva que se puede alcanzar, la posibilidad de internacionalización

o reconocimiento por el proyecto de infraestructura, lo anterior permitirá definir la factibilidad del proyecto en la planeación del mismo. (Desarrollo De Infraestructura Y Crecimiento Económico: Revisión Conceptual, 2020)

Modelado BIM

El Modelado de información para la construcción (BIM) es el proceso holístico de creación y administración de la información de un activo construido, basado en un modelo inteligente e impulsado por una plataforma en la nube, es así como BIM integra datos estructurados y multidisciplinarios para generar una representación digital de un activo durante todo su ciclo de vida, desde la planificación y el diseño hasta la construcción y las operaciones; permitiendo evaluar múltiples escenarios en tiempo real para determinar el mejor desempeño optimizando los recursos. La metodología BIM mejora los proyectos de infraestructura vial desde su etapa de planificación, construyendo un modelo digital integral con una base de datos estructurada que permite identificar de manera oportuna, posibles inconsistencias o interferencias que pudiesen ocasionar aumentos de costos y plazos de entrega, o deficiencias en la calidad desde la etapa de factibilidad. Actualmente en Colombia ya se encuentra en proceso la Estrategia Nacional BIM 2020 – 2026, que busca su implementación progresiva para proyectos de orden nacional y/o proyectos cofinanciados por el Gobierno Nacional, para la modernización del sector de la construcción e infraestructura, a través de procesos colaborativos usando información estandarizada en un entorno digital.

Marco metodológico

Primer Nivel

Enfoque, alcance y diseño de la investigación

El enfoque de esta investigación consiste en determinar si las metodologías ágiles o híbridas son aplicables a proyectos de infraestructura vial en Bogotá, teniendo en cuenta que actualmente estos proyectos presentan incumplimientos y son desarrollados con metodología tradicional; logrando de esta forma la ejecución de los mismos en el tiempo planificado sin incurrir en sobrecostos respecto al presupuesto estimado para el proyecto durante su planificación.

La investigación es de tipo descriptivo, permitiendo definir y conceptualizar cuales son las variables más importantes en la etapa de planificación de proyectos de infraestructura vial y cómo impactan directamente el problema de investigación identificado.

El estudio será desarrollado bajo el diseño de una metodología con enfoque mixto, desde la perspectiva cualitativa se realizará la recolección y análisis de información, que permita identificar los principales aspectos que generan mayor impacto en el incumplimiento del cronograma y afectación en el presupuesto planificado para los proyectos de infraestructura vial en la Ciudad de Bogotá, los cuales a su vez, se convertirán en soporte para determinar si el uso de una metodología diferente a la actualmente usada, es aplicable a este tipo de proyectos viales, generando teorías, hipótesis, explicaciones o narrativas.

Con relación a la perspectiva cuantitativa, se utilizará como fuente de información los datos suministrados a través de la página web del IDU, entidad pública responsable de ejercer obras viales y de espacio público para el desarrollo urbano de Bogotá mediante la estructuración y desarrollo de proyectos de infraestructura vial y movilidad multimodal. Para realizar un análisis de las variables tiempo y presupuesto, se identificaron aspectos como porcentaje de avance y atraso, duración, costos y el comportamiento de los mismos, en los proyectos de infraestructura vial seleccionados como muestra, conforme a la población identificada.

Adicionalmente, se espera identificar las mejoras y beneficios en aspectos sociales o económicos de los proyectos de infraestructura, al implementar una metodología ágil para la planificación del mismo, de esta manera se espera establecer un paso a paso de la etapa de planeación de los proyectos viales bajo las metodologías ágiles o híbridas, con el fin de proponer una aplicación diferente de la metodología, que permita un mayor cumplimiento del cronograma y presupuesto establecido para los proyectos viales.

Para el diseño de la investigación se tendrán en cuenta las siguientes etapas:

1. Diagnóstico cuantitativo de proyectos con atrasos y sobrecostos
2. Descripción de la metodología actual de los proyectos de infraestructura vial.
3. Identificación y análisis de criterios cualitativos que generan impacto en el cumplimiento de los proyectos.
4. Descripción de Técnica de scrum y kanban aplicación en la fase de planeación de los proyectos.
5. Análisis de proyectos viales que hayan aplicado la técnica de metodología ágil BIM Building Information Modeling, identificando beneficios u oportunidades en la planificación del proyecto.

Definición de Variables

1. Variable Tiempo

Definición conceptual: Magnitud física que permite medir la permanencia o duración de actividades, utilizada para controlar el tiempo de duración y finalización de duración y finalización de cada una de ellas, permitiendo tomar decisiones e implementar acciones oportunas cuando el cronograma del proyecto se esté viendo afectado.

Definición Operacional: La unidad de medida de esta variable será días. La medición de tiempo de cada actividad estará dada por la siguiente fórmula:

$$E = (O + 4M + P)/6$$

Siendo E estimación de tiempo total de la actividad, O el tiempo optimista estimado para la actividad, M tiempo estimado más probable y P tiempo estimado pesimista para la actividad.

Para la medición de esta variable frente al atraso, se realiza el cálculo en Excel con la fórmula:

$$\text{Días de atraso} = \text{Fecha Fin Real o Fecha Actual} - \text{Fecha Final Planificada}$$

Las dimensiones de la variable tiempo están dadas por: Atraso, duración y ruta crítica

2. Variable Presupuesto:

Definición Conceptual: Cálculo monetario anticipado para determinado proyecto incorporando las actividades requeridas para su ejecución en un periodo de tiempo determinado, integrando conceptos costos directos indirectos, costos administrativos, costos generales, costos comerciales, imprevistos y utilidades.

Definición Operacional: Su unidad de medida es en términos monetarios, para este estudio corresponde a pesos colombianos M/CTE.

Para la medición de esta variable se realiza la sumatoria de todos los costos asociados al desarrollo del proyecto.

$$\text{Presupuesto} = \sum \text{Costos}$$

Para la variable presupuesto las dimensiones están dadas por: Previsión, planeación, organización, integración, dirección y control

Población y muestra

De acuerdo a la información obtenida de la página web del IDU y la herramienta Visor de Proyectos, la cual permite visualizar en el mapa oficial del Distrito Capital, todos los proyectos que el IDU se encuentra ejecutando en la ciudad, se pudo identificar que actualmente el instituto tiene 160 proyectos a su cargo, de los cuales 5% se encuentran en factibilidad, 21,8% se encuentran en diseño, 61,8% en construcción y 13,1% se encuentran en conservación.

Para el caso de estudio se determinó como población aquellos proyectos que se encuentran en etapa de construcción, con el objetivo de realizar un análisis cuantitativo en lo que respecta a los porcentajes de avance programado y ejecutados e identificar cuales proyectos presentan incumplimiento respecto a las variables de costos y tiempo planeadas inicialmente.

Dado que este 61.8% de proyectos en construcción se encuentra distribuido en las 20 localidades de la Ciudad de Bogotá, la muestra seleccionada para realizar la investigación con enfoque cuantitativo de las variables definidas en la metodología de investigación corresponde a 16 proyectos, considerados como los más representativos no solo por su costo y extensión, ya que superan los \$10.000.000.000 y 0.5KM respectivamente, sino que también se tuvo en cuenta el impacto en el tráfico vehicular de la ciudad, lo cual incide en aspectos como la economía y el tráfico vehicular. Para el enfoque cualitativo se tendrá en cuenta una muestra de 5 proyectos con un costo total del proyecto que supere los \$120.000.000.000 y mayor a 10KM, lo anterior permitiendo seleccionar proyecto de magnitud más grande en cuanto a extensión.

Segundo Nivel

Selección de métodos o instrumentos de recolección de datos

De acuerdo con el enfoque cualitativo y descriptivo del estudio se realizó la recopilación y análisis de información respecto a las variables definidas anteriormente, tiempo de ejecución y presupuesto estimado de proyectos de infraestructura vial, a partir de documentos de proyectos de infraestructura vial disponible en internet, y procesos de contratación como la plataforma transaccional SECOP II y la página oficial de Entidades como el Instituto de Desarrollo Urbano IDU, Instituto Nacional de Vías, Agencia Nacional de Infraestructura y Contraloría General de la Republica. Adicionalmente se pretende buscar información sobre, aspectos relevantes en el proceso de planificación de proyectos, que incidan dentro de la relación entre las variables identificadas y el planteamiento del problema como estudios de suelos, fuentes de materiales, condiciones climáticas, aspectos ambientales y legales; así como el comportamiento de las variables en proyectos donde se han implementado metodologías BIM, SCRUM y KANBAN.

Análisis de datos y técnicas

El análisis de los datos se podría definir como un conjunto de procesos realizados para extraer significados relevantes en relación con un problema de investigación, se lleva a cabo generalmente preservando su naturaleza textual, poniendo en práctica tareas de categorización y sin recurrir a las técnicas estadísticas (Rodríguez, Gil y García, 1996: 200-201).

Para el análisis de datos del estudio se utilizará la técnica de análisis causal con el objetivo de identificar patrones o características similares que presenten los proyectos de infraestructura vial, siendo el objetivo de un modelo causal, describir las posibles relaciones causales entre variables para explicar un fenómeno, en este caso, los atrasos y sobrecostos presentados en los proyectos de este tipo.

El objetivo principal de las estrategias o técnicas implementadas para los estudios basados en el análisis causal, es identificar los antecedentes de una condición presente, a través del análisis de problema, búsqueda de información, determinación de posibles factores causales,

identificación de causas y finalmente la elaboración de premisas para recomendar o implementar soluciones. El valor de los estudios causales reside principalmente en su carácter exploratorio permitiendo establecer relaciones causales entre variables validando teorías o hipótesis respecto a estas relaciones. Adicionalmente, desde la recolección de información cuantitativa se utilizarán las técnicas de gráficas estadísticas que permitan dar a conocer el comportamiento de los proyectos respecto a las variables de tiempo y presupuesto.

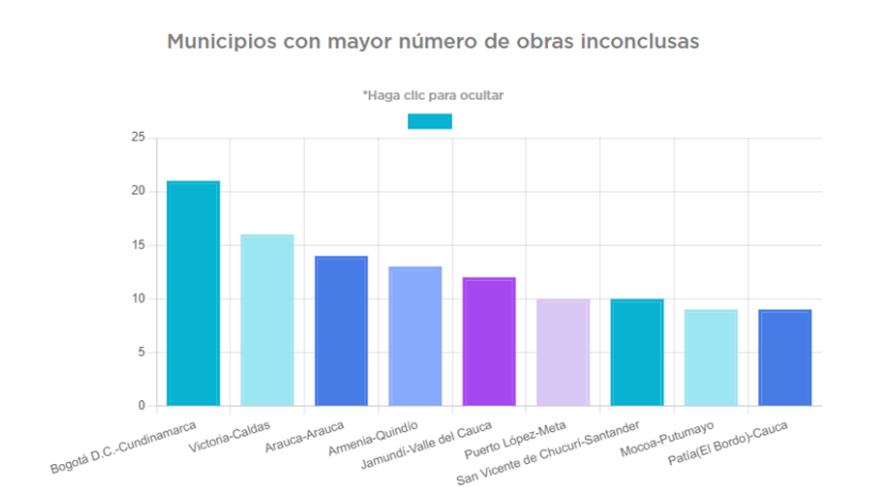
Análisis y discusión de los resultados

Teniendo en cuenta la metodología definida se desarrollan los siguientes puntos, como resultado de la investigación

1. Diagnóstico cuantitativo proyectos con atrasos y sobrecostos

A través del análisis realizado por el Portal anticorrupción de Colombia (PACO), se muestra en la Gráfica 1, un comparativo entre varias zonas representativas del país, evidenciando que Bogotá es la ciudad con mayor número de obras inconclusas, por lo cual se considera pertinente evaluar el comportamiento de las variables tiempo y costo con la metodología tradicional implementada para los proyectos de la Ciudad.

Gráfica 1. Municipios con mayor número de obras inconclusas



Fuente: Portal Anticorrupción de Colombia (PACO)

A continuación se presentan los proyectos seleccionados, como muestra para llevar a cabo el análisis cuantitativo de los porcentajes de avance:

Tabla 1. Proyectos evaluados

N° Contrato	Descripción	Long - Km	Costo miles de millones	Duración años	% Ejecutado	% Programado
1647	Troncal Avenida Ciudad de Cali Tramo 1 - Grupo 2 - Av. Bosa a Av. Villavicencio	2.50	\$221.019.97	6.9	18.38%	86.70%
1543	Corredor Av. Tintal - Av. Alsacia Grupo 1 - Av. Tintal de Av. Bosa a Av. Manuel Cepeda Vargas	9.36	125.885.34	3.8	81.84%	99.62%
1540	Corredor Av. Tintal - Av. Alsacia Grupo 2	0.59	\$163.169.17	4.1	79.30%	81.87%
1653	Troncal Avenida Ciudad de Cali Tramo 1- Grupo 3 - Av. Villavicencio a Av. Manuel Cepeda Vargas- Construcción	1.10	\$128.484.09	8.1	4.66%	6.28%
1286	Aceras y ciclorruta Calle 116 de Av. Boyacá a Autonorte (Incluye Aceras y ciclorruta Calle 116 de Cr. 9 a Autonorte)	3.68	\$40.890.79	1.2	50.63%	83.00%
1518	Aceras y Ciclorruta Canal Molinos entre Av. Carrera 9 hasta Autopista Norte	1.93	\$13.647.62	1.2	47.00%	82.00%
345	Troncal Avenida 68 Grupo 1 - Autop. Sur a Cll. 18 Sur	2.83	\$377.456.45	10.7	9.40%	13.25%
349	Troncal Avenida 68 Grupo 5 - Av. Esperanza a Cll. 46	7.47	\$208.086.10	8.7	27.49%	30.66%
350	Troncal Avenida 68 Grupo 6 - Cll. 46 a Av. Cll. 66	13.00	\$216.363.45	9.7	9.77%	13.00%
1777	Avenida Boyacá (AK 72) desde Av. San José (AC 170) hasta Av. San Antonio (AC 183)	10.30	\$72.334.68	3.6	18.60%	29.50%
351	Troncal Avenida 68 Grupo 7 - Cll. 66 a Cr. 65	3.50	\$368.334.45	11.3	6.50%	8.00%
346	Troncal Avenida 68 Grupo 2 - Cll. 18S a Av. de las Américas	1.78	\$292.993.43	9.7	22.80%	27.40%
1601	KR 5 Z 50 A 11 SUR	14.30	\$264.533.4	8.0	38.60%	63.80%
1539	Av. Alsacia entre la Av. Ciudad de Cali hasta la Transversal 71B	16.50	\$133.958.65	4.1	68.90%	81.40%
348	Avenida centenario (calle 13) hasta la avenida esperanza (calle 24)	6.87	\$247.625.77	9.7	10.00%	10.80%
353	Avenida congreso eucarístico (carrera 68) desde la carrera 48 hasta la carrera 9	17.17	\$251.047.56	9.7	18.40%	22.50%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la información anterior y la muestra seleccionada, las longitudes de los proyectos analizados se encuentran entre los 0.47 a 17.17 km y con presupuestos que van desde 6 hasta 129 mil millones de pesos, en la Gráfica 2 se presenta el costo de los proyectos con relación a su longitud, observando que en algunos casos existen proyectos con longitudes pequeñas pero altas inversiones, lo anterior como resultado de las características y requerimientos particulares de cada proyecto.

Gráfica 2. Costos de los proyectos

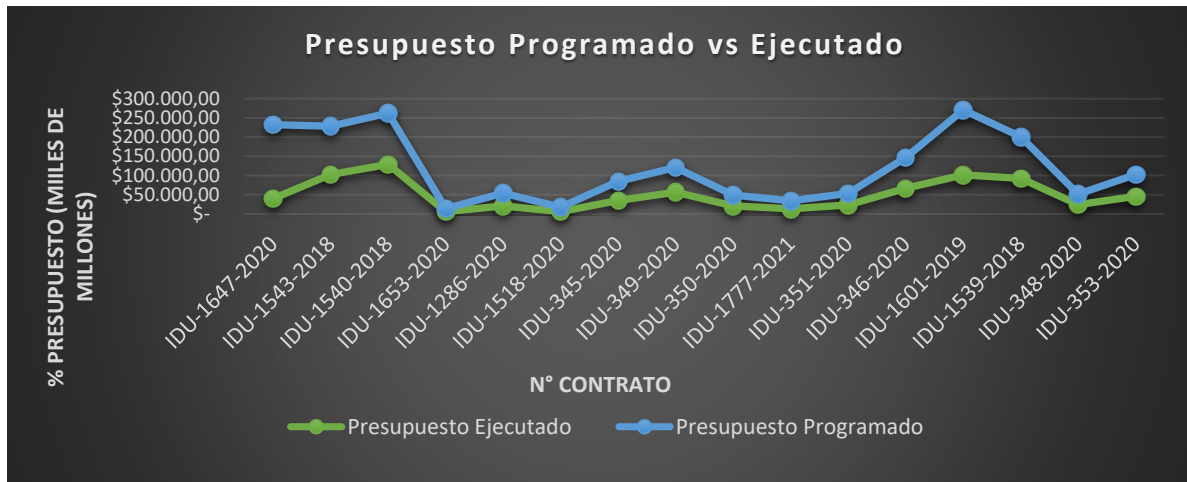


Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la información obtenida del visor de proyectos del IDU, y al realizar un comparativo entre los costos planeados de cada proyecto vs los costos ejecutados, se evidencio que el sobrecosto promedio de los mismos asciende a la suma de \$ 348.902.000.000,00, costos que podrían ser mitigados tras la implementación de metodologías ágiles. Ver

Gráfica 3.

Gráfica 3. Costos planeados vs costos reales

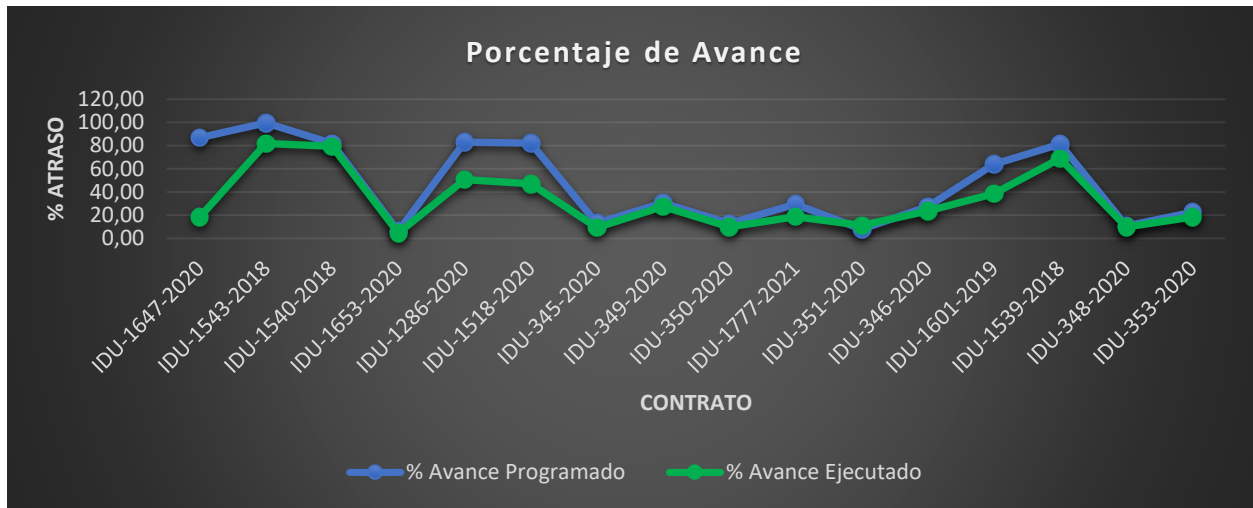


Fuente: Elaboración Propia

La

Gráfica 4 evidencia la brecha que existe entre el porcentaje de avance de obra programado comparado con el avance de obra ejecutado a la fecha de la evaluación. Este análisis permite visualizar la necesidad de generar estrategias que permitan disminuir las brechas de estos porcentajes de avance para evitar sobrecostos y atrasos en los proyectos.

Gráfica 4. Porcentajes de avance programados vs ejecutados



Fuente: Elaboración Propia

Al evaluar el promedio del porcentaje de avance real de obras versus lo programado, se evidencia que los proyectos presentan un atraso promedio del 14.2%, cabe resaltar que hay casos en los que el diferencial de avance de obra se encuentra por encima del 30%, siendo 68.32% el más crítico de los contratos y 0.80% el menos crítico. Ver

Gráfica 5.

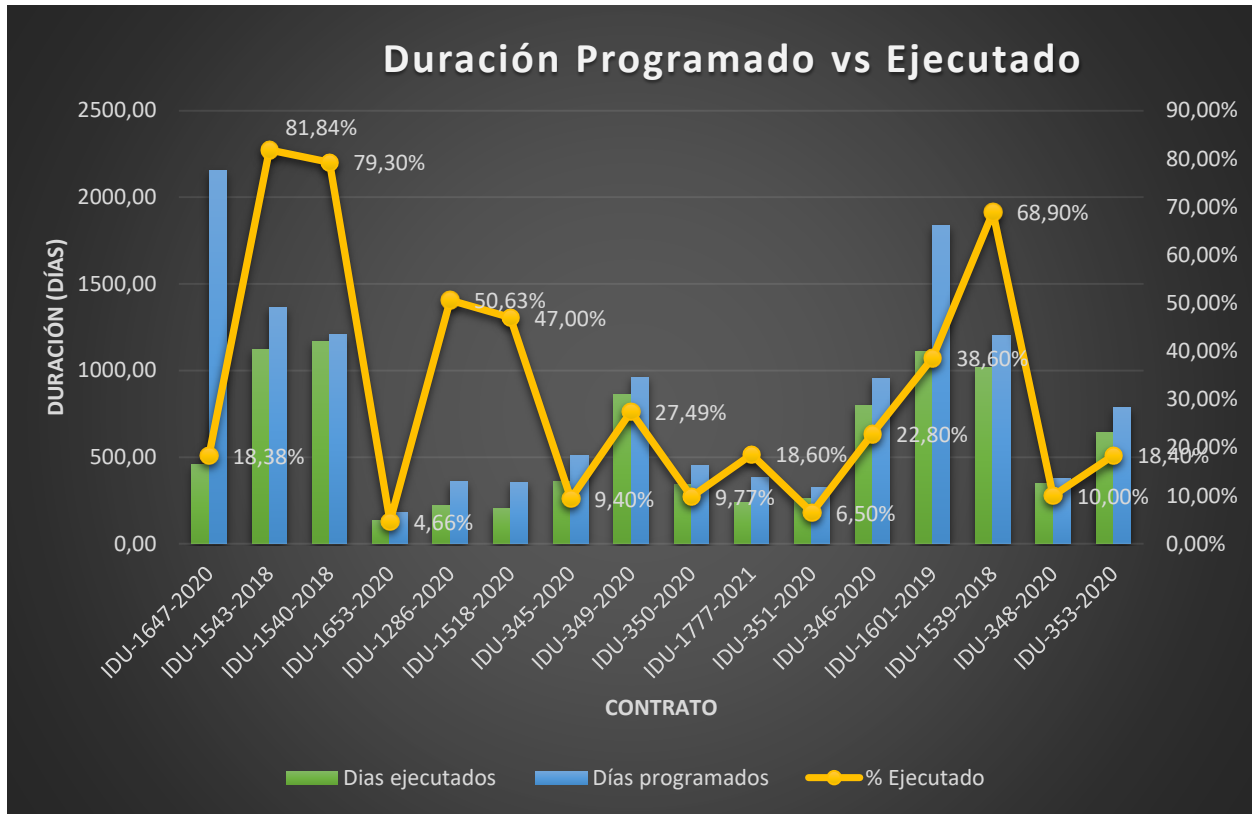
Gráfica 5. Porcentaje de atraso en obras



Fuente: Elaboración Propia

En la Gráfica 6 se visualiza los deltas desde la perspectiva de los días planeados comparados con los días de avance de obra a la fecha del análisis, permitiendo conocer de manera práctica en tiempo y nivel porcentual, el avance de los contratos tomados como muestra para la ciudad de Bogotá DC.

Gráfica 6. Duración programada vs ejecutada



Fuente: Elaboración Propia

2. Descripción de la metodología actual de los proyectos de infraestructura vial.

De acuerdo con el PMBOK, la fase de planeación de los proyectos bajo una metodología tradicional, consiste en definir, preparar y coordinar todos los componentes del plan requeridos para la gestión del proyecto, en esta fase se justifica el porqué de ejecutar el proyecto, a través de la identificación de una necesidad o problemática, definiendo sus requisitos, restricciones, supuestos, stakeholder y un alcance que permita establecer las diferentes actividades a desarrollar.

Por otra parte, el Departamento Nacional de planeación tiene formalizado una estructura para la metodología de los proyectos de infraestructura de la siguiente manera: (Departamento nacional de planeación, 2021)

- Identificación de la problemática u oportunidad: Identificación del problema central, causas, efectos y el análisis de la situación existente que se presentan en la vía a intervenir, se identifica la población afectada a través de diagnósticos e investigación de campos.
- Actores participantes: Se integran todas aquellas personas, grupos y organizaciones relacionadas con el problema identificado y con las acciones que se deben empezar a ejecutar para el desarrollo del proyecto. Generalmente en proyectos de infraestructura vial participa el INVIAS, el Departamento nacional de planeación, Ministerio de transporte, Instituto de desarrollo urbano (IDU), Alcaldía de Bogotá, Agencia Nacional de infraestructura ANI.
- Licencias y permisos ambientales requeridos: Los proyectos requieren de tramites como la licencia de intervención para el espacio público son medidas adoptadas por el Plan de Ordenamiento Territorial (Licencia De Intervención Del Espacio Público | Bogota.gov.co, 2022), gestión normativa de servicios públicos para el Decreto 3050 de 2013, permiso de uso de suelos e interventoría de una vía, permisos de movilidad para transitar vehículos de carga pesada sin afectación de los suelos de la vías cercanas al lugar específico a intervenir (Agencia Nacional de infraestructura, 2022).
- Justificación y objetivo del desarrollo del proyecto: Se establecen los planes sectoriales a trabajar, una vez determinado el problema y necesidad a abordar. El problema central se debe transformar en el objetivo general del proyecto.
- Análisis de la necesidad: Para poder empezar a estructurar el alcance del proyecto, se realizan consultas a fuentes de información como el DANE para establecer estadísticas de la afectación del problema o necesidad.
- Estudio de localización: Se determina el tamaño del proyecto, la localización de la vía a intervenir, la reglamentación de uso del suelo, limitaciones legales y administrativas, condiciones de accesibilidad.

- **Análisis y gestión del riesgo:** Identificación de posibles riesgos y amenazas que pueda tener el proyecto, se establece la estructura de desglose de trabajo (EDT) para mayor identificación de riesgos de acuerdo con las tareas y actividades planificadas.
- **Requisitos técnicos:** Análisis de permisos, certificaciones y licencias, análisis de calidad de los productos a entregar, identificación y selección de maquinaria, tecnología, materiales, etc.
- **Análisis ambiental:** Análisis de la situación ambiental del lugar en el cual se desarrollará la obra y los posibles impactos que pueda generar el desarrollo del proyecto al entorno ambiental, con el fin de crear planes de mitigación ambientales.
- **Análisis legal:** Se tiene en cuenta las contrataciones con proveedores que participen en la ejecución de la obra, prestaciones sociales, obligaciones laborales y demás requisitos que deben cumplir los grupos u organizaciones que participan en el proyecto.
- **Análisis y plan de sostenibilidad:** Se debe analizar que el desarrollo del proyecto sea con inversión de financiamiento de naturaleza permanente, la sostenibilidad en los proyectos de infraestructura permite controlar dinámicas sociales, políticas, económicas, culturales, territoriales, ambientales.
- **Costos de ejecución:** Cantidad monetaria que se debe pagar por cada uno de los insumos requeridos para las diferentes fases del proyecto, se deben tener en cuenta los costos de mano de obra, servicios, maquinaria, herramientas, transporte, licencias, trámites, impuestos, entre otros.
- **Cronograma del proyecto:** Una vez identificadas cada una de las actividades a desarrollar durante el ciclo de vida del proyecto, se debe determinar el tiempo de cada actividad, con el fin de obtener el cronograma final del proyecto, con fecha de inicio y fecha fin.

Respecto a las herramientas usadas actualmente para la planificación de proyectos de infraestructura en lo que respecta al tiempo se encuentra el método PERT, que permite

identificar el tiempo necesario que toma completar cada tarea y actividad y la criticidad de cada una (Salazar, 2019), en los proyectos bajo metodología tradicional, cada fase debe realizarse de forma ordenada y completa ya que se trabaja bajo un solo entregable final. Esta herramienta proporciona una representación visual del cronograma de un proyecto desglosado en tareas individuales. En lo que respecta al presupuesto, otra de las variables que inciden directamente en la planificación de los proyectos, existen diversos métodos y técnicas para estimar los costos, pudiendo ser conceptuales, deterministas o definitivas (U.S. Department of Energy, 2011, p. 18) para su definición se tienen en cuenta aspectos como alcance, propósito de la estimación, disponibilidad de recursos, grado de precisión esperado, entre otros.

Actualmente, los proyectos de infraestructura vial implementan para el seguimiento y control del presupuesto y cronograma, la herramienta informática Microsoft Project, que permite organizar la información de tiempos, costos y recursos (material, maquinaria, mano de obra) asignados a las actividades de un proyecto, controlando la ejecución del presupuesto y realizando seguimiento de las actividades a partir de la línea base del cronograma y ruta crítica del proyecto, permitiendo la toma de decisiones sobre acciones para corregir el curso normal de un proyecto.

3. Identificación y análisis de criterios cualitativos que generan impacto en el cumplimiento de los proyectos.

Para llevar a cabo esta fase, se utilizará como muestra 5 de los 16 proyectos seleccionados previamente, toda vez que para llevar a cabo este análisis cualitativo se requiere que los proyectos presenten similitudes en cuanto a su alcance y características. Teniendo en cuenta la muestra seleccionada de siete (5) proyectos, se obtienen los siguientes análisis y resultados de criterios cualitativos que generan impacto en el cumplimiento del cronograma y presupuesto:

a. Proyecto de infraestructura Troncal AV Ciudad de Cali Tramo 1

Grupo 2: Avance programado 86,7%, avance ejecutado 18,38%

Inicio 26/01/2021

Fin 25/12/2027

Numero de contrato:IDU-1647-2020, Costo total proyecto: \$221.019.965.377

KM 2,5

Grupo 3: Avance programado 6,28%, avance ejecutado 4,66

Inicio 28/01/2021

Fin 19/02/2029

Número de contrato: IDU-1653-2020

Costo total: \$ 128.484.094.540 KM8,11

Actualmente esta obra presenta un atraso del 68,4%, a causa de gestiones por parte de los contratistas a cargo, el contratista JMV y Alca. Hasta el momento se evidencia que realizaron una correcta programación, sin embargo la firma española OHL y el 4 de MHC/ferrovial, presentan atrasos en su programación entregada. (Malaver, 2022). De acuerdo con el Director del IDU, generalmente los contratistas no cumplen los cronogramas porque no gestionan de manera diligente las aprobaciones de parte de la Secretaría ambiental, el plan de movilidad para la obra por parte de la Secretaría de Movilidad, o no realizan gestión oportuna cuando las empresas de servicios (VANTI, Acueducto, EN EL Codensa) cuando se requiere intervenir una red. (Puentes, 2022).

b. Infraestructura Troncal Avenida 68

Grupo 1: Inicio 25/06/2020- Fin 24/02/2031

Porcentaje de ejecución: 9,40% Porcentaje de programación 13,25%

Número de contrato: IDU-345-2020

Costo proyecto:\$377.456.450.363

KM 22,49

Grupo 2: Inicio 26/06/2020- Fin 25/02/2030

Porcentaje de ejecución: 23,89% Porcentaje de programación 28,11%

Número de contrato: IDU-346-2020

Costo proyecto:\$292.993.429.408

KM 1,78

Número de contrato: IDU-346-2020

Grupo 5: Inicio 18/06/2020- Fin 17/02/2029

Porcentaje de ejecución: 27,49% Porcentaje de programación: 30,66%

Número de contrato: IDU-349-2020

Valor total obra: \$208.086.098.930

KM 7,47

Grupo 6: Fecha de inicio: 12/06/2020 - Fecha de finalización: 11/02/2030

Porcentaje de ejecución: 9,77% Porcentaje de programación: 13,32%

Número de contrato: IDU-350-2020

Valor total obra: \$216.363.454.208

KM 2,08

La obra de la troncal de la AV 68 en los 4 grupos presenta atraso, de acuerdo con el porcentaje programado, se evidencia un atraso total del 14,86%, el cual se deriva de la gestión de la programación y ejecución de actividades. Los contratistas Concreto, PavimentosCol y LHS están cumpliendo de acuerdo al programa planificado, sin embargo, MHC ingeniería de construcción y obras civiles está atrasado y no está cumplimiento. (Malaver, 2022). Por otra parte, esta obra también presentan atrasos porque la ciudadanía presentó observaciones sobre el tratamiento ambiental de árboles, lo cual conllevó a la empresa contratista a realizar reprocesos en estas actividades que ya se habían finalizado. (Puentes, 2022)

c. Infraestructura AV Guayacanes

Grupo 1: inicio: 31/01/2019- finalización: 28/11/2022

Porcentaje ejecución 81,84 Porcentaje programado: 99,62%

Número de contrato:IDU-1543-2018

Costo total proyecto: \$125.885.338.035 KM 16,74

Grupo 2: Fecha inicio 05/02/2019 Fecha fin:26/03/2023

Porcentaje ejecución 79,30% Porcentaje programado: 81,87%

Número de contrato:IDU-1540-2018

Costo total proyecto: \$163.169.172.920 KM 1,97

Grupo 3: Fecha inicio 28/01/2021 Fecha fin: 19/02/2029

Porcentaje ejecución 4,66% Porcentaje programado: 6,28%

Número de contrato:IDU-1653-2020

Costo total proyecto: \$128.484.094.540 KM 1,67

La obra de AV Guayacanes en total presentan un atraso de 21,97%, los motivos identificados son, que no existen los suficientes recursos hombre para la construcción de la obra, debido a la mala planificación por parte de contratista (*Atraso En Obras: Tramo De La Avenida Guayacanes Tiene Pocos Obreros - Bogotá, 2022*) y teniendo en cuenta esto el contratista solicitó siete (7) meses más como tiempo adicional a la programación inicial, dado a que no se gestionó con tiempo el traslado de una red por parte del acueducto. (*Revista Semana, 2022*)

d. Infraestructura Extensión Troncal Caracas Tramo I - Molinos al portal Usme -

Construcción

Fecha inicio 26/12/2019- Fecha fin 11/01/2028

Porcentaje ejecución: 38,6% Porcentaje programado: 63,8%

Número contrato: IDU-1605-2019

Costo total proyecto: \$264.533.398.110 KM: 4,2

La obra presentan un atraso del 25% respecto a la planeación realizada para la construcción, el motivo de atraso se debe a que la obra estaba relacionada con unos terrenos que le pertenecían a la cárcel la picota, motivo por el cual se realizaron reprocesos, también hubo atrasos por falta de gestión del contratista al no gestionar con diligencia el traslado de las redes de los servicio públicos. El trámite de realizar convenios para comprar los terrenos que le pertenecían a la cárcel la picota se tardó aproximadamente un año más. (*Revista Semana, 2022*)

e. Obra Corredor Av. Tintal - Av. Alsacia Grupo 3 - Av. Alsacia de Av. Ciudad de Cali a Transversal 71B

Fecha inicio 14/02/2019 - Fecha fin 06/03/2023

Porcentaje de ejecución: 68,9% Porcentaje programado: 81,4%

Número de contrato: IDU-1539-2018

Costo proyecto: \$138.078.336.853 KM 16.5

La obra presenta un atraso del 12,1%, las dificultades de su avance se deben a la no gestión anticipada de compra de predios y torres de energía, adicionalmente el IDU confirmó que hubo atrasos en la intervención de una red del acueducto. (Ramírez, 2021), también su incumplimiento se debe a la protección de la casa de Hacienda Villa Mejía Tagaste que es un bien Cultural y se debe gestionar el permiso para el avance de la obra. (*Contraloría Pone Lupa a Obra De Av. Alsacia-Tintal, 2021*)

4. Descripción de Técnica Scrum y Kanban y aplicación en la fase de planeación de los proyectos.

Con el objetivo de evaluar los beneficios de la aplicación de metodologías ágiles para la planificación de proyectos de infraestructura vial en Bogotá, se requiere inicialmente conocer cómo se estructuran y planifican los proyectos de infraestructura vial. Conforme a lo estipulado en la Guía de Estructuración de Proyectos de Infraestructura de Transporte del Instituto Nacional de Vías, la estructuración de los proyectos consta de 8 actividades orientadas a la mejora continua a través de la evaluación y retroalimentación que busca reducir tiempos, costos y optimizar las inversiones.

Gráfica 7. Ciclo de estructuración de proyectos de Infraestructura de Transporte

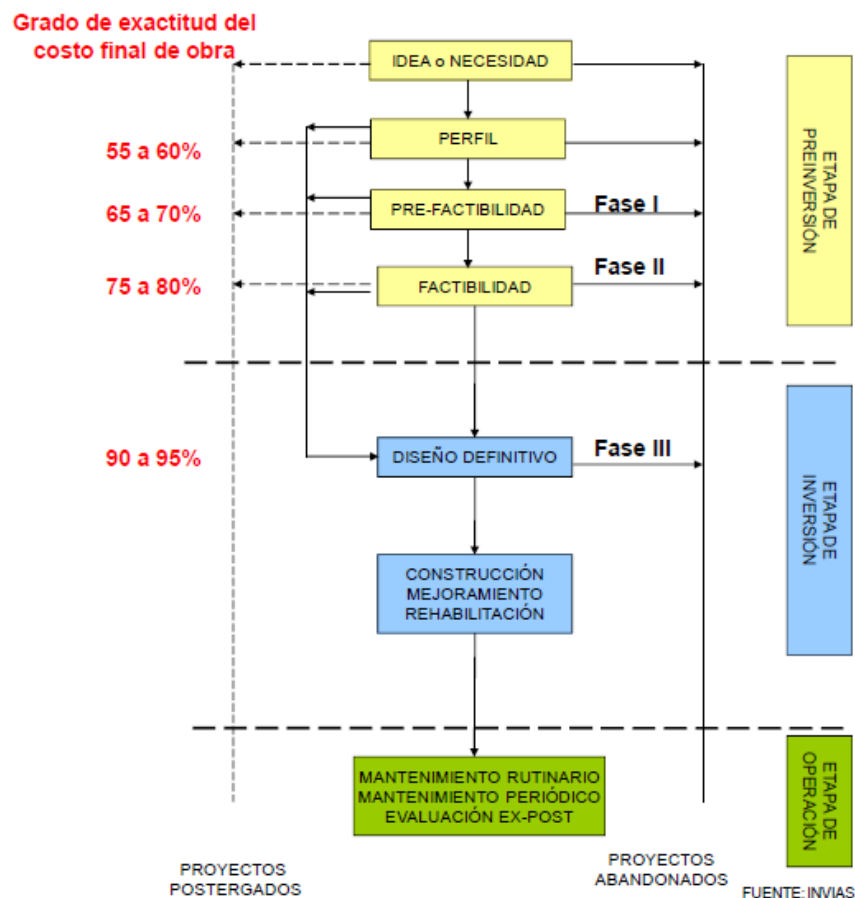


Fuente: Guía de Estructuración de Proyectos de Infraestructura de Transporte, Invias 2022

De acuerdo a las características y requerimientos de cada proyecto, se determina el estado actual y antecedentes que han dado origen a la necesidad, ubicación, si existen, estudios previos o si se cuentan con diseños, condiciones técnicas, legales, sociales, económicas, ambientales y características reales del proyecto, lo anterior con el objetivo de delimitar el alcance del mismo y el tipo de intervención a realizar (construcción, mejoramiento, rehabilitación o mantenimiento) y por ende la fase del proyecto a nivel de ingeniería al que se quiere llegar. Conforme a lo anterior se determina el ciclo de vida del proyecto o también llamado ciclo de maduración, que

corresponde al proceso de desarrollo o evolución que tiene un proyecto a través de sus etapas desde su origen, conceptualización diseño y finalmente hasta que se ejecutan y se ponen en marcha. En la siguiente figura se presenta el Ciclo de maduración ciclo de maduración de un proyecto de infraestructura de transporte.

Gráfica 8. Ciclo de maduración ciclo de maduración de un proyecto de infraestructura de transporte



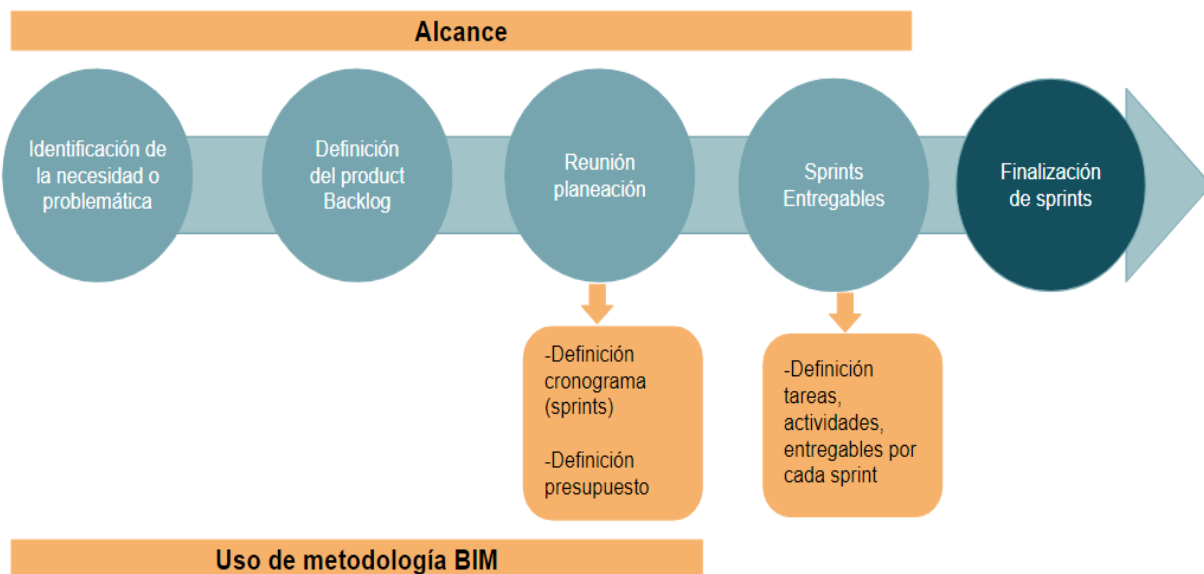
Fuente: Guía de Estructuración de Proyectos de Infraestructura de Transporte, Invias 2022

Conforme a la gráfica anterior, se identifica que los proyectos se encuentran enmarcados en un enfoque predictivo cuyas fases son secuenciales o superpuestas con una estructura en cascada, reflejando que el equilibrio de la gestión de proyectos o Triple restricción se encuentra

en la determinación de un alcance y la estimación de tiempo y costos; por lo cual hacen parte de la etapa de planificación de los proyectos, la Fase I los estudio de aspectos generales entorno socioeconómico, estudios, técnicos y económicos, con su respectiva evaluación financiera. Para llevar a cabo una fase II se requiere de productos inherentes a la formulación del proyecto como estudio de mercado, técnico operativo incluyendo aspectos de la planificación estratégica como lo es la administración y gerencia del proyecto, junto con la evaluación financiera socioeconómica enfocada a la etapa de factibilidad. Finalmente, para la Fase III se incorporan aspectos de ingeniera del proyecto, planes de ejecución y organización administrativa necesaria para su ejecución, presupuesto y costos del proyecto y demás documentos requeridos para llevar a cabo su contratación.

Teniendo en cuenta que los proyectos de infraestructura vial son desarrollados bajo prácticas de metodologías tradicionales y a partir de la documentación analizada, respecto a las variables que mayormente alteran el cronograma y presupuesto de proyectos, A continuación se propone una adaptación de técnicas de metodologías ágiles a partir de los siguientes pasos:

Gráfica 9. SCRUM



Fuente: Origen propio a partir de Qué Es SCRUM – Proyectos ÁGiles, 2022

1. Identificación de la necesidad o problema de intervenir o construir un proyecto de infraestructura vial: En este punto es donde interviene la técnica Kanban y su filosofía Lean con el objetivo de hacer las cosas de una mejor manera, es decir ahorrando tiempo y costos, para lo cual es necesario la identificación de problemas o dificultades, es decir que esta técnica permite identificar con facilidad cuando algo no está en correcta función, generando ciertas alarmas, a la vez que se mantiene un flujo continuo de entregas y se solucionan y mejoran las actividades. Como parte de la fase 3 del diseño metodológico se presentaron algunos aspectos que generan atraso o que impactan el desarrollo de los proyectos, y es aquí donde se propone la implementación de un tablero kanban diseñado teniendo en cuenta estos factores y la información recolectada en la reunión de planeación por parte de los interesados del proyecto, de esta forma dicho tablero se adaptará a las necesidades específicas de cada proyecto; sin olvidar que este tablero puede evolucionar durante las semanas consecutivas de seguimiento, es decir debe actualizarse de manera continua.

Es importante que dicho tablero contenga información prioritaria visible que garantice el flujo de trabajo sostenido, como el equipo con sus avatares y nombres, tareas a destacar es decir aquellas que generen bloqueos o retrocesos como trámites prediales, licencias ambientales entre otros, también se debe establecer el proceso o pautas a seguir basándose en una estandarización de normas y actuaciones e incorporando código de colores y/o símbolos, lo anterior con miras a que se puedan tomar decisiones o correctivos de manera temprana, creando una visión compartida de las tareas de todo el equipo.

2. Hacer uso desde el primer momento del modelo digital BIM Building information Modeling, el cual permite consolidar y centralizar la información del proyecto desde la necesidad o problemática identificada.
3. Definición del product backlog, el cual hace referencia al listado de tareas y actividades que se desean desarrollar durante el ciclo de vida del proyecto. Para esta fase también se

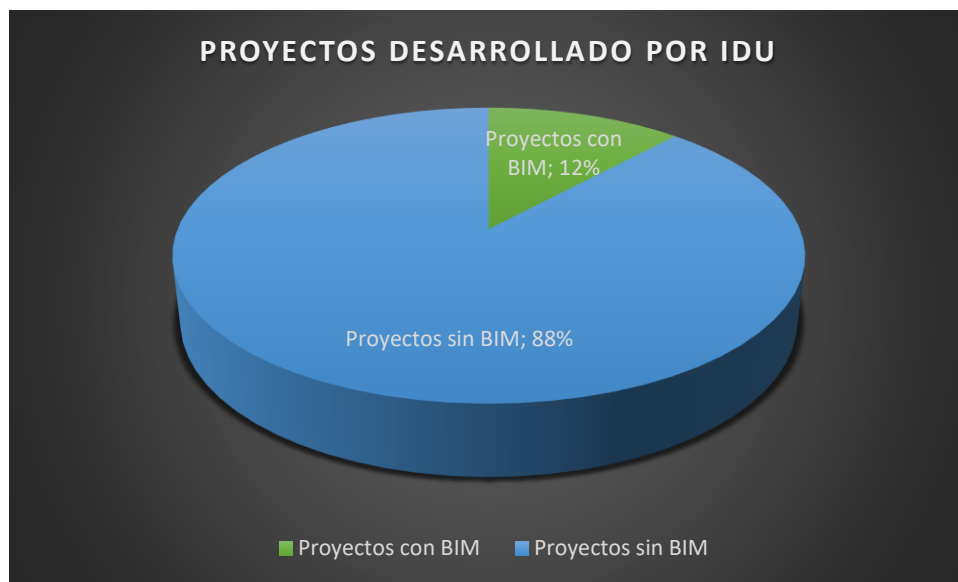
propone hacer uso del modelo digital BIM, para registrar cada una de las tareas identificadas y que así mismo sea de conocimiento de todo el equipo del proyecto.

4. **Sprint planning** o reunión de planeación, esta reunión consiste en que todos los stakeholders del proyecto, personas, grupos u organizaciones participantes o interesadas hagan parte de la lluvia de ideas, construcción y diseño de la obra vial a intervenir o construir. Para ello, la propuesta es construir los requisitos y diseño bajo el modelamiento de BIM v para mayor centralización de información. Esta aplicación digital permitirá que todos los stakeholder tengan acceso y cualquier actualización que se requiera hacer en la planeación del proyecto sea modificada y centralizada desde la herramienta, de manera que todo el equipo de proyecto sea notificado sobre las modificaciones o actualizaciones. En esta fase de planning sprint se deben establecer la cantidad de sprints a trabajar y la periodicidad de cada sprint, listar los recursos requeridos y establecer el costo de los mismos.
5. **Reunión de entregables:** Es importante que en la reunión inicial antes de empezar el primer sprint se establezcan los diferentes entregables que deben ser gestionados como: gestión ambiental, legal, licencias, contratación, permisos de uso de suelos, sostenibilidad, inicio de obra, conexiones hidráulicas, entre otros. El objetivo es que cada sprint sea trabajado bajo periodos cortos de tiempo con el fin de realizar dailys que permitan conocer el avance y así mismo seguimiento del entregable, eso permitirá que en cada entregable se realicen testeos o valoraciones por parte de los encargados de la obra para corroborar que todo está en perfecto funcionamiento. De esta manera, se optimizarán los posibles errores a tiempo y no existirán grandes reprocesos que incurran en modificación del cronograma del proyecto y aumento de costos por reprocesos en las actividades a desarrollar en el proyecto. El identificar oportunamente fallas en los entregables de cada sprint permitirá que el proyecto tenga una pronta evaluación de calidad.

5. Proyectos viales con BIM, beneficios u oportunidades en la planificación del proyecto.

A través del denominado Plan BIM IDU, esta Entidad pretende implementar un instrumento de gestión de proyectos que permita inicialmente definir estrategias, objetivos y acciones para la implementación progresiva de la metodología BIM, conforme a la estrategia Nacional BIM desarrollada por el Departamento Nacional de Planeación en Colombia, sin embargo, a la fecha la entidad implementa esta metodología solo en 19 de sus 160 proyectos.

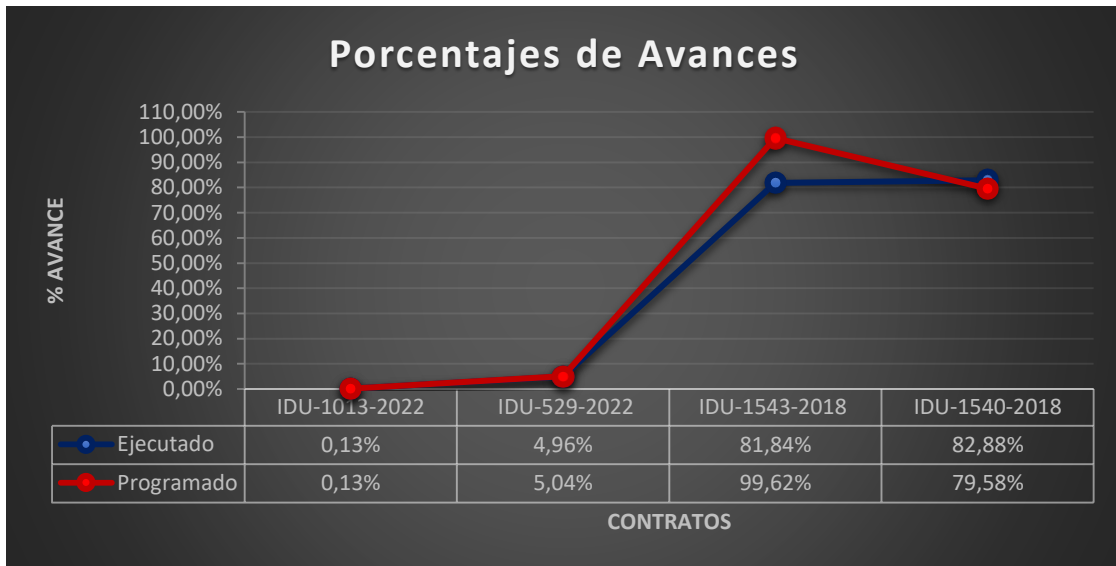
Gráfica 10. Proyectos desarrollados por el IDU



Fuente: Elaboración propia

De estos 19 proyectos que implementan metodología BIM, se procedió a evaluar el estado de aquellos que se encuentran en etapa de ejecución, evidenciando que los proyectos presentan en su mayoría atraso, pero con holguras menores respecto a los proyectos presentados en la fase 1 del análisis y discusión de resultados, como se observa en la Gráfica 11.

Gráfica 11. Porcentajes de avances proyectos BIM



Fuente: Elaboración propia

Al evaluar el comportamiento de los costos, se evidencia que en su mayoría, los contratos no presentan sobrecostos como los evidenciados en la fase 1 de la investigación, con los proyectos con metodología tradicional. Ver Gráfica 12,

Gráfica 12. Presupuesto ejecutado vs programado



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la información disponible de proyectos de infraestructura vial con metodologías BIM, es notorio que si bien actualmente el IDU y otras entidades trabajan en un entorno colaborativo que busca fomentar la transformación digital en los procesos de planeación, diseño, construcción y mantenimiento de activos de infraestructura a través de la metodología BIM, impulsando la modernización en el sector para que los proyectos de infraestructura vial y de espacio público en Bogotá se desarrollen de manera más eficiente y colaborativa; esta metodología se está abriendo campo en el país y en Bogotá. De acuerdo con la Estrategia Nacional, se prevé una implementación progresiva de 7 años para la capacitación y digitalización del sector de la construcción y operación, la cual inicio en el año 2020, hasta su implementación mandataria en 2026 para proyectos de orden nacional o cofinanciados por el gobierno nacional. Por lo anterior y teniendo en cuenta que la metodología BIM está siendo adoptada a nivel global, se analizaran algunos casos de éxito a nivel mundial y latinoamericano.

Casos de Éxito utilizando la metodología BIM

- Construcción del Puente de Pumarejo, Barranquilla (Colombia)

El Puente Pumarejo ubicado en la ciudad Barranquilla fue planeado para permitir la conexión entre los departamento de Atlántico y Magdalena, con una inversión por 650.000 millones de pesos. Esta estructura cuenta con dos calzadas de tres carriles cada una, dos carriles de ciclorruta de 1.50 metros cada uno, dos andenes peatonales de dos metros cada uno, y una altura de 45 metros; cuenta con diseño es atirantado en su tramo central y de viga y cajón en sus accesos apoyado sobre pilas de concreto. La longitud del eje principal del puente será de 2.170 km y los viaductos en conexiones y accesos tendrán una extensión adicional de 0.803 km; por lo cual es una obra que impactará a nivel socio-económico el país (MAB, 2022).

La implementación de BIM en este proyecto, inaugurado en diciembre de 2019, consistió en la simulación digital de las labores de construcción para comparar diferentes opciones de diseño, procesos constructivos, materiales, distribución de espacios, entre otros, con miras a disminuir la incertidumbre frente a decisiones importantes que se deben tomar en la ejecución de los proyectos de una manera más eficiente y en tiempo real.

- Metro de Bogotá

Para lograr la integración de datos de obras civiles, redes, estructuras y topografía de este proyecto, y su visualización en tiempo real, así como realizar cortes y modificaciones de forma dinámica, se implementó el modelo digital BIM; y es que la falta de coordinación y la cooperación entre entidades, por ejemplo las curadurías a la hora de solicitar licencias de construcción, o con empresas de servicios públicos para obtener información sobre las redes, entre otros, ha sido un factor importante en la ineficiencia del desarrollo de proyectos y por ende la frecuencia de los sobrecostos; por lo cual, esta metodología al ser más colaborativos permite optimizar la asignación de los riesgos y enfrentar las complejidades, uniendo de esta manera la ingeniería y la tecnología para ofrecer soluciones inteligentes (Metro de Bogotá, 2018).

Para el diseño del metro de Bogotá con esta metodología se ha garantizado un modelo libre de interferencias que repercutan a gran escala en el tiempo o costo del proyecto, se ha logrado tener una nomenclatura estandarizada para diversos elementos para integrarlos en el entorno urbano, a su vez ha permitido realizar ajuste de manera dinámica conforme a las otras obras civiles desarrolladas en el área de influencia del proyecto.

- Canal de Panamá

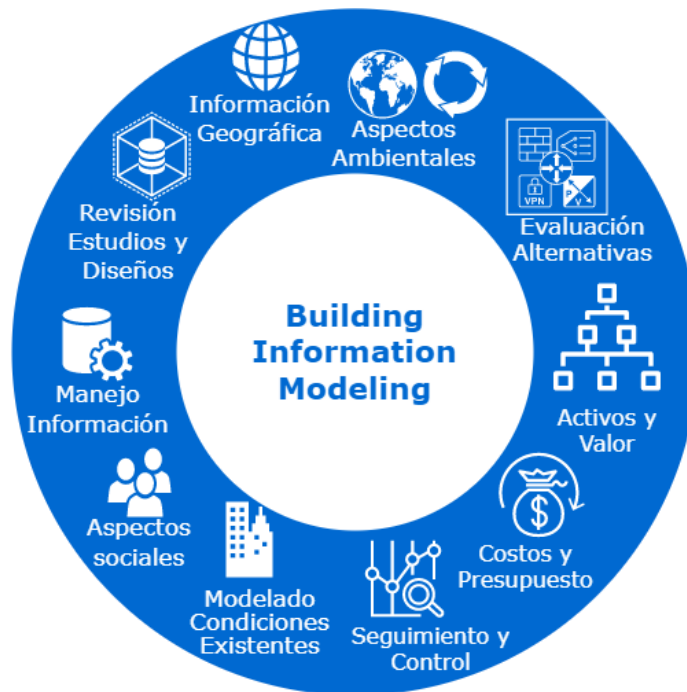
Esta obra inaugurada en el 2016, constituye uno de los retos más grandes de los últimos tiempos, al ser una de las rutas marítimas más utilizadas en América y debido a los volúmenes de obra y las piscinas de ahorro de agua, entre otras particularidades del proyecto. A través de la metodología BIM fue posible llevar a cabo el diseño del sistema hidráulico de llenado y vaciado, el sistema de compuertas y el sistema de control, requiriendo el diseño de múltiples detalles para la fabricación, instalación y puesta en marcha de los elementos de estos sistemas, como las esclusas y el sistema de compuertas de tipo deslizante que varían sus dimensiones, así como su peso, en función de las condiciones de contorno que determinan su flotabilidad. Adicionalmente este proyecto contemplaba un conjunto de edificaciones y obras secundarias. (Sacyr, 2022)

Este proyecto utilizó tecnología BIM durante todas las etapas, desde la concepción inicial hasta la etapa constructiva y de entrega, toda vez que se requería verificar e integrar la inmensa cantidad de diseños involucrados. A través del modelamiento 3D y del trabajo colaborativo, se identificaban los componentes a utilizar, quién los fabrica y demás información necesaria para mantener y operar en todo momento los sistemas, aun cuando las actividades fueron ejecutadas en varios frentes de obra simultáneos y las excavaciones iniciaron antes de que los diseños se completaran, BIM permitió mapear los sitios y detectar conflictos importantes de manera anticipada, lo que significó un ahorro de miles de horas de trabajo repetido y millones de dólares.

Beneficios BIM

En la actualidad existen diversos usos de BIM, sin embargo para este caso de estudio nos enfocaremos en aquellos que impactan los proyectos de infraestructura vial en cuanto a la optimización de los costos y tiempos de los proyectos, resaltando aspectos como los presentados en la siguiente gráfica:

Gráfica 13. Beneficios de la implementación BIM



Fuente: Elaboración Propia

Uno de los beneficios aportados por esta metodología compete al manejo de la información, toda vez que el ahorro a largo plazo al documentar la información bajo este modelo es muy superior respecto a la metodología tradicionalmente utilizada, se logra integrar toda la información de las etapas de diseño y construcción para beneficiar el desarrollo del ciclo de vida del proyecto durante su ejecución. Al ser una metodología de trabajo colaborativa permite que el acceso a la información se realice y visualice de forma tridimensional, impactando de manera positiva en la consulta y corrección de forma temprana de tareas, previo a su ejecución, adicionalmente el acceso a datos se realiza de manera remota y a través de múltiples plataformas.

Al utilizar la tecnología BIM, los fabricantes generan modelos simplificados llamados “objetos BIM”, que contienen información esencial sobre el producto, como datos relacionados con su mantenimiento, rendimiento o categoría. Al proporcionar esta serie de metadatos, los fabricantes tienen más posibilidades de que sus productos se incluyan en un proyecto de construcción y, en definitiva, de generar más oportunidades de negocio. Esto representa un ahorro de tiempo en búsqueda de la información en un 60% ya que toda la información se encuentra dentro de un modelo coordinado (BIMPSAS 2020).

BIM permite crear objetos digitales, por lo cual los productos o materiales de construcción pueden ser incorporados en los modelos de construcción inteligentes evaluando de manera anticipada su comportamiento o eficacia conforme a las condiciones o necesidades de cada proyecto; a su vez al contar con datos y características materiales, estructurales y geométricas de la infraestructura, se puede proyectar información sobre todo el proceso de ejecución de la obra y modelar objetos con planes de mantenimiento que impacten, positivamente, en la vida útil de un proyecto de construcción.

Otro de los beneficios es que el trabajo no es solo colaborativo sino también interdisciplinario, se puede garantizar el acompañamiento por parte de los diseñadores en cada etapa del proyecto facilitando la actualización de los diseños en cada comité de coordinación y optimizando los procesos de diseño, presupuesto y control en obra.

El tiempo de cantidades de obra se reduce aproximadamente en un 85% (BIMPSAS 2020), ya que esta metodología permite usar protocolo, estándares y plantillas que permiten migrar fácilmente la información como costos y cantidades así como programar su cálculo, aumentando la productividad del proyecto, disminuyendo los tiempos de cálculo de cantidades y contribuyendo al control preciso de cantidades, costos y presupuesto a medida que se avanza en la etapa de diseño y durante la construcción.

A través de la metodología ágil y herramientas como BIM es posible realizar análisis preliminares de alternativas de solución, así como migrar información geográficas fácilmente ya que permite la vinculación de imágenes satelitales y de nubes de puntos, y a partir de la gestión de la información secundaria es posible obtener curvas de nivel de la zona del proyecto, identificar corredores principales, cuerpos hídricas, zonas críticas y de obstáculos, entre otros elementos, a partir de los cuales es posible realizar análisis geológicos, trazados preliminares e incluso determinar cantidades preliminares, reduciendo errores, ahorrando tiempos de actividades y por ende disminuyendo la desviación de presupuesto y aumentando la rentabilidades del proyecto.

Conclusiones

Los proyectos de infraestructura vial en Bogotá en su mayoría presentan atrasos en tiempo y sobre costos de acuerdo a lo planificado, por la no gestión oportuna de tramitar las autorizaciones y permisos ambientales, por no generar con anticipación las intervenciones requeridas para la obra en temas de traslados de redes o tuberías por las empresas de servicios públicos, por no estimar correctamente los recursos requeridos para la ejecución de la obra o por no contar con un plan de movilidad ante la Secretaría de Movilidad. Estas obras en su mayoría son ejecutadas bajo una metodología tradicional de gestión de proyectos, la cual ha permitido concluir mediante la investigación realizada que los proyectos no cumplen su porcentaje de ejecución de acuerdo con el porcentaje esperado con el cronograma inicial y por ende incurren también en sobrecostos, lo cual permite determinar que un cambio de metodología bajo técnicas o herramientas ágiles puede generar beneficios y mejoras en la planeación de los proyectos de infraestructura vial.

Existen técnicas de metodologías ágiles en la gestión de proyectos como lo son SCRUM, KANBAN y BIM (Building Information Modelling) permiten una mejora en eficiencia del 70% y una reducción de los conflictos presentados durante la obra en un 79% (Sánchez, 2022), un ahorro de tiempo en búsqueda de la información en un 60% ya que toda la información se encuentra dentro de un modelo coordinado.

El contar con una herramienta y técnica ágil para los proyectos de infraestructura vial es aplicable, teniendo como referencia proyectos de infraestructura que ya han adoptado estas técnicas logrando una mejora en tiempos y presupuesto; adicionalmente, estas técnicas permiten un mayor control y seguimiento para que las diferentes entidades públicas y del estado aprueben de forma oportuna los permisos ambientales, de movilidad, trámites legales e intervención de redes de servicios públicos. Se garantiza que todos los stakeholders conozcan las actividades pendientes y actividades próximas, ya que permite una actualización en tiempo real y de forma centralizada sobre el estado de la obra vial; no solo genera beneficios para la planeación y desarrollo de la obra, sino que beneficia también a la sociedad a través del cumplimiento

oportuno de intervención de un espacio público, mejorando la movilidad, el traslado entre vías y aporta en la generación de empleo.

Referencias

- Agencia Nacional de infraestructura. (2022). Autorización para el uso, la ocupación y la intervención temporal de la infraestructura vial carretera concesionada y férrea. ANI. <https://www.ani.gov.co/autorizacion-para-el-uso-la-ocupacion-y-la-intervencion-temporal-de-la-infraestructura-vial>
- Álvarez Vanegas, R. L., & López Moreno, B. A. (2022). Estado del arte del Building Information Modeling “BIM” en la construcción y los beneficios de su aplicación en los proyectos de infraestructura vial en Colombia.
- Álvarez-Parajales, E. A. (2011). Herramienta para la estimación de costos en la construcción de viviendas para la empresa Fomento Urbano SA.
- Arboleda, G., (2013). Proyectos. Identificación, formulación, evaluación y gerencia. (2da. Edición). Ed. Alfaomega.
- Atraso en obras: Tramo de la avenida Guayacanes tiene pocos obreros - Bogotá. (2022, September 1). ELTIEMPO.COM. <https://www.eltiempo.com/bogota/atraso-en-obras-tramo-de-la-avenida-guayacanes-tiene-pocos-obreros-698996>
- Autodesk. Diseño Y Construcción Con BIM. <https://www.autodesk.mx/solutions/bim>
- Barceló, M. (2013). Gestión de proyectos complejos. SIBEAN.
- BIM Forum Colombia, (2020). Documentos técnicos, Infraestructura Vial 1. Cámara Colombiana de Construcción CAMACOL.
- BIMP Soluciones BIM para Todos (2020). <https://www.bimpsas.com/bimp-empresa/>
- Chalhoub Paredes, J. E. (2011). Marco referencial y metodología para incorporar el análisis de riesgos a un proyecto de infraestructura (aplicación de parámetros de infraestructura vial) (Bachelor's thesis, PUCE-Quito).

- Contraloría pone lupa a obra de Av. Alsacia-Tintal. (2021, July 26). El Nuevo Siglo.
<https://www.elnuevosiglo.com.co/articulos/07-26-2021-contraloria-pone-lupa-obra-de-av-alsacia-tintal>
- Contraloría General de la República. (2022). Home - Registro de obras inconclusas. Contraloría.
<https://www.contraloria.gov.co/web/registro-de-obras-inconclusas>
- Cooper, B., Vlascovits, P. (2014). *El Emprendedor Lean: Cómo los visionarios crean nuevos productos, desarrollan proyectos innovadores y transforman los mercados*. UNIR editorial.
- Cortes, L. M. & Daza, A. F. (2019). Análisis de las prácticas ágiles en la gerencia de proyectos de construcción de pisos en baldosa terrazo en la empresa Alfagres S.A. [Tesis de especialización, Universidad EAN]. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/9654>
- Dallos, L. P., et al. (2019). Análisis comparativo entre metodologías ágiles y tradicionales para la gerencia de proyectos [Tesis de especialización, Universidad EAN]. Repository Universidad EAN. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/9559>.
- De las Heras, R., Alvarez, A., Lasa, C., (2018). *Métodos Ágiles. Scrum, Kanban, Lean.*, Anaya Multimedia, 2018.
- Departamento nacional de planeación. (2021). Estructuración de Proyectos de Infraestructura. Estructuración de Proyectos de Infraestructura - Etapa de Preinversión.
<https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Desarrollo%20Territorial/Portal%20Territorial/EstructuracionProyectos/4.-Matriz-Estructuracin---Lectura-Horizontal---Ficha-por-Variable.pdf>
- Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual. (2020). Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org/es>
- Díaz Linarez, J. A. (2020). Gestión de proyectos utilizando las herramientas BIM en la fase de diseño de proyectos de infraestructura vial.

- Díaz Ricardo, M. A., & Cogollo Díaz, C. A. (2021). Desarrollo de una guía para la implementación de la metodología BIM aplicada a las condiciones de proyectos de infraestructura vial en el territorio Colombiano. Trabajo De Investigación. Universidad Santo Tomas.
- Díaz, H. P., Rivera, O. G. S., & Guerra, J. A. G. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 11(1), 32-53.
- DNP. (2020). Guía de Desarrollo de Proyectos de Infraestructura. Departamento Nacional de Planeación: Inicio. <https://www.dnp.gov.co/>
- González, D., Zarbo, P., (2021). Agilidad Organizacional: Cómo transformar organizaciones con propósito e impacto. Ed. Dunken.
- Gonzalez, J., (2015) Proyectos de infraestructura vial en Colombia: aplicabilidad de los sistemas de certificación sostenible. Tesis (Magíster en Ingeniería Civil). Universidad de los Andes. Uniandes 2015.
- Grupo de Trabajo BIM de Colombia. Estrategia Nacional BIM 2020 – 2026. <https://bim.presidencia.gov.co/>
- Guerrero, R., (2008). Desarrollo de una metodología para el diseño integral de obras de infraestructura vial enfocada en las etapas iniciales de proyecto.
- Gutiérrez Vélez, C. (2015). Metodología de gestión de riesgos con Herramientas BIM integradas a los principios LEAN para la administración de proyectos en la construcción y vida útil de la edificación (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Hurtado, J. G. O. (2015). La gerencia BIM como sistema de gestión para proyectos de construcción. *Gerencia tecnológica informática*, 14(38), 2.
- IDU Visor de proyectos*. (2022, 11 03). Instituto de desarrollo Urbano. https://webidu.idu.gov.co/visor_proyectos/

Invertir en infraestructura sostenible. (2021). Repositorio CEPAL.

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/47573/1/S2100705_es.pdf

James, A. (2007, septiembre). Un enfoque disciplinado para adoptar prácticas ágiles.

Innovaciones en ingeniería de sistemas, 3(3), 216. Scopus.

<https://chrome.google.com/webstore/detail/scopus-document-download/ojplelelocihfchkdaebocpankipadmp>

Licencia de intervención del espacio público | Bogota.gov.co. (2022, July 25). Alcaldía de

Bogotá. <https://bogota.gov.co/servicios/guia-de-tramites-y-servicios/licencia-de-intervencion-del-espacio-publico>

Limas Mendigaño, D. F. (2020). Metodología BIM aplicada a la fase de prefactibilidad de un proyecto vial de tercer orden en Colombia.

López, M., & Gómez, X. (2019). Presupuestos. Grupo Editorial Patria.

Malaver, C. (2022, August 29). Alcaldesa critica atrasos en obras de las avenidas 68 y Ciudad de

Cali. ELTIEMPO.COM. <https://www.eltiempo.com/bogota/claudia-lopez-critica-atrasos-en-obras-de-las-avenidas-68-y-ciudad-de-cali-698430>

MAB Ingeniería de Valor (2022). <https://mab.com.co/puente-pumarejo-un-megaproyecto-que-conto-con-interventoria-de-calidad-2/>

Manzi, H. (2014). Heidegger y los relojes. Fenomenología genética de la medición del tiempo.

(Vol. 26). Academic Search Complete.

Maximini, D. (2015). The Scrum Culture: Introducing Agile Methods in Organizations. Springer.

Metro de Bogotá, (2018). Metro de Bogotá presentó los diseños bajo la tecnología BIM

(Building information modeling). <https://www.metrodebogota.gov.co/?q=noticias/metro-bogot%C3%A1-present%C3%B3-los-dise%C3%B1os-bajo-la-tecnolog%C3%ADa-bim-building-information-modeling>

- Miranda, J. J. M. (2005). *Gestión de proyectos*. MMEditores.
- Moreno, R. (2021). Estado del conocimiento de la aplicabilidad de la Metodología BIM en proyectos de infraestructura vial en Colombia. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/10654/40445>
- Mussons, S. (2020). *Organizaciones ágiles: Responde a las necesidades de tus clientes con equipos implicados y autogestionados.*, Libros de Cabecera, 2020
- Project Management Institute (Ed.). (2017). *Guía de los fundamentos para la Dirección de proyectos (Sexta edición ed.)*. Project Management Institute.
- Puentes, A. M. (2022, September 6). Obras en Bogotá: Director del IDU explica por qué obras demoran tanto - Bogotá. ELTIEMPO.COM. <https://www.eltiempo.com/bogota/obras-en-bogota-director-del-idu-explica-por-que-obras-demoran-tanto-700113>
- Qué es SCRUM – *Proyectos Ágiles*. (2022). *Proyectos Ágiles*. <https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/que-hacemos-1> | *Portal Web IDU*. (2022). IDU.
<https://www.idu.gov.co/page/que-hacemos-1>
- Quintero-Guarín, M. L., & Sánchez-Peña, L. (2020). Propuesta de una metodología para la construcción de vías urbanas mayores a cien (100) metros basadas en las mejores prácticas de scrum en el municipio de Funza–Cundinamarca.
- Ramírez, L. (2021, July 27). Avenida Villa Alsacia - Tintal no avanza, según la Contraloría de Bogotá. *Conexión Capital*. <https://conexioncapital.co/avenida-villa-alsacia-tintal-no-avanza-segun-la-contraloria-de-bogota/>
- Radigan, D. (2021). *Kanban: una breve introducción*. Atlassian.
<https://www.atlassian.com/es/agile/kanban>
- Registro de obras inconclusas. (2021). Contraloría. <https://www.contraloria.gov.co/web/registro-de-obras-inconclusas>

Revista semana. (2022, February 7). Después de dos años, se destrabó la extensión de la troncal de la Caracas hasta Usme. <https://www.semana.com/nacion/articulo/despues-de-dos-anos-se-destrabo-la-extension-de-la-troncal-de-la-caracas-hasta-usme/202221/>

Revista Semana. (2022, September 12). Tras jalón de orejas a Enel, el Distrito puso en funcionamiento nuevo tramo de la avenida Guayacanes. <https://www.semana.com/nacion/articulo/tras-jalon-de-orejas-a-enel-el-distrito-puso-en-funcionamiento-nuevo-tramo-de-la-avenida-guayacanes/202212/>

Rodríguez G., Gil J. y García E. (1996). *Metodología de la investigación cualitativa*. Málaga: Aljibe.

Rodríguez, M. Y., et al. (2019). *Propuesta para la incorporación de metodologías ágiles en gerencia de proyectos estratégicos*. Caso de estudio: Cámara de Comercio de Bogotá (CCB) [Tesis de maestría, Universidad EAN]. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10882/9666>.

SACYR S.A, (2022). Ampliación del Canal de Panamá: La mayor obra de ingeniería del siglo XXI. <https://www.sacyr.com/-/ampliacion-del-canal-de-panama-la-mayor-obra-de-ingenieria-del-siglo-xxi>

Salazar, B. (2019). PERT - Técnica de evaluación y revisión de proyectos » Ingeniería. Ingeniería Industrial Online. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/pert-tecnica-de-evaluacion-y-revision-de-proyectos/>

Sánchez, G. R. (2022, October 27). *El Instituto de Desarrollo Urbano tendrá 25 proyectos con BIM en 2023 ¡Entérate!* Alcaldía de Bogotá.

Sánchez, H., Santos, A. G., & Severino, M. J. S. (2014). Aplicación de las metodologías ágiles en la gestión BIM de proyectos de construcción en entornos inestables. *Spanish Journal of Building Information Modeling*, (14), 30-38.

- Sarmiento, J., Correa, C., Jiménez, D. (2020). Gestión de proyectos aplicada al PMBOK 6ED (Volumen 155). Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2013). La guía de SCRUM. La guía definitiva de SCRUM: Las reglas del juego. Obtenido de <https://www.Scrumguides.org/docs/Scrumguide/v1/Scrumguide-es.pdf>
- Scrum Manager. (2015). Scrum Manager. <https://www.scrummanager.com/website/>
- Sector de infraestructura aportó 10,7% en el crecimiento del PIB 2019. (2020, February Ministerio de transporte. <https://www.mintransporte.gov.co/publicaciones/8127/sector-de-infraestructura-aporto-107-en-el-crecimiento-del-pib-2019/>
- Serrano, I. (2022, July 8). Las obras inconclusas de Bogotá. Cambio Colombia. <https://cambiocolombia.com/articulo/pais/las-obras-inconclusas-de-bogota>
- Sutherland, J., (2016). Scrum: El arte de hacer el doble de trabajo en la mitad de tiempo. Océano, 2016.
- U.S. Department of Energy. 2011. COST ESTIMATING GUIDE. Estados Unidos. 177 p. Recuperado el 2 de Noviembre de la página web AACE International: <http://www.aacei.org>
- USUGA MORENO, E. A. (2013). Lineamientos Para La Planificación De Proyectos De Infraestructura Física En Entidades Públicas. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co>
- Villaroel, R., Figueroa, I., & Cornide, H. (2020, octubre 16). Enfoque de aplicación ágil con Scrum, Lean y Kanban. Revista Chilena de Ingeniería., 29. Academic Search Complete.
- Zamora, N., & Barrera, O. (2012). Diagnóstico de la infraestructura vial en Colombia. Repository Universidad EAN.