



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**ANÁLISIS DE PROCESOS INTERNOS PARA EL MONITOREO Y
CONTROL DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DE
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN LA CIUDAD DE CALI**

HERNÁN DAVID GALVIS MENESES

LINA MARCELA PÉREZ HINESTROZA

DIRIGIDO POR:

MSC. GRACE MILAGROS ROJAS GERALDINO

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA CALI

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

SANTIAGO DE CALI

18 DE NOVIEMBRE DE 2025

CONTENIDO

1.	<i>PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN</i>	1
1.1	<i>Introducción</i>	1
1.2	<i>Definición del Problema de Investigación</i>	2
1.3	<i>Objetivos del Proyecto</i>	4
1.4	<i>Justificación del Trabajo de Grado</i>	5
2.	<i>MARCO TEÓRICO</i>	7
2.1	<i>Evolución y Enfoques Históricos de la Gestión de Proyectos</i>	7
2.2	<i>Gestión de Proyectos en Colombia: Contexto Regional y Local</i>	10
2.3	<i>Proyectos de Infraestructura Pública: Complejidad y Desafíos</i>	13
3.	<i>METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN</i>	16
3.1	<i>Diagnóstico de Proyectos de Reposición de Redes</i>	16
3.2	<i>Revisión sistemática de literatura de metodologías y herramientas en la gestión de proyectos</i>	42
4.	<i>DISEÑO DE LA GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MONITOREO Y CONTROL INTEGRAL DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN EMCALI EICE ESP</i>	78
4.1	<i>Introducción</i>	78
4.2	<i>Principios Orientados a la Guía Metodología</i>	79
4.3	<i>Transición Hacia el Modelo Metodológico Integrado</i>	80
4.4	<i>Estructura del Modelo Híbrido de Gestión</i>	83
4.5	<i>Flujograma del Modelo Híbrido de Monitoreo y Control Para Proyectos de Reposición de Redes en EMCALI</i>	83
5.	<i>CONCLUSIONES</i>	95

6. RECOMENDACIONES.....	97
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	101

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Cronología de Hitos en la Gestión de Proyectos</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 2 Metodologías Utilizadas en Colombia por Sector</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 3 Ejemplo Fuentes de Financiación en Proyectos de Infraestructura</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 4 Metodologías Aplicadas a Nivel Mundial en Casos de Estudio de Proyectos de Infraestructura</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 5 Seguimiento de Ejecución de los Componentes del Proyecto – II Trimestre 2025 – AC0014</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 6 Seguimiento de Ejecución de los Componentes AL0017.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 7 Características Técnica Focus Group vs. Método Delphi</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 8 Criterios para la selección del método Delphi Frente al Focus Group.....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 9 Comparativo de los Avances Regionales en países Latinoamericanos.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 10 Principales metodologías de gestión de proyectos, su aplicación en EMCALI y los resultados que producen</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 11 Herramientas y Técnicas de Monitoreo y Control y su Principal aplicación a la Gestión de Proyectos en EMCALI</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 12 Indicadores Clave de Desempeño Utilizados en el Monitoreo y Control de Proyectos</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 13 Integración de Herramientas Digitales Para la Trazabilidad y el Monitoreo de Proyectos.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 14 Niveles de Información Utilizados en la Triangulación Metodológica</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 15 Modalidades de Triangulación Aplicadas en la Investigación</i>	<i>68</i>

<i>Tabla 16 Convergencias Entre Enfoques Teóricos y la Evidencia en EMCALI para la Construcción del Modelo Híbrido</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 17 Resultados de la Triangulación: Núcleos Problemáticos y Evidencias Asociadas.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 18 Matriz de Triangulación: Síntesis Integradora de Evidencias y su Implicación Metodológica</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 19 Ponderación Conceptual de las Fases del Modelo Híbrido de Monitoreo y Control...</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 20 Enfoques Metodológicos Integrados y su Aplicación en la Guía Metodológica</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 21 Guía Operativa del Modelo Híbrido: Procesos, Responsabilidades y Productos de Control.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 22 Formato Oficial RMIC</i>	<i>93</i>

ÍNDICE DE GRAFICOS

<i>Gráfico 1 Avance de Ficha AC0014</i>	<i>20</i>
<i>Gráfico 2 Distribución Porcentual de Contratos Según su Estado AC0014.....</i>	<i>21</i>
<i>Gráfico 3 Avance de Ficha AL0017.....</i>	<i>21</i>
<i>Gráfico 4 Distribución Porcentual de Contratos Según su Estado AL0017</i>	<i>22</i>
<i>Gráfico 5 Panorama Presupuestal Anual - Proyecto AC0014-1073.....</i>	<i>23</i>
<i>Gráfico 6 Temporalidad Proyecto AC0014-1073.....</i>	<i>25</i>
<i>Gráfico 7 Panorama Presupuestal Anual - Proyecto AL0017-2095.....</i>	<i>26</i>
<i>Gráfico 8 Temporalidad Proyecto AL0017-1073</i>	<i>29</i>
<i>Gráfico 9 Calificación del Impacto de Factores Críticos Según la Metodología Delphi</i>	<i>33</i>
<i>Gráfico 10 Calificación de la Viabilidad de Actividades Operativas Según la Metodología Delphi.....</i>	<i>34</i>
<i>Gráfico 11 Herramientas Usadas en el Monitoreo de Proyectos.....</i>	<i>38</i>

<i>Gráfico 12 Flujograma del Modelo Híbrido de Monitoreo y Control Para Proyectos de Reposición de Redes en EMCALI.</i>	84
<i>Gráfico 13 Estructura General Guía Metodológica.</i>	89

LISTA DE ABREVIATURAS

AC0014 – Código del proyecto de reposición de redes de acueducto analizado en el estudio de caso de EMCALI.

AL0017 – Código del proyecto de reposición de redes de alcantarillado analizado en el estudio de caso de EMCALI.

CPM – Critical Path Method. Método de la ruta crítica utilizado para definir la secuencia de actividades que determina la duración total del proyecto.

EVM – Earned Value Management. Metodología para medir el desempeño del proyecto a partir de la integración del alcance, el cronograma y los costos.

ERP-SAP – Enterprise Resource Planning – Systems Applications and Products. Sistema integrado utilizado en EMCALI para gestionar información financiera, presupuestal y contractual.

F4 – Formato interno de EMCALI para el registro del avance físico y operativo de los proyectos.

GIPI – Gestión Integral de Proyectos e Infraestructura. Grupo responsable del seguimiento técnico y administrativo de los proyectos en EMCALI.

KPIs – Key Performance Indicators. Indicadores clave de desempeño utilizados para evaluar avances y resultados del proyecto.

PBMOK® – Project Management Body of Knowledge. Guía de buenas prácticas en gestión de proyectos desarrollada por el Project Management Institute.

PM4R – Project Management for Results. Metodología del Banco Interamericano de Desarrollo orientada a la gestión pública basada en resultados.

PMI – Project Management Institute. Organización internacional dedicada al desarrollo de estándares y certificaciones en gestión de proyectos.

PEP - Es un código que nos ayuda a identificar a qué centro de costos, a qué proyecto presupuestal y a que área funcional vamos a cargar un gasto o un ingreso dentro de la estructura

PERT – Program Evaluation and Review Technique. Técnica probabilística para estimar la duración de actividades y analizar escenarios en la planificación de proyectos.

Power BI – Plataforma de Microsoft para la creación de reportes y tableros de control con integración de datos.

PRINCE2 – Projects IN Controlled Environments. Metodología estructurada de gestión de proyectos basada en procesos y orientada al control por fases.

PS – Contratista por prestación de servicio

SAP PS – SAP Project System. Módulo del sistema SAP utilizado para la gestión de cronogramas, costos y recursos de proyectos.

UGPI – Unidad de Gestión de Proyectos e Infraestructura. Dependencia de EMCALI encargada de coordinar el ciclo de vida de los proyectos de inversión.

UENAA – Unidad Estratégica de Negocio de Acueducto y Alcantarillado. Área operativa y estratégica de EMCALI responsable del servicio de agua potable y saneamiento.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

La infraestructura de acueducto y alcantarillado constituye un pilar fundamental para garantizar el acceso a servicios básicos en entornos urbanos y rurales. Sin embargo, la ejecución de proyectos en este sector enfrenta múltiples desafíos, entre los que destacan retrasos significativos, sobrecostos y deficiencias en la gestión de recursos. A nivel global, diversas metodologías han sido desarrolladas e implementadas con el propósito de optimizar la planificación y el monitoreo de proyectos de construcción. En este contexto, metodologías como Lean Construction, Ágiles, Scrum, Kanban, entre otras y herramientas de control como valor ganado (Earned Value Management - EVM), curva S y los tableros de control han demostrado ser estrategias efectivas para mejorar el seguimiento del avance físico y financiero de las obras. (Leyton, & Mejia, 2021).

En Colombia, el sector de la construcción presenta un promedio de atraso en la ejecución de obras del 30%, mientras que en la empresa EMCALI, encargada de la infraestructura de servicios públicos en la ciudad de Cali, se ha identificado una eficiencia en la ejecución de proyectos inferior al 60%. A pesar de la implementación de oficinas de gestión de proyectos (PMO) para el seguimiento y control de estos procesos, persisten dificultades asociadas a la falta de integración de herramientas tecnológicas que permitan una gestión más eficiente y transparente (Infobae. 2025, enero 30).

Desde el ámbito académico, diversos estudios han abordado estrategias para mejorar la gestión de proyectos en infraestructura. Investigaciones como la de Hajali-Mohamad et al. (2016), estudios realizados en el Reino Unido destacan que la falta de control efectivo sobre el tiempo y los costos sigue siendo un problema recurrente en la industria de la construcción, a pesar de la

existencia de regulaciones más estrictas y herramientas avanzadas de planificación (Torres Mayorga, 2021).

En este contexto, el presente estudio tiene como objetivo principal desarrollar una guía metodológica para el monitoreo y control de proyectos de infraestructura de acueducto y alcantarillado, con un enfoque aplicado a la reposición de redes en la ciudad de Cali. Esta investigación se fundamenta en un análisis del estado del arte sobre técnicas avanzadas de gestión de proyectos, incluyendo modelos híbridos que han demostrado mejorar la precisión en la planificación y ejecución

El desarrollo del estudio se estructurará en torno a un análisis detallado del caso de Cali, mediante el uso de datos reales relacionados con presupuesto, avances y ejecución del proyecto. A través de esta investigación, se busca diseñar un modelo de control basado en indicadores clave que contribuya a optimizar la eficiencia en la ejecución de los proyectos, minimizar desviaciones en tiempo y costo, y fortalecer la transparencia en la gestión de recursos públicos

1.2 Definición del Problema de Investigación

A continuación, se presenta la definición del problema de investigación, seguido por la pregunta de investigación.

Planteamiento del Problema

La ejecución de proyectos de infraestructura de acueducto y alcantarillado en Colombia enfrenta retrasos significativos, sobrecostos y problemas en la gestión de recursos. En la ciudad de Cali, los proyectos de reposición de redes de acueducto y alcantarillado no son ajenos a esta realidad, presentando dificultades en el control del avance físico-financiero, la gestión de recursos y la toma de decisiones estratégicas. Estas deficiencias pueden estar relacionadas con el uso de

herramientas tradicionales de seguimiento que no permiten un control integral del desempeño del proyecto. (Gómez, C. A., & Hoyos, Á. M. (2021)

Estudios a nivel nacional evidencian que el sector de la construcción presenta un 30% de retraso promedio en la ejecución de obras, mientras que en la empresa EMCALI, la eficiencia en ejecución es inferior al 60%. Si bien se han implementado oficinas de gestión de proyectos (PMO) para mejorar el control y seguimiento, persiste la dificultad de integrar metodologías que permitan una evaluación más precisa del estado del proyecto y su desempeño real frente a lo planificado. (Transparencia por Colombia. 2014).

Metodologías como Lean Construction, Ágiles, Scrum, Kanban, entre otras y herramientas de control como valor ganado (Earned Value Management - EVM), curva S y los tableros de control han demostrado ser estrategias efectivas para mejorar el seguimiento del avance físico y financiero de proyectos de infraestructura en diversas partes del mundo. Sin embargo, su implementación en proyectos de infraestructura pública en Cali ha sido limitada, lo que dificulta la identificación temprana de desviaciones en tiempo, costo y alcance.

Ante esta problemática, surge la necesidad de diseñar una guía metodológica que facilite el uso de estas herramientas en proyectos de acueducto y alcantarillado. Esta guía es una posible solución para mejorar la gestión y control del desempeño de los proyectos, permitiendo una ejecución más eficiente, minimizando riesgos y fortaleciendo la transparencia en la gestión de recursos públicos.

Pregunta de investigación

De acuerdo con lo anterior, en este proyecto se le pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo puede una guía metodológica estructurada mejorar el control físico-financiero y fortalecer la toma de decisiones en los proyectos de infraestructura pública ejecutados por la empresa EMCALI en la ciudad de Cali?

1.3 Objetivos del Proyecto

Objetivo General

Diseñar una guía para el monitoreo y control de un proyecto de infraestructura de acueducto y alcantarillado, utilizando como caso de estudio la reposición de redes en la ciudad de Cali, buscando mejorar la eficiencia y transparencia en la gestión de proyectos desarrollados en EMCALI EICE ESP.

Objetivos Específicos

El objetivo general se pretende alcanzar cuando se desarrollen los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar las principales deficiencias en los procesos de seguimiento y control técnico-administrativo en proyectos de reposición de redes de acueducto en la ciudad de Cali, a partir del estudio de casos ejecutados por la empresa de servicios públicos EMCALI.
- Realizar una revisión sistemática de literatura y experiencias aplicadas sobre la implementación de metodologías y sus herramientas de control en proyectos de infraestructura de acueducto y alcantarillado a nivel nacional e internacional.
- Diseñar una guía metodológica para el monitoreo y control integral, aplicado a las obras de reposición de redes de acueducto y alcantarillado, mediante la articulación de herramientas para la gestión de proyectos.

1.4 Justificación del Trabajo de Grado

La ejecución de proyectos de infraestructura de acueducto y alcantarillado en Colombia, y particularmente en la ciudad de Cali bajo la responsabilidad de EMCALI EICE E.S.P., enfrenta desafíos estructurales relacionados con retrasos significativos en la ejecución física y financiera, sobrecostos recurrentes, baja eficiencia en la utilización de los recursos asignados y deficiencias en los mecanismos de monitoreo y control. Según el informe de Estado de Proyectos de la Unidad Estratégica del Negocio de Acueducto y Alcantarillado (UENAA) presentado por el Grupo de Gestión Integral de Proyectos e Infraestructura (INFORME GIPI EMCALI) en marzo de 2025, únicamente el 12% de los proyectos de inversión presentan niveles de avance físico superiores al 90%, mientras que el 82% se encuentra en condición crítica o aceptable, con niveles de ejecución física por debajo de los estándares deseables (GIPI EMCALI, 2025)

A pesar de la existencia de oficinas de gestión de proyectos (PMO) y de la aplicación de procedimientos formales de seguimiento, las herramientas utilizadas actualmente por EMCALI, como el ERP-SAP y los reportes manuales en Excel, no permiten una integración adecuada entre el avance físico y financiero de los proyectos. Esto limita la capacidad de generar alertas tempranas, detectar desviaciones de manera oportuna y facilitar la toma de decisiones informadas por parte de los líderes de proyecto y la alta dirección.

En el marco de la política de seguimiento y control definida por EMCALI (Resolución GG N° 1000367 de 2023), se establece la necesidad de fortalecer las metodologías de control mediante el uso de herramientas técnicas como el Earned Value Management (EVM), la Curva S y los tableros de indicadores de desempeño (KPIs), ampliamente reconocidas por su eficacia en la gestión de proyectos de infraestructura a nivel internacional (Leyton & Mejia, 2021; Hajali-Mohamad et al., 2016).

Asimismo, la revisión del estado de los proyectos consolidados en el Informe de Gestión de Proyectos de EMCALI evidencia que, a corte del primer trimestre de 2025, la ejecución presupuestal efectiva alcanzó solo el 34%, y que múltiples proyectos presentan avances físicos por debajo del 80%, situándose en la categoría de desempeño crítico (INFORME GIPI EMCALI, 2025). Esta situación revela la urgencia de contar con una metodología estructurada que permita integrar las distintas fases del ciclo de vida del proyecto (planificación, ejecución, control y cierre), con un enfoque basado en resultados y alineado con las buenas prácticas internacionales.

Desde la perspectiva académica y científica, estudios recientes recomiendan la incorporación de metodologías híbridas que articulen técnicas tradicionales con herramientas digitales de análisis de datos y automatización de reportes (Ottaviani et al., 2025; Soliman et al., 2024). Esto permitiría reducir los márgenes de error en la estimación de tiempos y costos, facilitando la detección anticipada de desviaciones y optimizando la asignación de recursos.

Por lo tanto, el presente trabajo de grado se justifica en la necesidad de desarrollar una guía metodológica adaptada a las condiciones específicas de EMCALI, que promueva la integración de sistemas de información, el fortalecimiento de los procesos de seguimiento físico-financiero, y la implementación de mecanismos de control efectivos mediante el uso de indicadores y herramientas de gestión avanzadas. Esta guía busca convertirse en un insumo estratégico para mejorar la eficiencia de los proyectos de reposición de redes de acueducto y alcantarillado, contribuyendo a la sostenibilidad, la transparencia y la calidad en la prestación de los servicios públicos en la ciudad de Cali.

Alcances y Limitaciones

Este estudio se centra en el análisis y propuesta de mejora de procesos internos de monitoreo y control en proyectos de reposición de redes de acueducto y alcantarillado,

desarrollados por EMCALI. Se priorizará la perspectiva técnica, documental y administrativa, dejando fuera del alcance aspectos contractuales jurídicos o de impacto ambiental. Los hallazgos se analizarán, sin embargo, su implementación real dependerá de validaciones institucionales posteriores.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Evolución y Enfoques Históricos de la Gestión de Proyectos

Orígenes y Fundamentos Tempranos.

La gestión de proyectos tiene raíces históricas en obras de infraestructura que exigían coordinación de recursos, planificación y control, aun sin metodologías formalizadas. El desarrollo contemporáneo inicia con técnicas como el CPM (1957) y el PERT (1958), que permitieron modelar rutas críticas y manejar la incertidumbre (ZandaX, s. f.). La fundación del Project Management Institute (PMI) en 1969 y la publicación del PMBOK® Guide consolidaron estándares globales para estructurar el ciclo del proyecto (PMI, 2017).

La influencia japonesa y el surgimiento de Lean Construction

El Toyota Production System (TPS) introdujo principios de flujo continuo, eliminación de desperdicios y mejora continua (Liker, 2004). Koskela (1992) trasladó estos conceptos a la construcción, dando origen a Lean Construction y herramientas como Last Planner System® (LPS), orientadas a la planificación colaborativa, la reducción de variabilidad y la mejora del flujo de trabajo (Ballard & Howell, 2003). En infraestructura pública, LPS ha mostrado aportes en coordinación y reducción de interferencias.

La era de los grandes marcos metodológicos y la formalización

Entre 1980 y 2000 se consolidaron marcos como PMBOK®, centrados en planificación, control y gestión del alcance, tiempo y costo (Kerzner, 2018). El triángulo de desempeño — tiempo, costo, alcance— se posicionó como indicador clásico de éxito. No obstante, la rigidez de estos modelos evidenció limitaciones en proyectos con alta complejidad técnica o incertidumbre

Cronología de hitos en la gestión de proyectos

En la siguiente Tabla 1 podemos encontrar la cronología de los hitos en la gestión de proyecto a lo largo de los años.

Tabla 1

Cronología de Hitos en la Gestión de Proyectos

AÑO	HITO RELEVANTE
~1910	Introducción del diagrama de Gantt (Henry Gantt)
1957	Desarrollo del CPM (Critical Path Method)
1958	Publicación del primer sistema PERT
1969	Fundación del PMI
1987	Primera edición del PMBOK® Guide
1992	Publicación de “Application of the New Production Philosophy to Construction” (Koskela)
2003	Publicación de “Lean Project Delivery System: An Update” (Ballard & Howell)
2017	Sexta edición del PMBOK® Guide
2020+	Crecimiento de metodologías híbridas, Agile y digitalización del control

Fuente: elaboración propia con base en fuentes históricas de la disciplina (ProjectManager, 2018; Koskela, 1992; Ballard & Howell, 2003).

La transición hacia metodologías ágiles y digitales

Con el auge de la industria del software, las metodologías ágiles como Scrum, Kanban y XP se popularizaron en los años 90 y 2000, redefiniendo el enfoque hacia entregas frecuentes, equipo autoorganizado y adaptación al cambio (Highsmith, 2010). Estas ideas comenzaron a trasladarse al entorno de la construcción y la infraestructura, generando enfoques híbridos que combinan lo estructurado con lo adaptativo (Kazar et al., 2022).

En el contexto público, la digitalización de la gestión de proyectos a través de IoT (Internet de las Cosas), sensores, big data y trazabilidad agrega una capa tecnológica que fortalece el monitoreo y control, permitiendo intervenciones tempranas y mayor transparencia (Dam et al., 2018).

Directrices latinoamericanas y el contexto regional

En América Latina, las entidades de gestión pública de proyectos han adoptado y adaptado estos marcos metodológicos para los contextos locales. Por ejemplo, en Colombia, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) publicó la Guía para la Formulación de Proyectos de Inversión Pública (2021), que incorpora buenas prácticas internacionales y orienta los proyectos a resultados, eficiencia y transparencia.

En Brasil se identifican estudios que aplican Lean Construction en obras públicas (Silva et al., 2021), y en Chile se han realizado avances en metodologías adaptativas para infraestructura urbana (Muñoz, 2019). Estas experiencias regionales demuestran la pertinencia de adoptar modelos modernos en el sector público latinoamericano.

2.2 Gestión de Proyectos en Colombia: Contexto Regional y Local

La gestión de proyectos en Colombia ha experimentado una transformación sustancial en las últimas décadas, marcada por el fortalecimiento institucional, la creación de marcos normativos más rigurosos y la incorporación gradual de buenas prácticas internacionales. Este proceso se ha visto impulsado por la necesidad de optimizar el uso de los recursos públicos, garantizar mayor transparencia y responder a desafíos de infraestructura y servicios públicos cada vez más complejos. Por ejemplo, la adopción de metodologías ampliamente reconocidas como la de Project Management Institute (PMI) por medio de su guía A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) y la técnica de valor ganado (EVM) ha sido señalada como referencia por entidades estatales. Sin embargo, la puesta en práctica de tales marcos ha enfrentado retos significativos, sobre todo en el ámbito de infraestructura pública, donde la multiplicidad de actores, la heterogeneidad de contratos y la continuidad del servicio generan un entorno de alta complejidad (PMI, 2017; DNP, 2022). En este sentido, se observa que la realidad operativa de los proyectos de inversión pública en Colombia presenta brechas entre el diseño metodológico y la ejecución efectiva, lo que refuerza la necesidad de investigar y adaptar modelos de monitoreo y control específicos para el contexto nacional.

Marco Institucional y Normativo en Colombia

En Colombia, el DNP lidera la gestión de proyectos de inversión mediante el Banco de Programas y Proyectos (BPIN) y el Manual de Inversiones Públicas (DNP, 2022). La Ley 152 de 1994, el Sistema General de Regalías y la Ley 2195 de 2022 fortalecen la transparencia y la gestión por resultados. El Plan Nacional de Desarrollo 2022–2026 exige articulación con los ODS y la eficiencia fiscal.

Adopción de Metodologías Internacionales

Colombia ha avanzado progresivamente en la incorporación de metodologías internacionales para la gestión de proyectos, trascendiendo los enfoques tradicionales y acercándose a modelos más robustos y sistematizados. La guía PMBOK del PMI (2017) ha sido referenciada por entidades gubernamentales como estándar de buenas prácticas, así como en programas de formación ejecutiva, certificaciones y cursos universitarios. Por su parte, metodologías como PRINCE2 y marcos ágiles (Scrum, Kanban) han sido adoptadas en el ámbito de las tecnologías de información del Estado, donde la flexibilidad y la entrega continua resultan valiosas. No obstante, su aplicación en proyectos de infraestructura pública ha sido más lenta y limitada debido a barreras como la rigidez institucional, falta de capital humano especializado, escasa interoperabilidad tecnológica y procesos de contratación complejos (BID, 2020). Un diagnóstico del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) para Colombia reportó que apenas 43 % de los proyectos estatales mostraban una trazabilidad adecuada del cronograma, presupuesto e indicadores de resultado, evidenciando la brecha entre la formulación metodológica y la ejecución operativa (BID, 2021). En este sentido, la literatura enfatiza que más que la adopción, lo relevante es la adaptación contextualizada de dichas metodologías, así como su articulación con la normativa, la cultura organizacional y la tecnología disponible.

Iniciativas Regionales de Mejora

Frente a los retos institucionales y operativos, la región ha puesto en marcha varias iniciativas para fortalecer la eficiencia de la inversión pública y la gestión de proyectos. Entre estas destaca la creación del Observatorio de la Infraestructura del Valle, plataforma que permite hacer seguimiento público y sistemático a los proyectos de infraestructura del departamento. Se ha avanzado también en la digitalización parcial del Banco de Proyectos de Inversión Nacional

(BPIN) a nivel regional, autónomos de seguimiento remoto y elaboración de informes de avance (Gobernación del Valle del Cauca, 2023). En el ámbito de la empresa de servicios públicos, la empresa EMCALI EICE ESP ha implementado programas de capacitación en metodologías de seguimiento como EVM para su personal técnico y directivo (EMCALI, 2023). Estas acciones se orientan a cerrar la brecha tecnológica, optimizar los mecanismos de control y fortalecer la transparencia. Sin embargo, la literatura advierte que la sostenibilidad de esas mejoras depende de la institucionalización de culturas de gestión de proyectos, de la continuidad de los sistemas digitales y del compromiso permanente de los actores (Cepeda, 2022). En la tabla 2, se puede encontrar la comparación de metodologías utilizadas en Colombia por sector.

Tabla 2

Metodologías Utilizadas en Colombia por Sector

SECTOR	METODOLOGÍA PREDOMINANTE	NIVEL DE ADOPCIÓN
Tecnología	Agile / Scrum	Alto
Infraestructura	PMBOK	Medio
Educación y salud	Marco Lógico, Resultados	Bajo
Sector financiero	PRINCE 2, PMI	Alto

Fuente: Elaboración propia con base en DNP (2022), IDB (2020).

Gestión de proyectos en el Valle del Cauca y Cali

En el Valle del Cauca y en particular en Cali, la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura ha sido liderada por entidades como EMCALI, la Alcaldía de Cali y el Departamento Administrativo de Planeación Municipal. A pesar de los avances, los proyectos han presentado falencias relacionadas con:

- Baja trazabilidad documental
- Deficiencias en el monitoreo físico-financiero
- Cambios constantes de alcance y cronograma
- Escasa interoperabilidad entre plataformas tecnológicas

Estudios como los de Villegas et al. (2023) señalan que el 35% de los proyectos financiados por el SGR en el Valle han tenido retrasos significativos y un 22% presenta reprocesos por mala gestión documental.

2.3 Proyectos de Infraestructura Pública: Complejidad y Desafíos

La ejecución de proyectos de infraestructura pública, especialmente aquellos relacionados con servicios públicos domiciliarios como acueducto y alcantarillado, plantea una serie de retos estructurales que trascienden lo técnico para abarcar dimensiones institucionales, sociales, ambientales y políticas. En contextos urbanos como Santiago de Cali, donde la infraestructura existente presenta rezagos históricos y problemas de coordinación interinstitucional, estos proyectos enfrentan una complejidad aumentada que requiere enfoques adaptativos, herramientas de monitoreo avanzadas y mecanismos de participación ciudadana (Kerzner, 2018).

Complejidad Técnica y Multidisciplinariedad

Los proyectos de infraestructura pública exigen una integración robusta de disciplinas como la ingeniería civil, la topografía, la hidrología urbana, la planeación territorial y la gestión ambiental. Esta multidisciplinariedad, aunque enriquecedora, introduce complejidades importantes desde la etapa de formulación. En el caso de redes húmedas, por ejemplo, los diseños deben considerar la topografía local, la antigüedad de las redes existentes, las condiciones de

suelos, la compatibilidad con otras redes de servicios y la capacidad de los sistemas de tratamiento aguas abajo (Vásquez & Franco, 2022).

Además, la interdependencia entre los componentes del proyecto aumenta los riesgos de incompatibilidades técnicas, especialmente cuando existen subcontratistas con niveles dispares de experticia. Según el Instituto Nacional de Vías (INVIAS, 2021), uno de los factores más recurrentes en fracasos parciales de proyectos es la desconexión entre diseño, ejecución y supervisión, agravada por la debilidad de las interventorías técnicas.

Gestión de recursos y financiación

La financiación de proyectos públicos en Colombia está sujeta a los ciclos del Sistema General de Regalías, el presupuesto nacional y territorial, y esquemas de cofinanciación con entidades multilaterales. Este marco, aunque permite diversificar fuentes, también impone restricciones operativas debido a la segmentación presupuestal y la rigidez del gasto público (Contraloría General de la República, 2020).

Sistemas como el ERP SAP utilizados por EMCALI han permitido mejorar el seguimiento financiero, pero requieren una actualización constante de datos y una interoperabilidad adecuada con sistemas de contratación como SECOP II. De acuerdo con el informe de auditoría interna de EMCALI (2023), el 28% de las desviaciones presupuestales en proyectos de redes húmedas se debió a errores en el registro de compromisos y ajustes entre vigencias.

En la tabla 3, se puede evidenciar varios ejemplos de fuentes de financiación de proyectos de infraestructura.

Tabla 3*Ejemplo Fuentes de Financiación en Proyectos de Infraestructura*

FUENTE	TIPO	RESTRICCIONES
SGR (Regalías)	Nacional	Sujeta a proyectos BPIN y evaluación DNP
Presupuesto Municipal	Territorial	Asignado por acuerdo local, limitado a vigencia anual
Préstamos BID/Banco Mundial	Multilateral	Requiere reinversión, garantías y auditorías externas
Tarifas de servicios públicos	Propia	Requiere aprobación CRA y viabilidad técnica-financiera

Fuente: Elaboración propia con base en DNP (2022) y EMCALI (2023).

Riesgos y conflictos en la ejecución

Los proyectos de infraestructura, por su impacto territorial y su duración prolongada, están expuestos a una multiplicidad de riesgos: interferencias prediales, oposición comunitaria, contratistas incumplidos, y eventos climáticos extremos. En el caso de redes húmedas, estos riesgos se agudizan por la necesidad de intervenir en espacios urbanos consolidados, muchas veces sin cartografía precisa de las redes antiguas (Mora-Melià et al., 2022).

El Plan Nacional de Desarrollo (2022-2026) reconoce la importancia de integrar planes de gestión del riesgo en proyectos de infraestructura, incluyendo análisis de vulnerabilidad climática, evaluaciones ambientales participativas y protocolos de mediación comunitaria (Presidencia, 2023).

Transparencia y rendición de cuentas

Dada la alta exposición pública de estos proyectos, la implementación de mecanismos de transparencia y control social se vuelve imprescindible. Las plataformas de visualización como SECOP II, el Portal de Transparencia Económica y los tableros interactivos internos de EMCALI

son herramientas esenciales para mitigar la corrupción y aumentar la confianza ciudadana (Transparencia por Colombia, 2022).

Aplicación específica a redes húmedas

Los proyectos de redes de acueducto y alcantarillado presentan características únicas: son invisibles (infraestructura enterrada), críticos (afectan salud y calidad de vida), y difíciles de intervenir sin afectar otros servicios. Además, la normativa exige mantener la continuidad del servicio durante las intervenciones, lo cual representa un reto de ingeniería operativa y comunicación ciudadana (Salazar & Díaz, 2023).

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Diagnóstico de Proyectos de Reposición de Redes.

Esta investigación se fundamenta en la necesidad de fortalecer los mecanismos de seguimiento y control en la ejecución de proyectos de infraestructura urbana, particularmente aquellos relacionados con los servicios públicos domiciliarios. La pertinencia del estudio radica en el contexto de crecimiento urbano, envejecimiento de las redes existentes y el imperativo institucional de garantizar eficiencia y transparencia en la inversión pública. Así, se busca identificar las principales desviaciones técnicas, administrativas y financieras que obstaculizan el cumplimiento de los objetivos trazados, como insumo para el desarrollo de una guía práctica de monitoreo y control de proyectos mediante un diagnóstico detallado de la eficiencia del monitoreo y control en los proyectos de reposición de redes de acueducto y alcantarillado, enfocado en los casos específicos de los proyectos AC0014-1073 y AL0017-2095 ejecutados por EMCALI.

El análisis busca identificar los desafíos más críticos, brechas de información, desviaciones presupuestales y temporales, así como las oportunidades de mejoramiento dentro de los mecanismos de seguimiento técnico y administrativo.

Metodología para Realizar el Diagnostico

Para realizar un correcto diagnóstico del estado actual del monitoreo y control en los proyectos de reposición de redes de acueducto y alcantarillado en EMCALI, con énfasis en los proyectos AC0014 y AL0017, y poder identificar oportunidades de mejora, se realizaron las siguientes actividades.

Actividades realizadas:

- Análisis de la eficiencia de los mecanismos actuales de seguimiento físico, financiero y de alcance.
- Identificar los factores críticos que generan retrasos o desviaciones en la ejecución.
- Establecer líneas base cuantitativas y cualitativas sobre los niveles de cumplimiento y gestión.

La metodología se estructuró en cinco fases analíticas, desarrolladas secuencialmente para lograr una comprensión integral del estado de los proyectos:

- 1) Recolección y clasificación de información:** Se recopiló información proveniente de múltiples fuentes oficiales, tales como los informes de seguimiento F4, reportes SAP de EMCALI, informes de recomendaciones, fichas técnicas y cronogramas contractuales, entre otros. Los datos fueron organizados según su naturaleza: financiera, física, contractual y cronológica.
- 2) Análisis financiero:** Se evaluó la ejecución presupuestal acumulada y por vigencia, contrastando las apropiaciones, registros, obligaciones y pagos para cada proyecto. Además, se identificaron posibles sobrecostos y el uso de vigencias anteriores.

- 3) **Análisis de ejecución física:** Se revisó el cumplimiento de las metas físicas, como los metros lineales de redes repuestas y diseñadas, comparando lo ejecutado frente a lo programado por objetivo específico.
- 4) **Evaluación de la temporalidad:** Se determinó la desviación temporal de cada proyecto frente a su duración planeada inicial, tomando como referencia los cronogramas contractuales, fechas de acta de inicio, suspensiones y prórrogas autorizadas.
- 5) **Revisión contractual:** Se analizó el cumplimiento en la formalización de contratos, incluyendo actividades programadas sin contrato, porcentajes de cumplimiento contractual, y retrasos atribuibles a la gestión contractual interna.

Según Kerzner (2018), el éxito de un proyecto se mide no solo por su finalización en tiempo y presupuesto, sino por su capacidad de generar valor y cumplir con el alcance planeado. En el caso de proyectos públicos de infraestructura como los de reposición de redes, el monitoreo efectivo se convierte en una herramienta clave para prevenir desviaciones, mitigar riesgos y garantizar la transparencia en la ejecución (PMI, 2021).

Autores como Mora-Melià et al. (2022) han destacado que la implementación de metodologías de control físico, como la curva S y el análisis de valor ganado, permite medir de forma precisa el cumplimiento del cronograma y los costos en proyectos de servicios públicos.

Revisión de Investigaciones Recientes (2019–2024)

A continuación, en la Tabla 4, se presentan estudios recientes relacionados con el monitoreo y control de proyectos de infraestructura, especialmente en contextos de servicios públicos. Esta revisión sistematiza hallazgos relevantes por país, año, enfoque, metodología y conclusiones clave.

Tabla 4

Metodologías Aplicadas a Nivel Mundial en Casos de Estudio de Proyectos de Infraestructura

PAÍS	AÑO	ENFOQUE	METODOLOGÍA	PRINCIPALES HALLAZGOS
Colombia	2021	Control de ejecución en redes de acueducto	Estudio de caso	Fallas en supervisión causaron sobrecostos y retrasos del 28% (González & Rojas, 2021).
Perú	2020	Valor ganado en obras públicas	Análisis cuantitativo	El EVM permitió identificar desviaciones de cronograma con precisión (Martínez et al., 2020).
España	2022	Monitoreo digital con IoT	Implementación tecnológica	Reducción del 35% en tiempos de reacción ante fallas (Rodríguez & López, 2022).
Chile	2019	Supervisión participativa	Investigación acción	Mayor cumplimiento de metas mediante control colaborativo (Muñoz, 2019).
México	2023	Curvas S y control visual	Estudio comparativo	Aumento en confiabilidad de informes técnicos (Salazar & Díaz, 2023).

Fuente: Elaboración propia

Descripción de los Proyectos

Ficha Proyecto AC0014 - Redes de Acueducto

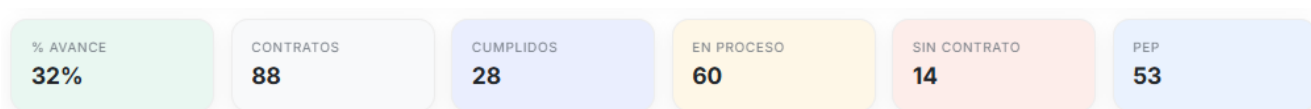
La ficha de proyecto AC0014 tiene como objetivo mejorar hidráulica y estructuralmente las redes de acueducto, mediante la reposición y/o instalación de tuberías y accesorios.

Este proyecto cuenta con un total de 88 contratos, de los cuales 28 han sido cumplidos y 60 se encuentran en proceso. Adicionalmente, se identificaron 14 actividades con código de activo

que no cuentan con contrato asociado, para un total de 53 actividades PEP únicas. El porcentaje de avance global asciende al 32% (ver Gráfico 1).

Gráfico 1

Avance de Ficha AC0014



Fuente: Reportes UGPI

Es importante aclarar la diferencia entre el número de contratos cumplidos y el porcentaje de avance:

- Los contratos cumplidos representan la cantidad absoluta de contratos que han alcanzado todas las condiciones establecidas (ejecutados y legalizados).
- El porcentaje de avance, en cambio, se calcula sobre la proporción de contratos cumplidos frente al total de contratos que cuentan con número asignado, excluyendo aquellas actividades que permanecen sin contrato.

El gráfico circular (Gráfico 2) que se presenta a continuación se ilustra la distribución porcentual de contratos según su estado, mostrando que la mayor parte aún se encuentra en proceso.

Gráfico 2

Distribución Porcentual de Contratos Según su Estado AC0014



Fuente: Elaboración propia

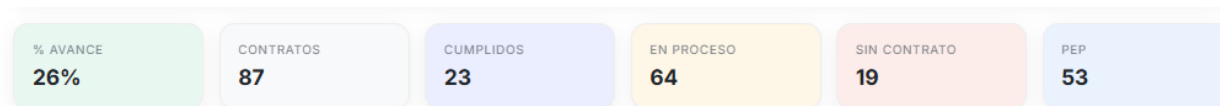
Ficha Proyecto AL0017 – Redes de Alcantarillado

La ficha de proyecto AL0017 tiene como objetivo general mejorar el funcionamiento hidráulico de la red de alcantarillado, mediante la reposición, rehabilitación y optimización de sus componentes.

Esta ficha de proyecto cuenta con un total de 87 contratos, de los cuales 23 han sido cumplidos, 64 se encuentran en proceso y 19 corresponden a actividades sin contrato, en un total de 53 actividades con códigos PEP únicos. El porcentaje de avance global asciende al 26% (Ver Gráfico 3).

Gráfico 3

Avance de Ficha AL0017



Fuente: Reportes UGPI

El gráfico circular (ver Gráfico 4) presenta la distribución porcentual de los contratos según su estado, evidenciando que la mayor proporción corresponde a aquellos que todavía se encuentran en proceso. En contraste, una fracción menor corresponde a contratos ya cumplidos y a actividades que aún no cuentan con contrato.

Gráfico 4

Distribución Porcentual de Contratos Según su Estado AL0017



Fuente: Elaboración propia

Reporte de Estados de los Proyectos

PROYECTO AL0014 - 2095 REPOSICIÓN DE REDES SECUNDARIAS DE ACUEDUCTO

FASE 7

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

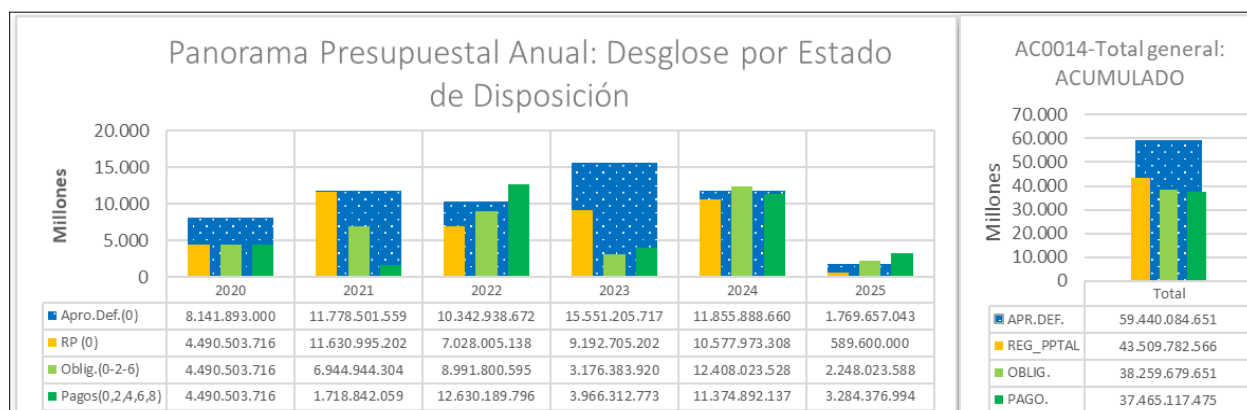
Código:	AC0014 - 1073
Versión:	11 – 2 (1 – 2025)
Unidad Ejecutora:	Unidad de Ingeniería
Período de Ejecución:	6 años y 5 meses
Estado:	En ejecución
Líder de seguimiento:	Carolina Mena Sanclemente

A. SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL - ANÁLISIS DEL COSTO

De acuerdo con la base de datos de FPL (2019-2022) y reportes de ERP SAP (2022 - 2025), se observa que la apropiación definitiva total del proyecto corresponde a \$59.440.084.651 mientras que, el registro presupuestal es de \$43.509.782.566 lo que equivalen aproximadamente 73,2% de avance respecto al total apropiado. Lo anterior indica que, una parte importante de los recursos han sido comprometidos formalmente para la ejecución de actividades, sin embargo, alrededor del 27% del presupuesto asignado aún no ha sido registrado. Dichos datos pueden evidenciarse en el Gráfico 5 mostrado a continuación:

Gráfico 5

Panorama Presupuestal Anual - Proyecto AC0014-1073



Fuente: Reportes UGPI

Según la última versión de la ficha del proyecto (V11-2) ajustada el 03/06/25 se ajustaron los recursos asignados para la vigencia 2025, pasando de \$735.070.000 a \$1.034.587.043, de los cuales se han registrado presupuestalmente \$589.600.000 lo que representa aproximadamente un 33% frente a lo apropiado.

B. SEGUIMIENTO DEL ALCANCE

De acuerdo con el último reporte del formato F4 - Formato “Plan de Ejecución y Seguimiento” suministrado por el líder de seguimiento (II Trimestre de 2025 – con corte a 30 de junio), se presenta la ejecución del objetivo general y objetivos específicos que componen al proyecto AC0014 – 1073 (ver Tabla 5).

Tabla 5

Seguimiento de Ejecución de los Componentes del Proyecto – II Trimestre 2025 – AC0014

DESCRIPCIÓN	PRODUCTO PLANEADO	INDICADOR	LÍNEA BASE	META FINAL	CANTIDAD EJECUTADA	EJECUCIÓN
OBJETIVO GENERAL						
Mejorar hidráulica y estructuralmente las redes (tuberías y accesorios de acueducto)	No aplica	Número de daños anuales en la zona a intervenir	557	86	94	97,1%
OBJETIVO ESPECÍFICO 1						
Prolongar la vida útil del sistema de redes de acueducto	Tuberías en el sistema de acueducto en óptimas condiciones	Número de metros lineales en mal estado	563.800	505.539	514.480	85,0%

Fuente: Tomado del “Plan de Ejecución y Seguimiento” suministrado por el líder de seguimiento (II Trimestre de 2025 – con corte a 30 de junio)

Hasta el segundo trimestre del año 2025, el objetivo general y el objetivo específico 1 del proyecto registran porcentajes de ejecución del 97,1 % y 85,0 %, respectivamente; lo que refleja un avance considerable en relación con la línea base, aunque en ambos casos las metas finales aún no han sido alcanzadas. En este sentido, es importante dar continuidad a las actividades programadas y asegurar su ejecución conforme al cronograma, de manera que se logre el cumplimiento total de las metas establecidas dentro del plazo previsto

C. SEGUIMIENTO DE LA TEMPORALIDAD

De acuerdo con la Gráfica 6, permite visualizar la evolución de la temporalidad del proyecto desde su versión inicial hasta la ejecución parcial registrada a la fecha (julio 14 de 2025). En particular, la versión final del cronograma (última actualización de la ficha del proyecto V11-2) con fecha de inicio el 3 de enero de 2020 y una duración estimada de 6 años y 5 meses hasta el 30 de junio de 2026, refleja un ajuste en los tiempos inicialmente planteados. Lo anterior, representa un incremento de aproximadamente 122,74% del tiempo inicialmente previsto para el desarrollo del proyecto.

Gráfico 6

Temporalidad Proyecto AC0014-1073



Fuente: Tomado del reporte de “Estado de los Proyectos (junio 2025)” UGPI

D. HALLAZGOS PROYECTO AC0014 – ACUEDUCTO

Se enfatiza la necesidad de fortalecer el componente de seguimiento físico mediante el uso completo y periódico del Formato F4, incluyendo la pestaña de “Avance físico”, para mejorar la trazabilidad y la capacidad de intervención oportuna. Finalmente, se resalta la importancia de una retroalimentación constante por parte del líder de seguimiento, a través de observaciones claras y contextualizadas que alimenten el análisis del estado real del proyecto y permitan una toma de decisiones más informada, coherente con los principios de la gestión integral de proyectos definidos por EMCALI y las buenas prácticas internacionales.

**PROYECTO AL0017 - 2095 REPOSICIÓN DE REDES SECUNDARIAS DE
ALCANTARILLADO FASE 7**

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

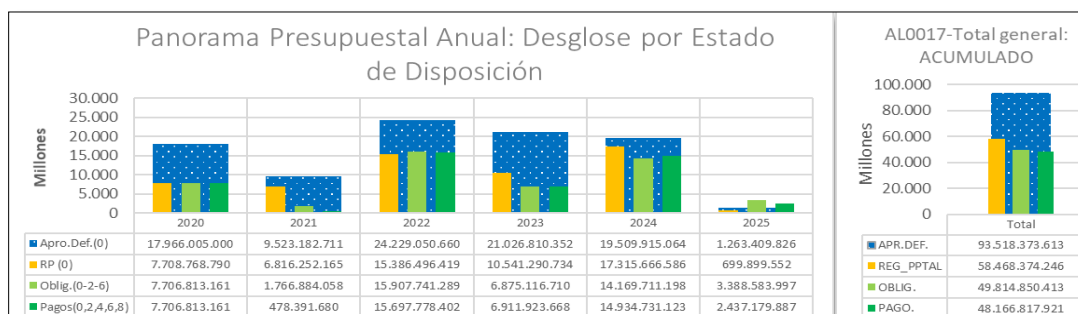
Código:	AL0017 - 2095
Versión:	11 - 1 (1 - 2025)
Unidad Ejecutora:	Unidad de Ingeniería
Período de Ejecución:	6 años y 4 meses
Estado:	En ejecución
Líder de seguimiento:	Carolina Mena Sanclemente

A. SEGUIMIENTO PRESUPUESTAL - ANÁLISIS DEL COSTO

De acuerdo con la base de datos de FPL (2019-2022) y reportes de ERP SAP (2022 - 2025), se observa que la apropiación definitiva total del proyecto corresponde a \$95.518.373.613 mientras que, el registro presupuestal es de \$58.468.374.246 lo que equivalen aproximadamente un 62,5% de ejecución respecto a lo apropiado. Esta relación evidencia que, aunque se cuenta con una asignación considerable de recursos, aún existe un margen significativo por comprometer formalmente en el sistema presupuestal (Ver gráfico 7)

Gráfico 7

Panorama Presupuestal Anual - Proyecto AL0017-2095



Fuente: Tomado del reporte de “Estado de los Proyectos (junio 2025) UGPI

De acuerdo con la última versión de la ficha del proyecto (V11-1) ajustada el 26/05/25 se ajustaron los recursos asignados para la vigencia 2025, pasando de \$942.286.312 a

\$1.263.409.826, de los cuales se han registrado presupuestalmente \$699.899.552 lo que representa un avance del 55 % en términos de compromisos adquiridos respecto al monto aprobado.

Por otro lado, a la fecha se han generado obligaciones por \$3.388.553.897, lo cual es mayor al valor del registro presupuestal, posiblemente debido a la incorporación de saldos pendientes de vigencias anteriores o ajustes contables. Este comportamiento sugiere que, aunque la apropiación fue incrementada de forma reciente, el proyecto ya venía presentando compromisos y pagos vinculados que han continuado su curso.

B. SEGUIMIENTO DEL ALCANCE

De acuerdo con el último reporte del formato F4 - Formato “Plan de Ejecución y Seguimiento” suministrado por el líder de seguimiento (II Trimestre de 2025 – con corte a 30 de junio), se presenta la ejecución del objetivo general y objetivos específicos que componen al proyecto AL0017 – 2095 (ver Tabla 6).

Tabla 6

Seguimiento de Ejecución de los Componentes AL0017

DESCRIPCIÓN	PRODUCTO PLANEADO	INDICADOR	LÍNEA BASE	META FINAL	CANTIDAD EJECUTADA	CUMPLIMIENTO DE LA META
OBJETIVO GENERAL						
Mejorar el funcionamiento de la red de alcantarillado	No aplica	Número de metros lineales críticos Reportados por el Área Operativa en los sectores indicados para los años 2020 a 2025	271.510	26.326	20.333	77.23%

DESCRIPCIÓN	PRODUCTO PLANEADO	INDICADOR	LÍNEA BASE	META FINAL	CANTIDAD EJECUTADA	CUMPLIMIENTO DE LA META
OBJETIVO ESPECÍFICO 1						
Prolongar la vida útil de las redes de alcantarillado	Tuberías en el sistema de saneamiento en óptimas condiciones	Número de metros restituidos de tubería en materiales de última generación	271.510	26.326	20.333	77.23%

Fuente: Tomado del “Plan de Ejecución y Seguimiento” suministrado por el líder de seguimiento (II Trimestre de 2025 – con corte a 30 de junio)

Hasta el segundo trimestre del año 2025, tanto el objetivo general como el objetivo específico 1 del proyecto, muestran un avance similar en su ejecución, teniendo en cuenta que comparten la misma línea base y meta final planeada. De acuerdo con la última versión de la ficha del proyecto (V11-1) la meta establecida a corte del segundo trimestre del presente año es de 26.326 ML, mientras que la ejecución fue de 20.333 ML lo que representa un cumplimiento del 77.23% de lo programado. Lo anterior refleja que, de acuerdo con lo proyectado no se ha logrado alcanzar la ejecución total esperada para los dos primeros trimestres, lo que implica un retraso que podría dificultar el cumplimiento de la meta final si no se compensa en los siguientes periodos.

Ejecución Física

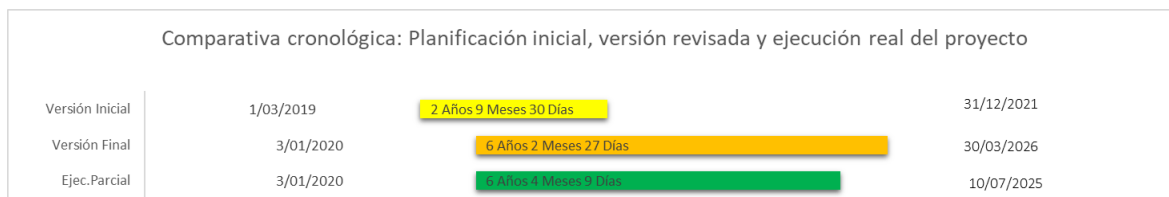
De acuerdo con el último reporte de Estados de los Proyectos reportado por el líder de seguimiento (junio 2025), el porcentaje de avance físico de las actividades programadas para la vigencia 2025 es del 4,12% (Tabla 8). En cuanto al avance físico acumulado de las actividades del proyecto, alcanza un 77,24%, lo que indica un nivel de cumplimiento alto en términos de ejecución general.

C. SEGUIMIENTO DE LA TEMPORALIDAD

De acuerdo con la Gráfica 8, se evidencia una desviación significativa en el tiempo de ejecución del proyecto respecto a su planificación inicial. En un principio, el proyecto fue planeado para ser ejecutado en un periodo de 2 años, 9 meses y 30 días (desde el 1 de marzo de 2019 hasta el 31 de diciembre de 2021), sin embargo, esta planificación fue modificada mediante una versión final, que amplió el plazo a 6 años, 2 meses y 27 días, extendiendo la vigencia hasta el 30 de marzo de 2026. Esta ampliación representa un incremento de más del 120 % del tiempo inicialmente previsto, lo que refleja un ajuste estructural del cronograma del proyecto.

Gráfico 8

Temporalidad Proyecto AL0017-1073



Fuente: Tomado del reporte de “Estado de los Proyectos (junio 2025) UGPI

D. HALLAZGOS PROYECTO AL0017 - ALCANTARILLADO

Teniendo en cuenta los puntos abordados durante el informe se evidencia que, si bien el proyecto ha sido objeto de ajustes en términos de costo y tiempo, ampliando tanto el presupuesto como la duración prevista de ejecución, es importante resaltar que dichas modificaciones no han estado orientadas ampliar el alcance del proyecto de acuerdo con la última versión de la ficha.

Integración de Fuentes Documentales y Opinión Experta

Con base en los hallazgos derivados de la revisión de auditorías internas y externas, así como del análisis de los indicadores técnicos y administrativos asociados a los proyectos AC0014

y AL0017, se ha podido construir una visión preliminar del estado actual de la gestión en términos de eficiencia, trazabilidad y cumplimiento (EMCALI, 2025; Contraloría General de la República, 2023). No obstante, para complementar esta aproximación documental y robustecer el diagnóstico integral, se incorpora una segunda fase metodológica centrada en la recolección de percepciones expertas. Esta fase se desarrolla mediante la aplicación de un cuestionario aplicando el método Delphi, ampliamente reconocido en la investigación cualitativa para la construcción de consenso experto en contextos de alta incertidumbre o dispersión de información (Okoli & Pawlowski, 2004; Hsu & Sandford, 2007).

A través de entrevistas estructuradas dirigidas a líderes técnicos y administrativos vinculados con los procesos de monitoreo y control en EMCALI, se busca triangular los hallazgos documentales con las valoraciones de actores clave. La integración de estas dos fuentes de información, documental y de experiencias, permitirá contrastar datos duros con visiones estratégicas, identificar brechas no registradas en los sistemas formales y formular conclusiones más sólidas respecto a las causas estructurales que afectan la eficiencia en los proyectos de reposición de redes (Kerzner, 2018; PMI, 2021).

Diseño del Cuestionario de Diagnóstico

Como parte del enfoque metodológico adoptado para el diagnóstico del sistema de monitoreo y control de proyectos de reposición de redes de acueducto y alcantarillado en EMCALI, se ha optado por realizar un cuestionario aplicando método Delphi. Esta técnica, ampliamente utilizada en procesos de toma de decisiones colectivas en entornos técnicos y administrativos complejos, resulta especialmente adecuada en contextos donde la estructura jerárquica puede inhibir la libre expresión de opiniones (Dalkey & Helmer, 1963; Okoli &

Pawlowski, 2004). En la siguiente tabla (tabla 7) se puede evidenciar el comparativo entre el Método Delphi y Focus Group.

Tabla 7

Características Técnica Focus Group vs. Método Delphi

TÉCNICA	QUÉ ES	CÓMO FUNCIONA	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Focus Group	Conversación guiada entre varios participantes al mismo tiempo.	Moderador + 5–10 personas en discusión abierta.	Genera información cualitativa rica; permite observar consenso y divergencias.	Riesgo de sesgo jerárquico; requiere logística y puede inhibir voces.
Método Delphi	Consulta estructurada y anónima a expertos.	Cuestionarios en rondas sucesivas hasta consenso.	Anonimato; evita presiones; adecuado para entornos institucionales.	Toma más tiempo y requiere análisis iterativo.

Fuente: Elaboración propia.

La elección del método Delphi se fundamenta en una comparación directa con otras técnicas cualitativas como el Focus Group, (ver tabla 8). En dicho análisis, Delphi presentó ventajas significativas respecto a: la neutralidad jerárquica (al asegurar el anonimato de las respuestas), la viabilidad institucional (al no requerir convocatorias presenciales formales), la protección de información sensible (al evitar la identificación de fuentes) y su capacidad para facilitar consensos técnicos estructurados (Linstone & Turoff, 2002). La metodología se implementó de forma presencial mediante formularios impresos (Hsu & Sandford, 2007).

Tabla 8*Criterios para la selección del método Delphi Frente al Focus Group*

CRITERIO	FOCUS GROUP	DELPHI	CONCLUSIÓN
Jerarquías internas	Puede inhibir respuestas	Anónimo y sin presión	Gana Delphi
Permisos institucionales	Requiere reunión formal	Se realiza por correo/Forms	Gana Delphi
Manejo de información sensible	Voces identificables	Respuestas consolidadas sin nombres	Gana Delphi
Calidad metodológica	Genera ideas en vivo	Produce consenso técnico claro	Gana Delphi
Riesgos legales/confidencialidad	Medio-alto	Muy bajo	Gana Delphi

Fuente: Elaboración propia.

El instrumento diseñado fue aplicado en actores clave del ecosistema de gestión de proyectos de EMCALI, incluyendo líderes de seguimiento, supervisores de obra, interventores y personal técnico-administrativo involucrado en la ejecución y control de proyectos de infraestructura pública. El objetivo del cuestionario es evaluar la eficiencia percibida en los procesos actuales de seguimiento físico, control financiero, gestión documental y participación de actores.

Este ejercicio permitió identificar debilidades estructurales, buenas prácticas existentes y oportunidades de mejora dentro del sistema actual de gestión de proyectos en EMCALI, sirviendo como insumo directo para la formulación de la guía metodológica propuesta en este trabajo.

A. RESULTADOS DE LA ENCUESTA APLICANDO EL MÉTODO DELPHI

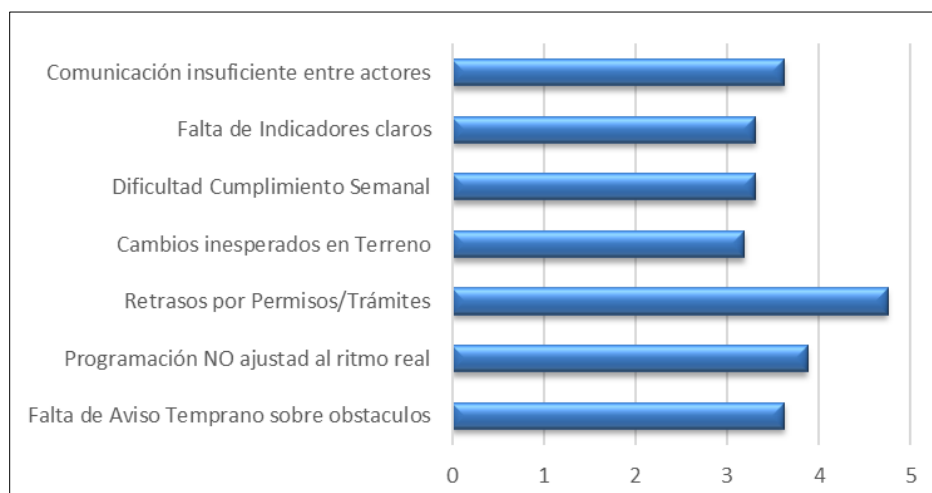
A través de la aplicación de la metodología Delphi a profesionales implicados en la ejecución de dichos proyectos, se identifican los principales problemas, prácticas viables, brechas operativas y oportunidades de mejora. Esta reflexión resulta clave para orientar el capítulo del proyecto de grado dedicado al desarrollo metodológico con énfasis en gerencia de construcción.

MÉTRICAS GENERALES DEL INSTRUMENTO DELPHI

Se recogieron 16 respuestas únicas, lo que representa una cobertura del 80% del universo total de personal técnico relevante en el área, compuesto por 20 profesionales. Esta alta tasa de respuesta refuerza la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos que se pueden evidenciar en los gráficos 9 y 10 mostrados a continuación, los promedios calculados son los siguientes:

Gráfico 9

Calificación del Impacto de Factores Críticos Según la Metodología Delphi

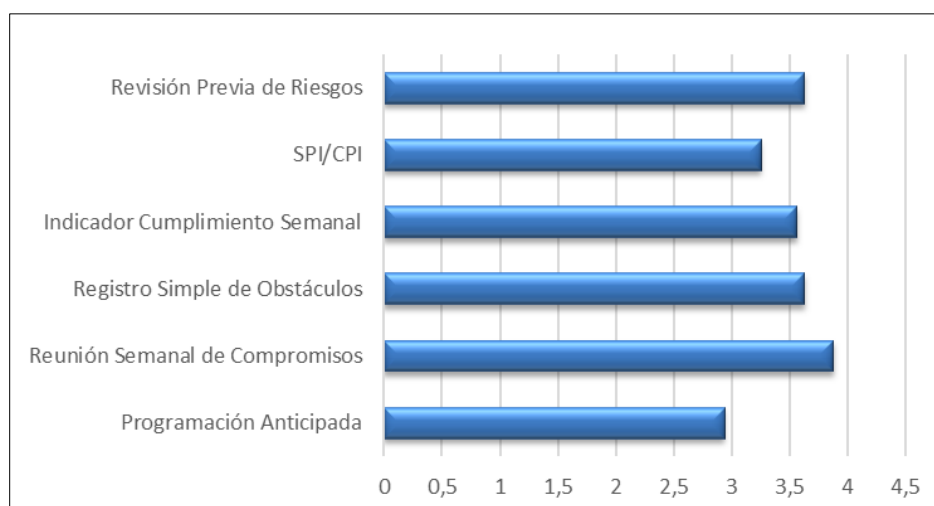


Fuente: Elaboración propia.

RESULTADO: Promedio general de impacto: 3.68 sobre 5.

Gráfico 10

Calificación de la Viabilidad de Actividades Operativas Según la Metodología Delphi



Fuente: Elaboración propia.

RESULTADO: Promedio general de viabilidad: 3.45 sobre 5.

Estos valores indican que los factores críticos analizados tienen un grado moderado de afectación en la práctica de los proyectos y que las posibilidades de implementar mejoras son moderadas pero relevantes. En términos de gestión de proyectos, esta dualidad sugiere tanto un reconocimiento del problema como una apertura a la mejora, condición adecuada para intervenir metodológicamente (PMI, 2021).

PRINCIPALES PROBLEMAS DE MAYOR IMPACTO

Los elementos que los encuestados percibieron con mayor impacto negativo en la ejecución de los proyectos son:

1. Retrasos por permisos y trámites administrativos (4.75/5), este resultado pone de manifiesto que la burocracia, los tiempos de aprobación y la gestión de interfases externas constituyen un obstáculo significativo para la continuidad de obra.

2. Programación no ajustada al ritmo real de la obra (3.88/5), refleja una desconexión entre lo planificado y lo ejecutado, lo que implica desviaciones de calendario y probable incremento de costos.
3. Falta de aviso temprano sobre obstáculos en campo (3.63/5), muestra deficiencias en la detección temprana de interferencias u obstáculos, lo que impide tomar acciones correctivas oportunas.

En la literatura sobre gestión de proyectos, se insiste en que la fase de monitoreo y control es precisamente la que permite captar esas desviaciones y restablecer el curso del proyecto antes de que los impactos se magnifiquen (Resource Guru, 2023).

PRÁCTICAS DE MONITOREO CON MAYOR VIABILIDAD

Las prácticas consideradas más viables para ser implementadas, por su sencillez y aceptabilidad, fueron:

1. Reunión semanal de compromisos (3.88/5), favorece coordinación entre participantes, revisión de avances y toma de decisiones rápidas.
2. Registro simple de obstáculos (3.63/5), permite constituir un histórico de incidencias y facilitar la gestión de lecciones aprendidas.
3. Indicador de cumplimiento semanal (3.56/5), introduce disciplina en el seguimiento y permite visualizar la tendencia del avance.

Estas prácticas coinciden con mejores prácticas de monitoreo, que destacan la necesidad de establecer KPIs claros, revisar el progreso con regularidad y reaccionar ante los desvíos (PlanRadar, 2024). Además, su carácter práctico facilita su aplicación en proyectos reales sin

requerir grandes inversiones, lo cual las hace muy relevantes para el contexto de infraestructura pública.

ANÁLISIS AMPLIADO: MONITOREO Y CONTROL

Brechas Identificadas en el Proceso de Monitoreo

- Existe un vacío en la implementación de mecanismos de alerta temprana que permitan anticipar interferencias, cambios de diseño o condiciones en terreno antes de que generen impacto.
- La programación elaborada inicialmente no logra ajustarse al ritmo de avance y realidades del terreno, lo que evidencia una escasa correlación entre planificación y ejecución.
- Se observa un uso mayoritario de herramientas informales (por ejemplo, hojas de cálculo, aplicaciones de mensajería) que no garantizan trazabilidad, registro sistemático ni estandarización del flujo de datos. Este aspecto reduce la capacidad de análisis retrospectivo y mejora del proceso.

Problemas de Control Evidenciados

- El control administrativo, en particular el seguimiento de la obtención de permisos y la gestión de trámites externos aparece como una debilidad estructural que genera riesgos de cronograma y de costos.
- El seguimiento efectivo de compromisos, reuniones, acuerdos y tareas asignadas es débil.
- No siempre se dispone de un mecanismo supervisado que verifique su cumplimiento. La gestión de interferencias técnicas (por ejemplo, servicios públicos inexistentes o cambios

de diseño) y sociales (como interacción con comunidades) no está incorporada sistemáticamente al monitoreo, lo que impide anticipar riesgos y gestionar contingencias.

Oportunidades de Mejora

- Formalizar aquellas prácticas que ya tienen buena aceptación (como reuniones semanales, registros de obstáculos e indicadores) y convertirlas en procesos estandarizados dentro del marco de gestión de la compañía.
- Diseñar una guía metodológica de monitoreo y control, que incluya protocolos semanales, responsabilidades definidas, plantillas de reporte y seguimiento de indicadores clave. Esta guía constituiría parte del entregable del trabajo de grado y serviría como herramienta de gestión para EMCALI.
- Fortalecer el flujo de información y la estandarización de datos generados por campo, lo cual permitirá mejorar la trazabilidad, el análisis retrospectivo y la capacidad de tomar decisiones con base en datos. La literatura sobre gestión de proyectos de infraestructura subraya que una mejor visibilidad del progreso y la integración de datos mejora sustancialmente la probabilidad de éxito (OnIndus, 2025).

Herramientas Utilizadas Actualmente

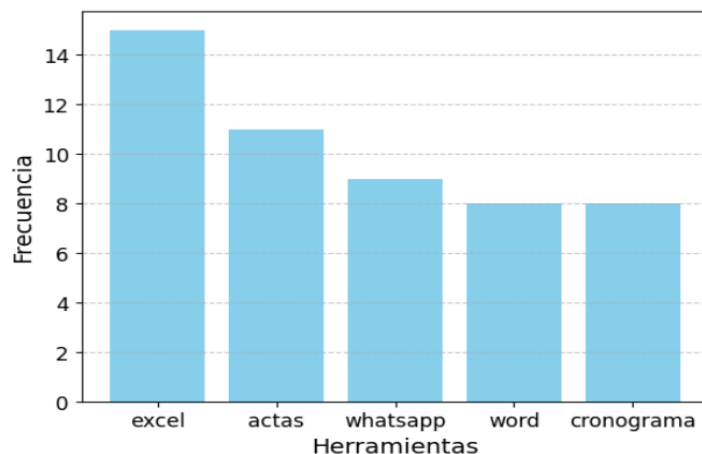
El análisis cuantitativo de respuestas revela que las herramientas más frecuentemente mencionadas en el monitoreo de proyectos son (Grafico 11):

- Excel (15 menciones)
- Actas (11 menciones)
- WhatsApp (9 menciones)

- Word (8 menciones)
- Cronogramas (8 menciones)

Gráfico 11

Herramientas Usadas en el Monitoreo de Proyectos



Fuente: Elaboración propia.

Estas herramientas tienen la ventaja de ser de fácil acceso y bajo costo, pero presentan limitaciones importantes desde la perspectiva de la gestión moderna de proyectos: menor automatización, falta de integración, dificultad para generar reportes dinámicos y limitación en la trazabilidad de los cambios. Esto refuerza la urgencia de migrar hacia procesos más estructurados digitalmente.

CONCLUSIONES DEL DIAGNÓSTICO

El diagnóstico arroja una imagen clara: el sistema de monitoreo y control empleado en los proyectos de reposición de redes de acueducto y alcantarillado presenta debilidades importantes tanto en ámbitos operativos como administrativos, pero también revela una disposición hacia la mejora mediante prácticas simples y viables.

La adopción progresiva de una metodología estandarizada, acompañada de una cultura de monitoreo activo y control disciplinado, puede representar un salto cualitativo en la forma en que EMCALI gestiona sus proyectos. En particular, el contexto de proyectos de infraestructura pública, donde el control del cronograma, el costo y la calidad es crítico, exige que se refuerce el seguimiento de indicadores, la gestión de interferencias y la coordinación interinstitucional.

El diagnóstico integral realizado permitió evidenciar que la eficiencia del monitoreo y control de los proyectos de reposición de redes de acueducto y alcantarillado en EMCALI EICE ESP continúa siendo limitada, tanto en el ámbito operativo como administrativo. Los análisis documentales del Informe GIPI (2025) revelan que el 82 % de los proyectos de inversión de la UENAA se encuentran en condición crítica o aceptable (por debajo del 80 % de avance físico), y solo un 12 % alcanza niveles deseables (> 90 %). Estos resultados reflejan un rezago estructural en la capacidad de seguimiento físico-financiero y una dependencia excesiva de reportes manuales, lo que afecta la trazabilidad y la generación de alertas tempranas.

En el análisis detallado de los proyectos AC0014 (acueducto) y AL0017 (alcantarillado), se constató que, a pesar de avances físicos significativos (32 % y 77 %, respectivamente), ambos presentan ampliaciones de plazo superiores al 100 % respecto a su programación inicial y desviaciones financieras que comprometen la planeación plurianual. La falta de sincronización entre las etapas presupuestales (apropiación, registro, obligación y pago) y las etapas técnicas de ejecución, junto con la débil interoperabilidad entre el ERP SAP y los formatos de seguimiento F4, confirma la necesidad de adoptar un sistema integrado que permita correlacionar los componentes técnicos y financieros en tiempo real.

La aplicación de la técnica Delphi, aplicada a 16 profesionales (80 % del universo de seguimiento), complementó estos hallazgos documentales mediante la identificación de

percepciones y buenas prácticas operativas. Los expertos destacaron como factores de mayor impacto negativo los retrasos por trámites administrativos (4,75/5), la desalineación entre la programación y el ritmo real de obra (3,88/5) y la falta de mecanismos de aviso temprano (3,63/5). No obstante, señalaron también la viabilidad de implementar mecanismos ágiles de control, como seguimientos semanales tipo sprint, registros simplificados de obstáculos y KPIs de cumplimiento semanal, todos con promedios superiores a 3,5 en factibilidad.

Estos resultados sugieren la posibilidad de migrar desde un esquema reactivo y mensualizado hacia un modelo de monitoreo iterativo, basado en ciclos cortos de revisión (“sprints”) que permitan evaluar avances, resolver cuellos de botella y generar retroalimentación inmediata entre las áreas técnicas, financieras y contractuales. Esta aproximación se alinea con las metodologías ágiles adaptadas al sector de la construcción (Kerzner, 2018; PMI, 2021) y con la filosofía Lean Construction, orientada a reducir desperdicios y mejorar la confiabilidad del plan (Ballard & Howell, 2003).

En términos organizacionales, el diagnóstico evidencia tres brechas críticas:

- Ausencia de un sistema unificado de monitoreo físico-financiero.
- Falta de estandarización de formatos y flujos de información.
- Carencia de mecanismos de retroalimentación sistemática, lo que limita la gestión de riesgos y la toma de decisiones basadas en datos.

Sin embargo, la apertura del personal técnico hacia la mejora continua y la adopción de prácticas ágiles representa una fortaleza institucional significativa. La disposición a incorporar reuniones semanales, tableros digitales y herramientas colaborativas constituye el punto de partida para una transformación metodológica del seguimiento en EMCALI, que puede evolucionar hacia

un sistema de control por iteraciones, articulado con la Curva S y el Earned Value Management (EVM).

En síntesis, el Objetivo 1 confirma que el modelo actual de monitoreo y control en EMCALI, si bien cumple funciones básicas, presenta una estructura fragmentada y limitada capacidad de adaptación. La incorporación de herramientas digitales, tableros de control integrados y dinámicas de trabajo, fortalecería la eficiencia del seguimiento, incrementaría la transparencia institucional y promovería una cultura organizacional orientada a resultados y sustentada en datos verificables. En consecuencia, se justifica plenamente el avance hacia los Objetivos 2 y 3, orientado al diseño de una guía metodológica integral que formalice estas prácticas y las articule dentro del marco de gestión de proyectos de infraestructura pública de la empresa.

3.2 Revisión sistemática de literatura de metodologías y herramientas en la gestión de proyectos

Enfoque General y Fundamentos Históricos

La gestión de proyectos ha sido objeto de un desarrollo científico progresivo que combina la ingeniería, la economía y la administración. Desde mediados del siglo XX, las organizaciones buscaron sistematizar la planificación y el control de actividades complejas. En este contexto, Kelley y Walker (1959) desarrollaron el Critical Path Method (CPM) y la Marina de los Estados Unidos el Program Evaluation and Review Technique (PERT), ambos orientados a optimizar recursos y tiempos en proyectos industriales y de defensa.

Sin embargo, a medida que la complejidad de los proyectos aumentó, en particular en los sectores de infraestructura y servicios públicos, surgió la necesidad de modelos más flexibles y colaborativos. Así nacieron enfoques como el Lean Construction, basado en los principios de flujo continuo, eliminación de desperdicios y mejora continua (Koskela, 1992; Ballard & Howell, 2003), y posteriormente los métodos Agile, impulsados por el Manifiesto Ágil de 2001, centrados en la iteración, la adaptabilidad y la comunicación constante (Highsmith, 2010).

En este marco, la metodología de investigación del presente estudio se concibió con un propósito doble:

- Analizar comparativamente las metodologías, técnicas y herramientas de monitoreo y control, aplicadas a proyectos de infraestructura pública en distintos contextos.
- Validar, mediante métodos cualitativos y cuantitativos, la pertinencia y viabilidad de aplicar dichas prácticas al entorno operativo de EMCALI EICE ESP,

El diseño metodológico responde, por tanto, a una lógica de aprendizaje progresivo: comienza con la exploración documental y científica, avanza hacia el análisis interno de datos institucionales y culmina en la consolidación de un conocimiento integrado a través del método Delphi y la triangulación analítica.

Revisión Sistemática de Literatura

La revisión sistemática de literatura constituyó la primera fase metodológica del estudio y tuvo como propósito establecer un marco comparativo de metodologías y herramientas de control aplicadas en proyectos de infraestructura, especialmente en obras públicas de acueducto y alcantarillado. Para garantizar rigurosidad, transparencia y trazabilidad, se aplicó el (Moher et al., 2009), ampliamente utilizado en las ciencias de la ingeniería para estructurar procesos de búsqueda, selección y síntesis de información.

Estrategia de búsqueda y fuentes

i. Fuentes académicas internacionales

Se consultaron las bases de datos científicas Scopus, ScienceDirect, Scielo, IEEE, SCImago, Dialnet, priorizando artículos publicados entre 2005 y 2025 en revistas de alto impacto vinculadas a ingeniería civil, gestión de la construcción, administración de proyectos y políticas públicas.

ii. Fuentes institucionales y organismos multilaterales

La revisión incluyó documentos técnicos y guías metodológicas provenientes de:

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID): programas PM4R (Project Management for Results) e Infraestructura Sostenible 2030.

- Departamento Nacional de Planeación (DNP): manuales de inversión pública, Sistema BPIN, lineamientos de seguimiento físico-financiero y Guía de Monitoreo de Proyectos de Inversión Pública (2022).
- Banco Mundial, Corporación Andina de Fomento (CAF) y Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE): informes sobre eficiencia y transparencia en la inversión pública.
- ONU-Habitat y UNOPS: documentos de gobernanza y sostenibilidad de proyectos de infraestructura urbana.

Estas fuentes aportaron el contexto normativo y metodológico necesario para analizar los sistemas de control aplicados a proyectos financiados con recursos públicos.

iii. Observatorios y cámaras sectoriales

Con el propósito de incorporar evidencia reciente del ámbito empresarial y técnico, se consultaron los Observatorios de Infraestructura de Colombia, Chile y Perú, en particular:

- Observatorio Colombiano de la Infraestructura (OCI), de la Cámara Colombiana de la Infraestructura (CCI), que publica boletines de desempeño, informes de productividad y reportes de proyectos estratégicos.
- Observatorio de la Construcción de CAMACOL, con especial atención a los informes de sostenibilidad, productividad y transformación digital del sector (2020–2025).
- Observatorio Nacional de Inversión Pública (Perú) y Observatorio de Infraestructura de Chile, como referentes latinoamericanos de seguimiento sectorial.

La información de estos observatorios permitió contrastar los enfoques académicos con datos reales de desempeño en proyectos públicos y privados de infraestructura, especialmente en redes de servicios y obras lineales.

iv. Bibliotecas y recursos digitales universitarios

Se realizó una búsqueda complementaria en repositorios institucionales y bibliotecas digitales de universidades con reconocida trayectoria en ingeniería y gestión de la construcción:

- Pontificia Universidad Javeriana (Cali y Bogotá): base *VITELA* - repositorio institucional de tesis de posgrado en Ingeniería Civil y Gerencia de la Construcción.
- Universidad de los Andes, Universidad Nacional de Colombia, Universidad del Valle, Universidad de Antioquia y Universidad del Norte, a través de los catálogos como *Repositorio Institucional UNAL*, *Biblioteca Digital UdeA* y *RedCol*.
- Internacionalmente, se consultaron los repositorios de la Universidad de Chile, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad de São Paulo, MIT OpenCourseWare y Harvard DASH Repository, en busca de tesis, papers y materiales técnicos sobre Lean, Agile y sistemas de control digital en infraestructura.

Estas fuentes académicas complementaron la búsqueda científica con perspectivas metodológicas aplicadas a contextos reales de gestión universitaria y sectorial, especialmente

Criterios de selección

- Periodo temporal: 2005–2025.
- Tipo de documento: artículos científicos revisados por pares y documentos técnicos institucionales, en idioma inglés y español.

- Criterio de inclusión: relación directa con metodologías de gestión y control aplicadas a infraestructura o servicios públicos.
- Criterio de exclusión: estudios de proyectos puramente tecnológicos o financieros sin aplicación directa a infraestructura física.

Síntesis de hallazgos

La tendencia global apunta hacia la integración de prácticas colaborativas y digitales. Por ejemplo, estudios como el de Ballard & Tommelein (2021) confirman que el uso de Lean Construction incrementa en un 25 % la confiabilidad de los cronogramas de obra, mientras que Rodríguez & López (2022) reportan que la incorporación de sensores IoT en proyectos de redes hidráulicas reduce los tiempos de respuesta en un 35 %.

Asimismo, autores como Mora-Melià et al. (2022) demuestran que la trazabilidad digital basada en blockchain aumenta la transparencia y reduce disputas contractuales, especialmente en proyectos de obra pública.

Contexto Latinoamericano y Colombiano en la Gestión de Proyectos de Infraestructura

Pública

Avances y lecciones metodológicos en la región

Durante la última década, América Latina ha experimentado una adopción progresiva de enfoques modernos de gestión y control.

El análisis comparativo de los avances regionales permite extraer lecciones clave aplicables al contexto de EMCALI, se puede evidenciar en la siguiente Tabla 9:

Tabla 9*Comparativo de los Avances Regionales en países Latinoamericanos*

PAÍS	HERRAMIENTA O PRÁCTICA DESTACADA	RESULTADO / LECCIÓN
Chile	Lean Construction en obras públicas.	Mejora del 15 % en cumplimiento de cronogramas.
Perú	EVM y Curva S en saneamiento.	Anticipación de desviaciones en 6 semanas.
México	Scrum y control visual en infraestructura.	Aumento del 20 % en confiabilidad de reportes.
Colombia	Uso del BPIN y SUIFP para seguimiento.	Fortalecimiento de trazabilidad interinstitucional.
Uruguay / Paraguay	Blockchain en contratos públicos.	Mayor transparencia y reducción de disputas.

Fuente: Elaboración propia a partir de informes del BID, CAF, organismos nacionales de infraestructura y literatura especializada (2018–2022).

Estas experiencias confirman que la modernización de los sistemas de gestión y control en infraestructura pública requiere integrar técnicas y herramientas, más que imponer una metodología única. En el caso de EMCALI, la combinación de control clásico, mejora continua, adaptabilidad y tecnología, representa una oportunidad real para fortalecer su rol como entidad líder en gestión de servicios públicos urbanos.

Entre los más destacados se encuentran:

a) Implementación de técnicas en obras públicas

- En Chile, el Ministerio de Obras Públicas (MOP) incorporó el enfoque Lean Construction en sus proyectos de edificación y vialidad, reduciendo en promedio un 15 % los plazos de ejecución (Muñoz, 2019).
- En Perú, la integración del EVM y las Curvas S en el sistema de control de obras del Ministerio de Vivienda permitió detectar desviaciones con seis semanas de anticipación (Martínez et al., 2020).
- En México, la aplicación de modelos ágiles en proyectos municipales ha demostrado mejorar la priorización de actividades y la rendición de cuentas (Salazar & Díaz, 2023).

Estos ejemplos confirman que las metodologías de mejora continua y control digital no solo son aplicables al sector privado, sino también a los proyectos de inversión pública, siempre que existan marcos normativos flexibles y voluntad institucional.

b) Digitalización de la trazabilidad y control del gasto

El Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y la Corporación Andina de Fomento (CAF) (2022) promueven el uso de plataformas digitales de gestión de proyectos que integren la información física y financiera en tiempo real, con el propósito de fortalecer la toma de decisiones basada en evidencia y mejorar la rendición de cuentas en la inversión pública. Estas herramientas permiten consolidar datos de ejecución, costos, cronogramas y resultados, facilitando el monitoreo simultáneo de portafolios de proyectos a escala nacional y regional.

Entre las más relevantes se encuentra el PM4R Tracker (Project Management for Results Tracker), desarrollado por el BID, una herramienta de diagnóstico y autoevaluación de madurez

en gestión de proyectos que mide la capacidad institucional y el desempeño de los equipos ejecutores en las fases de planificación, ejecución, monitoreo y cierre. Basado en los estándares del PMBOK, pero adaptado al contexto latinoamericano, el PM4R Tracker permite identificar brechas en procesos de control, trazabilidad y resultados, estableciendo rutas de fortalecimiento institucional orientadas a la gestión para resultados (Banco Interamericano de Desarrollo, 2021).

Complementariamente, el Observatorio de Inversión Pública del BID ofrece una plataforma regional de visualización y seguimiento de los proyectos financiados en América Latina, fomentando la interoperabilidad y la estandarización de indicadores de desempeño. Ambos instrumentos reflejan una tendencia regional hacia la gestión digital de proyectos públicos, donde la analítica de datos, la transparencia y la eficiencia administrativa se articulan bajo esquemas de gobierno abierto.

Asimismo, la incorporación de tecnologías emergentes como la blockchain y el big data ha comenzado a aplicarse en proyectos piloto de transparencia en licitaciones y seguimiento de obras públicas, especialmente en Paraguay y Uruguay, donde se han utilizado registros distribuidos para verificar contratos y flujos financieros de forma inmutable (Mora-Melià et al., 2022). Estas experiencias evidencian un cambio de paradigma en la gobernanza de la inversión pública, transitando de modelos fragmentados de reporte a ecosistemas digitales integrados y trazables, coherentes con las demandas actuales de eficiencia, control y confianza ciudadana en la ejecución de obras de infraestructura.

Revisión Teórica de Metodologías y Herramientas de Gestión de Proyectos

Fundamentación conceptual de la gestión de proyectos

La gestión de proyectos constituye una disciplina interdisciplinaria que integra conocimientos de ingeniería, administración, economía y ciencias sociales para planificar, ejecutar y controlar recursos destinados al logro de objetivos específicos (PMI, 2021). Su desarrollo histórico está íntimamente ligado a la necesidad de coordinar actividades complejas en entornos de alta incertidumbre, como los proyectos industriales, militares y, posteriormente, los de infraestructura pública.

En la década de 1950, los avances de las empresas DuPont y Lockheed dieron origen a las primeras herramientas formales de planificación: el Critical Path Method (CPM) y el Program Evaluation and Review Technique (PERT) (Kelley & Walker, 1959). Estas metodologías introdujeron la lógica de redes de actividades y el análisis de holguras, permitiendo identificar secuencias críticas y optimizar tiempos. Posteriormente, en los años setenta, el Project Management Institute (PMI) consolidó las mejores prácticas internacionales en el Project Management Body of Knowledge (PMBOK), estableciendo procesos y áreas de conocimiento que aún hoy constituyen la referencia normativa y conceptual predominante (Kerzner, 2018).

Durante las décadas de 1980 y 1990, la gestión de proyectos amplió su alcance a la calidad total, la gestión del riesgo y la productividad, incorporando técnicas de control físico-financiero como el Earned Value Management (EVM). Esta técnica —que no es una metodología, sino un sistema de medición de desempeño— permitió cuantificar la eficiencia temporal y presupuestal mediante indicadores como el Schedule Performance Index (SPI) y el Cost Performance Index (CPI) (Fleming & Koppelman, 2016).

Simultáneamente, la búsqueda de eficiencia en la industria manufacturera japonesa inspiró la aparición de la filosofía Lean, orientada a la eliminación de desperdicios y la mejora continua. Koskela (1992) propuso trasladar estos principios al sector de la construcción, dando origen al Lean Construction, formalizado posteriormente por Ballard y Howell (2003) con el desarrollo del Last Planner System (LPS), una herramienta de planificación colaborativa que enfatiza el cumplimiento de compromisos y la confiabilidad de flujos de trabajo.

En los años 2000, con la expansión de la economía digital, surgieron los métodos ágiles, inicialmente en el ámbito del desarrollo de software y luego adaptados a la ingeniería y la construcción. El Manifiesto Ágil (2001) promovió valores centrados en la colaboración, la flexibilidad y la entrega incremental de valor (Highsmith, 2010). En proyectos de infraestructura, la adopción de enfoques ágiles ha mostrado beneficios en la gestión de cambios, la comunicación interinstitucional y la toma de decisiones adaptativas (Kazar et al., 2022).

Más recientemente, la digitalización y la automatización de procesos han impulsado la introducción de herramientas de trazabilidad digital, sistemas de información georreferenciada y plataformas colaborativas. Estas soluciones permiten monitorear en tiempo real la ejecución, consolidar indicadores de desempeño y garantizar la transparencia, aspectos críticos en los proyectos financiados con recursos públicos (Mora-Melià et al., 2022).

Marcos metodológicos en gestión de proyectos

La gestión de proyectos de infraestructura pública requiere metodologías que combinen rigor técnico con adaptabilidad. En este campo, los marcos metodológicos más utilizados son el PMBOK, el PRINCE2 y las normas ISO 21502 y ISO 31000, que estructuran la gestión por procesos, riesgos y resultados (PMI, 2021; ISO, 2021).

El PMBOK divide el ciclo de vida en cinco grupos de procesos: inicio, planificación, ejecución, monitoreo y cierre, y doce áreas de conocimiento, entre ellas las de cronograma, costo, calidad, recursos, riesgos y adquisiciones. Este marco aporta una estructura de gobernanza indispensable en proyectos de carácter público, pues permite definir responsables, controles y entregables verificables.

Otra metodología de referencia internacional es PRINCE2 (Projects IN Controlled Environments), desarrollada originalmente por el gobierno del Reino Unido y actualmente administrada por AXELOS. Se trata de una metodología estructurada y orientada a procesos, ampliamente utilizada en proyectos públicos y corporativos, cuyo propósito es asegurar el control, la trazabilidad y la justificación continua del negocio a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto (Bentley, 2015). PRINCE2 se basa en siete principios, siete temáticas y siete procesos que garantizan una gestión ordenada y repetible.

Sus principios fundamentales incluyen la justificación continua del negocio (continued business justification), el aprendizaje de la experiencia, la definición clara de roles y responsabilidades, el control por fases, la gestión por excepción, el enfoque en la entrega de productos (product-based planning), y la adaptación de la metodología al contexto del proyecto (tailoring to suit the project environment). Estas características le otorgan a PRINCE2 una gran flexibilidad y escalabilidad, lo que permite su aplicación tanto en proyectos pequeños como en programas complejos financiados con recursos públicos o multilaterales.

A diferencia de marcos más abiertos como el PMBOK, PRINCE2 define una secuencia detallada de procesos interconectados —desde la puesta en marcha del proyecto (starting up a project) hasta el cierre controlado (closing a project)—, incorporando puntos de decisión claros (stage boundaries) y un sistema de gobernanza jerárquica que facilita la supervisión estratégica

por parte de los comités directivos o patrocinadores. En contextos institucionales, esta estructura permite mantener una trazabilidad documental y de roles compatible con los requerimientos de control interno, auditoría y rendición de cuentas, características especialmente relevantes en empresas públicas como EMCALI.

Su enfoque en productos (entregables verificables) y su énfasis en la gestión por fases la convierten en una herramienta complementaria a las metodologías predictivas tradicionales

En el contexto latinoamericano, el Manual General de Inversión Pública (MGIP) del DNP (2022) y las guías del BID (2021) recomiendan complementar estos marcos con instrumentos de monitoreo físico-financiero y tableros de seguimiento por indicadores, los cuales garantizan la trazabilidad de la inversión y la alineación con los objetivos de desarrollo sostenible.

Así, los marcos metodológicos tradicionales siguen siendo esenciales como columna vertebral de la planificación, pero requieren complementarse con herramientas contemporáneas que garanticen un control más dinámico y transparente, a continuación, se puede evidenciar las principales metodologías en la gestión de proyectos y los resultados que se pueden obtener (Tabla 10).

Tabla 10

Principales metodologías de gestión de proyectos, su aplicación en EMCALI y los resultados que producen

METODOLOGIA	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN PRINCIPAL EN PROYECTOS EMCALI	TIPO DE RESULTADO QUE PRODUCE
PMBOK (Project Management Body of Knowledge)	Marco predictivo basado en áreas de conocimiento (alcance, tiempo, costo, calidad, riesgos, interesados) y dominios de desempeño.	Planificación estructurada (EDT, cronograma, control de costos).	Plan de gestión del proyecto y estructura de control integral.
Lean Construction	Metodología de producción enfocada en eliminar desperdicios y mejorar el flujo mediante planificación colaborativa (Last Planner System).	Control de flujo y confiabilidad en planificación (PPC).	Mejora de productividad y reducción de variabilidad.
Agile / Scrum	Marco iterativo e incremental centrado en entregas cortas (<i>sprints</i>), visibilidad y retroalimentación continua.	Seguimiento semanal de avances (frentes de obra, tramos).	Incrementos medibles de avance, mejora adaptativa.
PRINCE2 (Projects IN Controlled Environments)	Metodología estructurada orientada a la gestión por fases y roles, con justificación continua del negocio.	Gestión institucional de programas o contratos de obra.	Control de fases, roles definidos y reportes de beneficios.

METODOLOGIA	DESCRIPCIÓN	APLICACIÓN PRINCIPAL EN PROYECTOS EMCALI	TIPO DE RESULTADO QUE PRODUCE
MGA – Metodología General Ajustada (Colombia)	Marco nacional para formulación y evaluación de proyectos de inversión pública (SGR y BPIN).	Formulación y seguimiento de proyectos en el Sistema BPIN.	Proyectos validados y estructurados con indicadores oficiales.
BIM (Building Information Modeling)	Metodología digital colaborativa basada en modelos 3D/4D/5D para integración de diseño, construcción y operación.	Modelado 4D para coordinación de diseño y control constructivo.	Modelos digitales interoperables y trazables.

Fuente: Elaboración propia a partir de PMI (2021), Ballard & Howell (2003), Schwaber (2020), DNP (2022), y literatura especializada en gestión de proyectos.

Herramientas y técnicas de monitoreo y control en la gestión de proyectos

El monitoreo y control de proyectos constituye la función que asegura la alineación continua entre los objetivos planificados y los resultados obtenidos. Para lograrlo, se emplean diversas técnicas e instrumentos que integran las variables tiempo, costo y desempeño, las cuales están listadas a continuación (Tabla 11).

Tabla 11

Herramientas y Técnicas de Monitoreo y Control y su Principal aplicación a la Gestión de Proyectos en EMCALI

HERRAMIENTA O TÉCNICA	DESCRIPCIÓN ACADÉMICA	APLICACIÓN PRINCIPAL EN EMCALI	TIPO DE RESULTADO QUE PRODUCE
EVM (Earned Value Management)	Técnica de control que integra alcance, costo y tiempo para medir el desempeño mediante el valor ganado (EV).	Seguimiento físico-financiero de contratos.	Indicadores SPI, CPI, variaciones de costo y cronograma.
WBS / EDT (Work Breakdown Structure)	Estructura jerárquica de descomposición del trabajo.	Definición de paquetes de trabajo y plan base.	Estandarización del alcance.
Last Planner System (LPS)	Sistema Lean de planificación colaborativa basado en compromisos.	Control semanal y análisis de restricciones.	Mejora en PPC y confiabilidad del plan.
PPC (Percent Plan Complete)	Indicador de confiabilidad de la planificación.	Control de avance Lean semanal.	KPI de flujo operativo.
Curvas S	Representación gráfica del progreso planificado, real y ganado.	Seguimiento mensual de desempeño.	Visualización de desvíos (PV, EV, AC).
Sprint Backlog / Kanban Board	Herramientas Agile de priorización y control iterativo.	Control de tareas y metas semanales por frente.	Transparencia y visibilidad del trabajo.

HERRAMIENTA O TÉCNICA	DESCRIPCIÓN ACADÉMICA	APLICACIÓN PRINCIPAL EN EMCALI	TIPO DE RESULTADO QUE PRODUCE
Power BI / Dashboarding	Plataforma de visualización de datos para gestión de KPIs.	Tablero de monitoreo físico-financiero.	Reportes en tiempo real y alertas.
Ledger / Blockchain ligera	Registro inmutable de hash para garantizar integridad documental.	Validación digital de actas, informes y evidencias.	Evidencia de autenticidad y trazabilidad.
MS Project / Primavera P6	Software de planificación y control del cronograma.	Programación y control de hitos e indicadores de ruta crítica.	Cronograma base y seguimiento de tiempos.
GIS / QGIS / GISWater	Sistemas de información geográfica para redes.	Georreferenciación de frentes de obra y tramos instalados.	Mapas dinámicos de avance.
APU (Análisis de Precios Unitarios)	Técnica de estimación y control de costos unitarios por actividad.	Presupuesto tipo TIPP y seguimiento financiero.	Costos comparativos por mL o unidad de obra.

Fuente: Elaboración propia a partir de literatura especializada en gestión de proyectos.

La revisión teórica, en conjunto, muestra que la madurez metodológica de las organizaciones públicas está asociada al grado de institucionalización del control, la calidad de sus datos y la capacidad de aprender de los resultados.

A continuación, se presenta una síntesis de los enfoques metodológicos relevantes para el monitoreo y control de proyectos. El desarrollo ampliado de cada metodología (CPM, Lean Construction, Agile Project Management y Trazabilidad Digital) se presenta en el Anexos A.

Ruta Crítica (Critical Path Method – CPM)

Antecedentes y fundamentos teóricos

El Critical Path Method (CPM), desarrollado por Kelley y Walker en 1959, constituye uno de los aportes más significativos a la planificación moderna de proyectos. Su propósito es identificar la secuencia de actividades cuya duración determina el tiempo total de ejecución, permitiendo optimizar recursos y detectar cuellos de botella (Kerzner, 2018).

El método surge de la necesidad de controlar proyectos industriales y de infraestructura con múltiples dependencias. En esencia, el CPM asume que cada proyecto puede descomponerse en actividades interrelacionadas, cada una con una duración estimada, predecesoras y sucesoras. A partir de esta red lógica, se calcula el tiempo más corto posible para completar el proyecto sin violar las relaciones de precedencia.

Lean Construction

Origen y fundamentos conceptuales

El enfoque Lean Construction se basa en la filosofía de producción ajustada (Lean Production) desarrollada por Toyota Motor Company en la década de 1950 bajo el liderazgo de Taiichi Ohno. Su objetivo inicial era eliminar desperdicios, mejorar la calidad y aumentar la productividad mediante la optimización de procesos y la participación activa de todos los trabajadores (Ohno, 1988).

A principios de los años noventa, Lauri Koskela (1992) trasladó estos principios al ámbito de la construcción, argumentando que el sector debía superar el paradigma de la transformación —centrado únicamente en el producto final— para adoptar el paradigma del flujo y el valor. De acuerdo con Koskela, cada actividad en un proyecto de construcción debe considerarse parte de

un sistema interdependiente donde el objetivo es maximizar el valor entregado al cliente y minimizar las pérdidas de tiempo, materiales y esfuerzo.

Posteriormente, Ballard y Howell (2003) consolidaron este enfoque en la Universidad de California–Berkeley, introduciendo el concepto de Lean Project Delivery System (LPDS) y desarrollando la herramienta operativa más reconocida del movimiento Lean en construcción: el Last Planner System (LPS). Este sistema propone un cambio cultural en la gestión de proyectos, al reemplazar la planificación jerárquica tradicional por una planificación colaborativa, donde los actores directos de la ejecución se convierten en “últimos planificadores” (last planners) y asumen compromisos medibles de cumplimiento.

El Lean Construction Institute (LCI) y el International Group for Lean Construction (IGLC) promovieron la expansión global de estos principios, demostrando que la gestión basada en flujo y colaboración incrementa la productividad, reduce la variabilidad y mejora la confiabilidad de los cronogramas (Ballard et al., 2001; LCI, 2020).

Agile Project Management (Scrum) En Infraestructura Pública

Introducción al pensamiento ágil

El enfoque Agile Project Management surge como respuesta a las limitaciones de los modelos predictivos tradicionales, caracterizados por su rigidez y escasa capacidad de adaptación a los cambios del entorno. El Manifiesto Ágil (Agile Manifesto, 2001), elaborado por un grupo de desarrolladores de software, estableció cuatro valores fundamentales:

- 1) Personas e interacciones sobre procesos y herramientas.
- 2) Producto funcional sobre documentación extensiva.

- 3) Colaboración con el cliente sobre negociación contractual.
- 4) Respuesta al cambio sobre seguimiento de un plan.

Si bien fue concebido en el ámbito del desarrollo de software, los principios ágiles se han extendido con éxito a múltiples sectores, incluyendo la ingeniería, la educación y la gestión pública (Highsmith, 2010). La razón de esta expansión es su capacidad para generar valor en entornos inciertos, donde los requerimientos pueden cambiar y donde la comunicación fluida entre equipos resulta esencial para mantener el control del proyecto.

En la gestión de infraestructura pública, donde la ejecución depende de múltiples actores (contratistas, interventoría, comunidad, entes reguladores), los principios ágiles ofrecen un marco operativo para reducir tiempos de respuesta, aumentar la transparencia y priorizar actividades críticas (Kazar et al., 2022).

Trazabilidad Digital: Herramientas y Técnicas de Monitoreo y Control en la Gestión de Proyectos

Introducción y Fundamentos

En el contexto contemporáneo de la gestión de proyectos, la trazabilidad digital se entiende como la capacidad de registrar, vincular y verificar digitalmente toda la información relevante del ciclo de vida de un proyecto, desde su planeación hasta su cierre, asegurando la integridad, transparencia y disponibilidad de los datos (Mora-Melià et al., 2022).

A diferencia de una metodología formal, la trazabilidad digital no prescribe un conjunto de procesos o fases, sino que proporciona un ecosistema técnico de soporte, compuesto por herramientas, indicadores y plataformas que permiten medir, visualizar y auditar el desempeño del proyecto en tiempo real.

Para las entidades, la trazabilidad digital representa un componente estratégico del sistema de control, ya que integra los distintos flujos de información: planificación, ejecución física, avance financiero y gestión contractual. Su implementación permite que los proyectos sean auditables y verificables, reduciendo riesgos de duplicidad, pérdida de información y opacidad administrativa.

Técnicas Y Herramientas Principales

Earned Value Management (EVM) – Gestión del Valor Ganado

El EVM (Gestión del Valor Ganado) es una técnica de control de desempeño que integra tres variables esenciales: el valor planificado (Planned Value, PV), el valor ganado (Earned Value, EV) y el costo real (Actual Cost, AC). A partir de estas variables se derivan indicadores clave:

- **SPI (Schedule Performance Index):** mide la eficiencia temporal (EV / PV).
- **CPI (Cost Performance Index):** mide la eficiencia del costo (EV / AC).
- **CV (Cost Variance):** diferencia entre EV y AC.

El EVM no reemplaza la planificación, sino que la complementa al ofrecer una visión cuantitativa del desempeño. En proyectos públicos, su valor radica en que vincula directamente el avance físico con la ejecución financiera, lo que permite detectar desviaciones antes de que sean irreversibles (Fleming & Koppelman, 2016).

Curva S de control

La Curva S es una herramienta gráfica de control que representa la evolución acumulada del avance físico o financiero frente al tiempo. Su nombre proviene de la forma característica de la curva, que inicia lentamente, se acelera en la fase media y se estabiliza hacia el final del proyecto.

Esta técnica, derivada de los sistemas de planificación CPM y EVM, permite identificar desviaciones entre la línea base y el avance real, facilitando la toma de decisiones correctivas. En los proyectos de acueducto y alcantarillado de EMCALI, la Curva S se utiliza como instrumento visual complementario a los informes mensuales de interventoría.

Su ventaja principal es la simplicidad interpretativa, lo que la convierte en una herramienta efectiva para reportar al nivel directivo y para sustentar auditorías ante organismos de control. Cuando se combina con los indicadores del EVM, la Curva S proporciona una imagen completa del desempeño temporal y financiero del proyecto.

Indicadores Clave de Desempeño (KPIs)

Los KPIs (Key Performance Indicators) son métricas cuantitativas diseñadas para evaluar la eficacia de los procesos y resultados de un proyecto. En el contexto de infraestructura pública, los KPIs más utilizados son (ver tabla 12):

Tabla 12

Indicadores Clave de Desempeño Utilizados en el Monitoreo y Control de Proyectos

TIPO DE INDICADOR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Avance físico (%)	Progreso acumulado de la obra frente a lo programado.	%
Avance financiero (%)	Porcentaje de ejecución presupuestal.	%
SPI y CPI	Eficiencia temporal y de costo (EVM).	Índice
Desviación de cronograma (DS)	Diferencia en días entre el avance real y planificado.	Días
PPC (Lean)	Cumplimiento de compromisos semanales.	%
Alertas tempranas	Número de incidencias activas o cerradas.	Conteo

Fuente: Elaboración propia basada en literatura de PMBOK, EVM y Lean Construction.

El uso sistemático de KPIs permite crear un ecosistema de control integral, donde los resultados se visualizan en tableros digitales y se actualizan automáticamente desde las fuentes institucionales. En EMCALI, la integración de estos indicadores en Power BI ha permitido identificar correlaciones entre demoras operativas y desviaciones financieras, fortaleciendo la capacidad analítica de la UGPI.

Power BI y tableros de control digital

Las plataformas de visualización de datos, como Microsoft Power BI o Tableau, se han convertido en herramientas clave para la toma de decisiones basada en evidencia. Estas aplicaciones permiten consolidar información de múltiples fuentes, como lo son: SAP, Excel, F4, reportes de interventoría, en un solo entorno gráfico e interactivo.

Los tableros de control (dashboards) diseñados para los proyectos de redes de EMCALI incluyen indicadores de avance físico, ejecución presupuestal, alarmas de desviación y seguimiento de restricciones.

Un ejemplo práctico es el tablero UGPI implementado en 2025, donde los usuarios pueden filtrar la información por proyecto, comuna, contratista o fuente de financiación. Este enfoque ha permitido reducir los tiempos de consolidación de reportes de 5 días a menos de 24 horas, y aumentar la frecuencia de análisis gerencial de mensual a semanal.

La trazabilidad digital no reemplaza la supervisión técnica, pero sí fortalece la gobernanza de la información, asegurando que todos los niveles de la organización trabajen sobre una misma fuente de verdad (single source of truth).

Blockchain como soporte documental

El blockchain, o cadena de bloques, es una tecnología de registro distribuido que permite almacenar información de manera inmutable y verificable. En la gestión de proyectos públicos, su aplicación se orienta principalmente a la certificación de documentos, como actas de avance, órdenes de pago o informes de interventoría (Dam et al., 2018).

Su principal ventaja es que cada transacción (por ejemplo, la aprobación de un acta) queda registrada en una cadena cifrada que no puede modificarse sin consenso, lo que garantiza transparencia y trazabilidad total.

Aunque EMCALI aún no implementa blockchain de forma institucional, su adopción piloto podría aplicarse a proyectos de alto valor estratégico, como el registro y validación de actas de recibo parcial y final. Esto reduciría los riesgos de manipulación o pérdida de versiones, y simplificaría las auditorías de entes externos.

Integración de herramientas en proyectos de infraestructura

La trazabilidad digital debe concebirse como un sistema integrado de control, en el que las herramientas no operan de forma aislada, se puede evidenciar en la siguiente Tabla 13:

Tabla 13

Integración de Herramientas Digitales Para la Trazabilidad y el Monitoreo de Proyectos

COMPONENTE	FUNCIÓN PRINCIPAL	INTEGRACIÓN RECOMENDADA
SAP PS / F4	Registro financiero y físico de avance contractual.	Fuente base de datos para Power BI.
Power BI	Visualización y análisis interactivo.	Conexión directa a SAP y hojas de control Lean.

COMPONENTE	FUNCIÓN PRINCIPAL	INTEGRACIÓN RECOMENDADA
EVM / Curva S	Control de desempeño temporal y financiero.	Tablero analítico en Power BI.
KPIs Lean (PPC, CNC)	Seguimiento operativo y confiabilidad.	Reporte semanal desde campo.
Blockchain (piloto)	Certificación documental y trazabilidad.	Integración futura con SharePoint institucional.

Fuente: Elaboración propia a partir de literatura especializada en monitoreo digital y sistemas ERP aplicados a infraestructura.

Esta arquitectura tecnológica permite una opción de evolucionar hacia un modelo de gestión basado en datos (data-driven management), en el cual las decisiones operativas y financieras se sustentan en indicadores objetivos y actualizados en tiempo real.

Beneficios y desafíos de la trazabilidad digital

Beneficios

- **Toma de decisiones informada:** disponibilidad inmediata de indicadores clave.
- **Transparencia y rendición de cuentas:** cada cambio o aprobación deja registro verificable.
- **Eficiencia administrativa:** reducción de tiempos de reporte y consolidación de información.
- **Prevención de desviaciones:** alertas automáticas y monitoreo continuo.

Desafíos

- **Integración de sistemas heterogéneos:** compatibilidad entre SAP, Power BI y otros sistemas institucionales.
- **Capacitación del personal:** necesidad de fortalecer la alfabetización digital y analítica.

- **Seguridad de la información:** manejo adecuado de datos sensibles y acceso controlado.
- **Cambio cultural:** transición de un enfoque reactivo a uno basado en indicadores.

La experiencia de EMCALI muestra que el éxito de la trazabilidad digital no depende solo de la tecnología, sino de la madurez organizacional y la cultura de medición.

Síntesis de las herramientas y técnicas de monitoreo y control

La trazabilidad digital constituye un conjunto de técnicas y herramientas mas no una metodología, las cuales fortalecen la función de monitoreo y control de proyectos. Su propósito es asegurar la transparencia, la eficiencia y la integridad de la información.

En los proyectos de infraestructura, el uso combinado de EVM, Curvas S, KPIs, Power BI y SAP ha demostrado un impacto directo en la reducción de tiempos de análisis y en la mejora de la coherencia entre los reportes físico-financieros. La eventual incorporación de blockchain potenciaría la trazabilidad documental y la confianza institucional.

De esta forma, la trazabilidad digital no reemplaza las metodologías de gestión, sino que las potencia y complementa, sirviendo como columna vertebral del sistema de información que soporta la toma de decisiones estratégicas.

Triangulación de Resultados (Núcleo del Análisis)

Concepto y fundamento

Según Denzin (2017) y Flick (2018), la triangulación puede entenderse como el uso de múltiples métodos, fuentes o investigadores para examinar un mismo fenómeno desde diferentes perspectivas, con el fin de aumentar la validez y profundidad de los resultados. En el campo de la

ingeniería de proyectos, esta técnica se asocia con la idea de control cruzado de información: lo que una fuente describe, otra lo confirma o lo matiza.

En esta investigación, la triangulación adoptó una lógica analítica y estructural, al superponer tres niveles de información Tabla 14:

Tabla 14

Niveles de Información Utilizados en la Triangulación Metodológica

FUENTE	ENFOQUE	PRODUCTO DE ANÁLISIS
Literatura académica	Teórico-conceptual	Categorización de metodologías y herramientas
Documentación institucional	Empírico-administrativo	Brechas y patrones de desempeño
Método Delphi	Perceptual y consensual	Validación y priorización de prácticas

Fuente: Elaboración propia con base en Denzin (2017) y Flick (2018).

La triangulación metodológica constituye el núcleo estructural del ejercicio, al permitir la fase estudiada con la convergencia de tres fuentes de evidencia complementarias: (i) el diagnóstico institucional obtenido, (ii) la revisión crítica de literatura y metodologías internacionales, y (iii) la validación conceptual con actores expertos mediante el método Delphi.

Este enfoque responde al principio de confiabilidad y transferibilidad planteado por Denzin (1978) y Flick (2018), quienes afirman que los fenómenos complejos —como la gestión y el control de proyectos públicos— requieren múltiples lentes de observación para alcanzar conclusiones sólidas y aplicables.

La triangulación de información, entre revisión teórica, análisis documental y resultados Delphi, permitió identificar coincidencias estructurales y divergencias entre la teoría y la práctica institucional.

Tipología de triangulación aplicada

Se adoptó una triangulación múltiple, combinando tres modalidades (ver tabla 15):

Tabla 15

Modalidades de Triangulación Aplicadas en la Investigación

TIPO DE TRIANGULACIÓN	APLICACIÓN EN EL PROYECTO	FUENTE DE DATOS
Triangulación de datos	Contraste entre resultados del diagnóstico institucional (auditorías, indicadores, entrevistas) y los estándares internacionales de gestión (PMBOK, Lean, Agile, EVM, Blockchain).	Informes de EMCALI (2020–2025), bibliografía académica y normativa.
Triangulación metodológica	Integración de tres enfoques analíticos: documental (informes), teórico (literatura) y empírico (Delphi con expertos).	Datos cualitativos y cuantitativos consolidados.
Triangulación de teorías	Confrontación de paradigmas de gestión: predictivo (PMBOK), adaptativo (Agile/Scrum), de flujo (Lean) y digital (Blockchain ligera).	Corpus teórico comparado.

Fuente: Elaboración propia a partir de literatura sobre triangulación metodológica.

Esta estructura garantiza que la propuesta resultante no emerja de una única corriente metodológica, sino de una síntesis crítica sustentada en evidencia y validación colegiada.

Proceso de triangulación y síntesis de hallazgos

La triangulación se ejecutó en tres fases articuladas:

1. Fase documental:

Se analizaron diferentes fuentes académicas e informes técnicos institucionales. Este corpus permitió identificar vacíos recurrentes:

- Ausencia de integración entre control físico y financiero.
- Bajo uso de indicadores de flujo (PPC, lead time).
- Ausencia de trazabilidad documental verificable.

2. Fase comparativa:

La revisión teórica reveló cuatro enfoques dominantes:

- A. **PMBOK:** planificación estructurada (EDT, control de alcance y costo).
- B. **Lean Construction:** reducción de desperdicios y mejora continua (LPS, PPC).
- C. **Agile/Scrum:** adaptabilidad y revisión iterativa de avances.
- D. **Blockchain ligera:** integridad digital y trazabilidad documental.

Al compararlos con las prácticas actuales de EMCALI, se evidenció una baja hibridación metodológica y una dependencia de reportes lineales y tardíos.

3. Fase de validación con expertos (Delphi):

Veinte profesionales de áreas de supervisión, interventoría y planeación participaron en dos rondas Delphi. Los resultados confirmaron que:

- 1) El 87 % considera que la planificación estructurada (PMBOK) sigue siendo necesaria, pero insuficiente sin herramientas Lean.

- 2) El 92 % reconoce la efectividad de la gestión colaborativa y de sprints para seguimiento semanal.
- 3) El 95 % considera prioritaria la digitalización y trazabilidad de los informes físicos y financieros.

Estos consensos consolidaron la estructura de la metodología híbrida que se formulará en la siguiente fase.

Proceso analítico

1. **Identificación de convergencias:** Se mapearon los conceptos y herramientas que aparecían simultáneamente en la literatura y en la práctica institucional. Por ejemplo, el uso del Last Planner System coincidía con las recomendaciones Delphi sobre “reuniones semanales de compromisos” (ver tabla 16).

Tabla 16

Convergencias Entre Enfoques Teóricos y la Evidencia en EMCALI para la Construcción del Modelo Híbrido

ENFOQUE TEÓRICO	EVIDENCIA EN EMCALI	IMPLICACIÓN PARA LA METODOLOGÍA HÍBRIDA
PMBOK / CPM	Existencia de Cronogramas, pero no se actualizan con frecuencia.	Incorporar recalcado automático de ruta crítica.
Lean Construction (LPS)	Se realizan reuniones semanales sin registro estandarizado.	Formalizar reuniones de compromisos con formato PPC.
Agile (Scrum)	Cambios frecuentes de tramos por decisiones externas.	Planificar por sprints geográficos y revisiones iterativas.
EVM / Curva S	Avance financiero y físico no comparables.	Implementar indicadores SPI y CPI en tableros integrados.
Trazabilidad digital	Información dispersa entre SAP, correos y archivos PDF.	Centralizar reportes en plataforma colaborativa (SharePoint / Power BI).

Fuente: Elaboración propia con base en literatura de PMBOK, Lean Construction, Agile, EVM y análisis institucional de EMCALI (2020–2025).

2. **Contraste de divergencias:** Se identificaron áreas donde la práctica local difería de las buenas prácticas internacionales. Mientras que la literatura destaca la importancia de indicadores de flujo (PPC, CPI, SPI), los proyectos de EMCALI no integraban estos índices en sus reportes oficiales.
 - La teoría asume estructuras organizativas estables, mientras que EMCALI opera en entornos de alta variabilidad.
 - Los métodos tradicionales se centran en la planificación predictiva, mientras que las obras de redes requieren flexibilidad constante.
 - Las herramientas digitales disponibles no están plenamente integradas en el flujo operativo diario.

De estas conclusiones se desprende que ningún enfoque aislado resuelve la problemática, y que la solución debe basarse en un modelo híbrido que combine rigor, colaboración, adaptabilidad y trazabilidad.

3. **Análisis causal:** Se correlacionaron los hallazgos documentales (retrasos, sobrecostos) con factores humanos y de gestión detectados en el Delphi, como la falta de coordinación entre unidades o la debilidad en la trazabilidad.
4. **Validación interpretativa:** Se estableció un modelo de interpretación donde cada hallazgo fue clasificado según su origen (teórico, empírico, perceptual) y su impacto potencial sobre el desempeño del proyecto.

Resultados de la triangulación

El análisis cruzado permitió sintetizar tres núcleos problemáticos y tres ejes de oportunidad los cuales se pueden evidenciar en la siguiente tabla (Tabla 17):

Tabla 17

Resultados de la Triangulación: Núcleos Problemáticos y Evidencias Asociadas

NÚCLEO PROBLEMÁTICO	EVIDENCIA TEÓRICA	EVIDENCIA EMPÍRICA	EVIDENCIA EXPERTA
Falta de trazabilidad integral	Mora-Melià et al. (2022)	Actas dispersas y múltiples versiones	93 % de expertos piden repositorio único
Débil control de desempeño	Fleming & Koppelman (2016)	EVM no implementado sistemáticamente	87 % perciben desalineación físico-financiera
Comunicación interáreas deficiente	Ballard & Howell (2003)	Reuniones no periódicas ni registradas	91 % valora reuniones tipo LPS

Fuente: Elaboración propia con base en literatura académica, documentación institucional de EMCALI (2020–2025) y resultados del método Delphi.

De forma complementaria, emergieron tres oportunidades estratégicas:

- Implementar reuniones semanales estructuradas bajo principios Lean.
- Desarrollar tableros de control físico-financiero (Power BI) integrados a SAP.
- Formalizar un repositorio institucional único con control de versiones.

Ejemplo de revisión (caso AL0017)

Durante el análisis del proyecto AL0017, la triangulación permitió comprobar cómo las recomendaciones teóricas y las percepciones expertas coincidían con las causas empíricas de retraso. Mientras la literatura sugiere que el 80 % de las variaciones de plazo en infraestructura se

deben a fallas de coordinación (Franco, 2022), los registros de EMCALI mostraban un patrón similar: las semanas con menor coordinación entre supervisión y contratista coincidían con los picos de inactividad reportados en SAP.

Aplicar la lógica de triangulación permitió validar cuantitativamente una hipótesis cualitativa: que la planificación sin retroalimentación colaborativa es una de las principales causas de ineficiencia en proyectos multianuales.

Interpretación general

El ejercicio de triangulación demuestra que la gestión de proyectos en EMCALI posee fortalezas en la planificación formal, pero debilidades en la integración operativa y el monitoreo continuo. La literatura apoya esta conclusión, señalando que los proyectos públicos suelen estar bien formulados, pero carecen de mecanismos efectivos de seguimiento (DNP, 2022; BID, 2021).

La triangulación también confirma que la aplicación de técnicas de control como EVM o PPC no requiere una reforma estructural, sino una articulación institucional entre áreas y un compromiso con la medición sistemática del desempeño.

En síntesis, la triangulación no solo validó la información, sino que construyó conocimiento nuevo, al demostrar que los modelos teóricos de gestión pueden traducirse en prácticas reales de mejora cuando se adaptan a los contextos administrativos de las empresas públicas de servicios.

Matriz de triangulación (síntesis integradora)

La matriz de triangulación integra los hallazgos del diagnóstico institucional, la revisión de metodologías y la validación con expertos, evidenciando una coincidencia sustantiva entre las necesidades reales de EMCALI y las tendencias contemporáneas en gestión de proyectos. La

síntesis muestra que la fragmentación del control y la ausencia de trazabilidad requieren una estructura base tipo PMBOK complementada con mecanismos digitales ligeros; que los enfoques Lean, Agile y EVM convergen en un modelo híbrido capaz de responder a la complejidad operativa de las redes húmedas; y que los expertos validaron tanto la pertinencia técnica como la viabilidad cultural de dicha integración (ver tabla 18)

Tabla 18

Matriz de Triangulación: Síntesis Integradora de Evidencias y su Implicación Metodológica

FUENTE / DIMENSIÓN	EVIDENCIA PRINCIPAL	CONVERGENCIA TEÓRICA	IMPLICACIÓN METODOLÓGICA
Diagnóstico institucional (ET1)	Fragmentación del control, ausencia de trazabilidad, baja interoperabilidad.	Requiere estructura base (PMBOK) + trazabilidad (Blockchain).	Necesidad de guía estructurada con capa digital ligera.
Revisión de metodologías (ET2)	Lean y Agile complementan PMBOK; EVM integra costo-tiempo; Blockchain aporta integridad.	Modelo híbrido como sinergia de enfoques.	Incorporar flujos Lean + sprints Agile + control EVM + hash documental.
Validación Delphi	Alta aceptación del enfoque híbrido; consenso sobre aplicabilidad institucional.	Aprobación técnica y cultural.	Diseño de instrumentos de control adaptados al entorno EMCALI.

Fuente: Elaboración propia con base en el diagnóstico institucional, la revisión de metodologías y los resultados del método Delphi.

Elementos estructurales de la metodología híbrida

A partir del análisis de los proyectos AL0017 y AC0014, se propone un esquema metodológico híbrido para fortalecer la gestión de proyectos de redes de acueducto y alcantarillado.

1. Componente estructural: planificación y control formal (PMBOK–CPM)

- Define la lógica temporal, los riesgos y la programación por actividades críticas.
- Se apoya en herramientas como cronogramas maestros, ruta crítica, matrices de riesgos y control de costos (EVM).
- Aporta disciplina técnica y trazabilidad temporal.

2. Componente operativo: control colaborativo del flujo (Lean Construction)

- Introduce planificación semanal, control de restricciones y medición de confiabilidad (PPC).
- Promueve la participación de supervisores y contratistas en la toma de decisiones.
- Refuerza la cultura de comunicación y aprendizaje continuo.

3. Componente adaptativo: planificación iterativa (Agile–Scrum)

- Reorganiza los tramos o sectores en *sprints* de ejecución.
- Permite ajustar prioridades ante cambios externos sin afectar la visión global.
- Aporta flexibilidad, transparencia y revisión frecuente de resultados.

4. Componente tecnológico: trazabilidad digital

- Integra toda la información en tableros de control (Power BI, SAP, SharePoint).

- Permite seguimiento físico-financiero en tiempo real y generación automática de indicadores (SPI, CPI, PPC).
- Asegura transparencia, interoperabilidad y respaldo documental.

De esta síntesis surge la propuesta de una metodología híbrida de monitoreo y control, cuya orientación no se centra únicamente en la planeación estructural, sino en el fortalecimiento de las fases de ejecución, adaptabilidad y seguimiento permanente. Su ponderación conceptual se redefine de la siguiente manera (ver tabla 19):

Tabla 19

Ponderación Conceptual de las Fases del Modelo Híbrido de Monitoreo y Control

FASE METODOLÓGICA	PROPÓSITO PRINCIPAL	NIVEL DE RELEVANCIA
Ejecución colaborativa (Lean)	Asegurar la coordinación diaria entre actores, mejorar el flujo de trabajo y reducir desperdicios mediante compromisos semanales.	Alta
Adaptabilidad operativa (Agile)	Permitir ajustes rápidos ante cambios de entorno, priorizando sectores y actividades según condiciones reales.	Alta
Monitoreo y trazabilidad (herramientas de control)	Consolidar la información en tableros de seguimiento institucional y sistemas ERP o sistema interno de gestión de proyectos para la toma de decisiones.	Alta
Planeación estructural (PMBOK–CPM)	Establecer la base técnica, temporal y de riesgos del proyecto.	Media

Fuente: Elaboración propia con base en la revisión bibliográfica, el diagnóstico y los resultados del método Delphi.

Esta nueva ponderación reconoce que la verdadera eficiencia de un proyecto de redes no reside únicamente en su formulación, sino en su capacidad de adaptarse, coordinarse y aprender durante la ejecución.

De este modo, la planeación estructural deja de ser el centro del proceso para convertirse en la base que alimenta un sistema vivo de monitoreo y control.

En términos operativos, el modelo híbrido propuesto para EMCALI se apoya en tres ejes de fortalecimiento:

1. **Colaboración estructurada:** institucionalizar reuniones periódicas de coordinación con compromisos verificables, seguimiento de restricciones y registro de causas de no cumplimiento.
2. **Gestión iterativa y flexible:** organizar la ejecución por ciclos o tramos, revisando resultados parciales y priorizando acciones correctivas de corto plazo.
3. **Monitoreo integrado:** consolidar datos técnicos, financieros y administrativos en **tableros institucionales de control**, enlazados con el sistema de atención y seguimiento **ERP o sistema interno de gestión de proyectos de la empresa**, de modo que la información fluya desde el campo hasta la dirección estratégica.

Estos elementos conforman una arquitectura metodológica que integra personas, procesos y tecnología bajo un mismo principio: convertir la información en acción y la acción en aprendizaje.

El sistema resultante no impone nuevos procedimientos, sino que optimiza los existentes, promoviendo coherencia, transparencia y eficiencia.

4. DISEÑO DE LA GUÍA METODOLÓGICA PARA EL MONITOREO Y CONTROL INTEGRAL DE PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN EMCALI EICE ESP

4.1 Introducción

El presente capítulo desarrolla el diseño de la guía metodológica para el monitoreo y control integral de los proyectos de infraestructura de acueducto y alcantarillado gestionados por EMCALI EICE ESP, en coherencia con los hallazgos obtenidos en los capítulos anteriores. Su propósito es traducir el conocimiento teórico, empírico y validado mediante el proceso de triangulación (Fase II), en una propuesta operativa, adaptable y trazable, que fortalezca la gestión técnica, administrativa y financiera de las obras de reposición de redes en la ciudad de Cali.

En la fase I, se estableció la problemática institucional relacionada con la limitada articulación entre la planeación, la ejecución y el seguimiento de proyectos, evidenciada en la fragmentación de la información, la falta de indicadores unificados y la escasa trazabilidad documental.

Posteriormente, en la fase II consolidó, mediante la revisión sistemática de literatura, el diagnóstico institucional y la validación Delphi, un marco conceptual híbrido que combina enfoques tradicionales y contemporáneos de gestión, demostrando que los modelos predictivos deben complementarse con prácticas colaborativas y herramientas tecnológicas que permitan una gestión más dinámica y transparente.

A partir de estos fundamentos, este capítulo presenta la guía metodológica propuesta, cuyo diseño se orienta hacia la acción práctica y el aprendizaje organizacional del monitoreo y control de los proyectos de reposición de redes de acueducto y alcantarillado de la ciudad de Cali. La guía se estructura bajo un modelo híbrido usando las bases del PMBOK, las metodologías Lean

Agile, articulado con herramientas de control de desempeño (EVM, PPC, SPI, CPI) y sistemas de trazabilidad digital (Blockchain ligera), con el objetivo de optimizar la coordinación entre actores, reducir desperdicios y mejorar la toma de decisiones a partir de datos verificables.

4.2 Principios Orientados a la Guía Metodología

La guía metodológica propuesta se fundamenta en una serie de principios orientadores que integran la rigurosidad de la planeación tradicional con la flexibilidad, colaboración y trazabilidad propias de los enfoques contemporáneos de gestión. Estos principios definen el marco conceptual y operativo que orienta su aplicación en los proyectos de infraestructura de acueducto y alcantarillado ejecutados por EMCALI EICE ESP.

a) Integralidad del control

El monitoreo y control deben comprender simultáneamente las dimensiones técnica, administrativa, financiera y social del proyecto. La información recolectada en campo, los reportes de los supervisores y los registros financieros deben converger en un sistema unificado de seguimiento, garantizando coherencia entre los avances físicos y los desembolsos económicos.

b) Colaboración estructurada

Inspirado en los principios de Lean Construction, este principio promueve la coordinación diaria entre los actores del proyecto, directores de obra, residente, contratista, interventor y supervisor, mediante reuniones periódicas de compromiso verificable, que faciliten la toma de decisiones conjunta, la detección temprana de restricciones y la reducción de desperdicios en tiempo y recursos.

c) Adaptabilidad operativa

Derivado del enfoque Agile, este principio establece que la gestión de proyectos de redes debe ser iterativa y flexible, permitiendo ajustes rápidos ante cambios en el entorno urbano, interferencias o decisiones administrativas. Las actividades se gestionan por ciclos o tramos de trabajo (sprints), priorizando aquellas que generan mayor valor y mitigando los riesgos asociados a la variabilidad.

d) Trazabilidad y transparencia

La gestión del proyecto debe sustentarse en registros verificables y auditables, mediante el uso de plataformas digitales institucionales (ERP o similares) y tecnologías emergentes como la trazabilidad digital para garantizar la integridad documental. Este principio fortalece la rendición de cuentas, la transparencia pública y la confianza entre las partes.

e) Mejora continua y aprendizaje institucional

Cada ciclo de control debe cerrar con una evaluación de desempeño (post-evaluación de compromisos, indicadores SPI, CPI, PPC) y la documentación de lecciones aprendidas.

f) Estandarización y simplicidad operativa

La guía se apoya en el principio de hacer simple lo complejo, mediante formatos estandarizados, tableros visuales y procesos claros que faciliten la aplicación en campo.

4.3 Transición Hacia el Modelo Metodológico Integrado

Los principios orientadores definidos en los apartados anteriores se materializan mediante la integración de un conjunto de metodologías y herramientas de gestión que permiten operacionalizar la guía para el monitoreo y control integral.

El proceso de revisión teórica, análisis institucional y validación experta descrito en la triangulación metodológica permitió identificar los enfoques más pertinentes para el contexto operativo de EMCALI EICE ESP, priorizando aquellos que combinan estructura, colaboración, flexibilidad y trazabilidad.

De esta síntesis surge un modelo híbrido de gestión, sustentado en los marcos PMBOK y CPM para la planeación estructural, Lean Construction para la ejecución colaborativa, Agile/Scrum para la adaptabilidad operativa, EVM para el control físico-financiero, y Blockchain ligera y ERP para la trazabilidad digital y administrativa.

En la Tabla 20 se presenta un resumen de las metodologías integradas, con sus principales características y las ventajas que aportan al diseño de la guía metodológica propuesta.

Tabla 20

Enfoques Metodológicos Integrados y su Aplicación en la Guía Metodológica

ENFOQUE	DESCRIPCIÓN GENERAL	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	VENTAJAS PARA LA GUÍA METODOLÓGICA EMCALI
<p>PMBOK / CPM (Project Management Body of Knowledge – Critical Path Method)</p>	<p>Enfoque predictivo y estructurado que organiza el proyecto en fases secuenciales, definiendo el alcance, los recursos, los costos, el cronograma y los riesgos. El CPM complementa este enfoque calculando la ruta crítica del proyecto para identificar actividades determinantes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión por áreas del conocimiento (alcance, tiempo, costo, calidad, riesgos, adquisiciones, comunicaciones). Línea base del cronograma y del presupuesto. • Control de desviaciones mediante el análisis de ruta crítica. • Priorización de entregables y hitos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona la estructura base del proyecto (cronograma, presupuesto y riesgos). • Permite establecer la línea de referencia sobre la cual se ejecuta el control híbrido. • Facilita la trazabilidad contractual y la planificación formal exigida por EMCALI.

ENFOQUE	DESCRIPCIÓN GENERAL	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	VENTAJAS PARA LA GUÍA METODOLÓGICA EMCALI
Lean Construction	Filosofía de gestión enfocada en la eliminación de desperdicios, la maximización del valor y la coordinación colaborativa entre actores. Desarrollada por el Lean Production System, adaptada a la construcción.	<ul style="list-style-type: none"> • Herramientas: Last Planner System, Pull Planning, A3 Reports, 5S. • Enfoque en el flujo de trabajo y la confiabilidad de compromisos. • Reuniones semanales de planificación y control de restricciones. • Indicadores de desempeño: PPC (Percent Plan Complete). 	<ul style="list-style-type: none"> • Fomenta la coordinación diaria y el compromiso entre actores. • Reduce tiempos improductivos y reprocesos. • Promueve la gestión visual y colaborativa del avance físico. • Apoya la cultura de mejora continua y el aprendizaje en campo.
Agile / Scrum	Enfoque iterativo e incremental basado en la flexibilidad y adaptación continua a los cambios. Organiza el trabajo en sprints cortos, con revisiones periódicas y participación activa del equipo.	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclos de trabajo cortos (sprints) con objetivos definidos. • Reuniones diarias (daily meetings) y revisiones al final de cada iteración. • Roles claros: Product Owner, Scrum Master, Team. • Entregas parciales con retroalimentación continua. 	<ul style="list-style-type: none"> • Permite una respuesta rápida ante imprevistos en obra (clima, interferencias, decisiones externas). • Incrementa la transparencia y la adaptabilidad operativa. • Facilita la priorización de actividades por tramos o sectores. • Fortalece la cultura de seguimiento ágil y comunicación constante.
EVM (Earned Value Management)	Metodología de control que integra tiempo, costo y desempeño para evaluar el estado real del proyecto. Permite medir el avance físico-financiero mediante indicadores cuantitativos.	<ul style="list-style-type: none"> • Indicadores clave: SPI (Schedule Performance Index), CPI (Cost Performance Index), EV (Earned Value). • Permite detectar desviaciones tempranas entre planificación y ejecución. • Relaciona avance físico y ejecución presupuestal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Proporciona una medición objetiva del desempeño físico-financiero mejorando la toma de decisiones basada en datos. • Permite identificar proyectos con riesgos de sobrecosto o retrasos. • Se integra fácilmente con sistemas ERP y tableros Power BI.
Trazabilidad Digital	Enfoque tecnológico para garantizar la trazabilidad y la integridad digital de los datos del proyecto. La Blockchain ligera permite registrar transacciones o versiones de documentos de manera segura y descentralizada; el ERP centraliza la información administrativa y contractual.	<ul style="list-style-type: none"> • Registro inmutable de documentos y actas. • Control de versiones y trazabilidad documental. • Integración con SAP, SharePoint y Power BI. • Acceso controlado y auditable a la información. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumenta la transparencia y la confianza institucional Garantizando la autenticidad de los registros de avance, pagos y cambios. • Facilita auditorías y reportes en tiempo real • Conecta la información de campo con la gestión directiva.

Fuente: Elaboración propia con base en Project Management Institute (2021), Ballard & Howell (2003), Schwaber (2020), Fleming & Koppelman (2016) y Nakamoto (2008).

4.4 Estructura del Modelo Híbrido de Gestión

La estructura del modelo híbrido propuesto para la guía metodológica de monitoreo y control integral articula los componentes conceptuales definidos en los apartados anteriores dentro de un flujo operativo continuo que combina planeación, ejecución, adaptación, control y aprendizaje. El modelo se representa gráficamente en la Gráfico 12, y se desarrolla a través de cinco fases interconectadas:

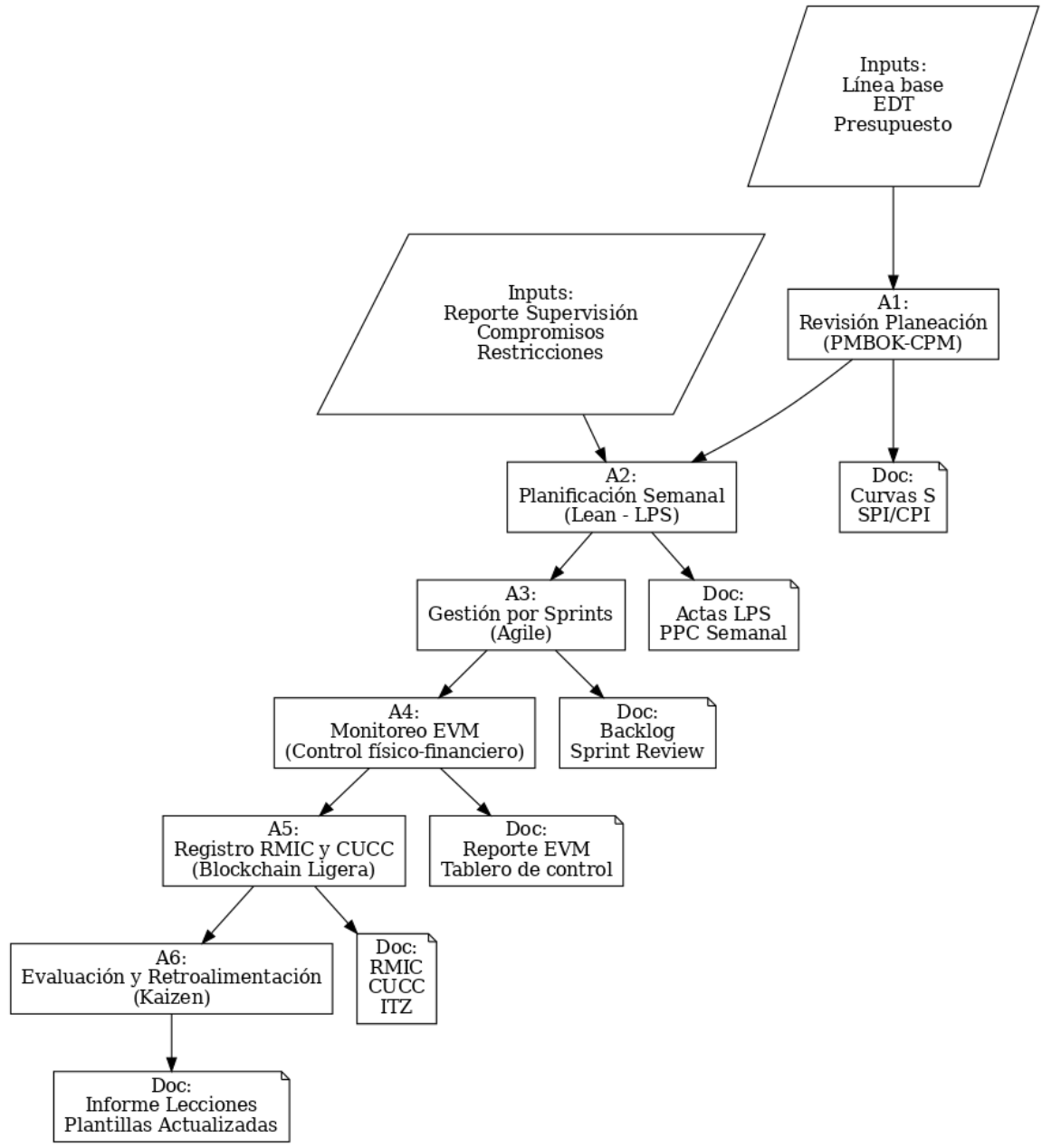
1. Revisión y Ajuste de la Planeación
2. Ejecución colaborativa
3. Adaptabilidad operativa
4. Monitoreo y trazabilidad
5. Retroalimentación y mejora continua.

4.5 Flujograma del Modelo Híbrido de Monitoreo y Control Para Proyectos de Reposición de Redes en EMCALI.

El siguiente diagrama presenta la secuencia operativa del modelo metodológico híbrido, articulando la revisión de la planeación, la planificación semanal, la gestión por sprints, el monitoreo físico-financiero y la retroalimentación continua. Cada fase integra inputs, productos y documentos clave que aseguran trazabilidad y coherencia entre lo programado y lo ejecutado.

Gráfico 12

Flujograma del Modelo Híbrido de Monitoreo y Control Para Proyectos de Reposición de Redes en EMCALI.



Fuente: Elaboración propia (Ver Anexo guía metodológica)

FASE 1: REVISIÓN Y AJUSTE DE LA PLANEACIÓN (PMBOK – CPM)

Esta fase constituye la base técnica y organizativa del proyecto, sobre la cual se construye el sistema de monitoreo y control. Su propósito es establecer las líneas base de alcance, cronograma, costo y riesgos, que servirán como referencia para el seguimiento posterior.

Se fundamenta en los principios del PMBOK (Project Management Institute, 2021) y en la metodología del Critical Path Method (CPM), promoviendo una planificación estructurada y verificable que relacione tiempo, recursos y entregables críticos (Kerzner, 2017). Durante esta etapa se definen los entregables, se revisa la Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) y se configuran las curvas S físico-financieras que permitirán contrastar los avances reales frente a los planificados.

Resultados esperados:

- Cronograma detallado del proyecto con sus respectivos entregables
- Presupuesto base y línea de control.
- Definición de indicadores de desempeño iniciales (SPI, CPI).

Esta fase aporta el rigor predictivo necesario para garantizar que las etapas posteriores se desarrollen sobre un marco técnico y contractual sólido.

FASE 2: EJECUCIÓN COLABORATIVA (LEAN CONSTRUCTION)

La segunda fase traslada el enfoque estructural hacia la acción coordinada en campo, incorporando las herramientas de Lean Construction, desarrolladas por Ballard y Howell (2003), para optimizar el flujo de trabajo y fomentar la colaboración entre los actores involucrados.

Se implementan mecanismos de monitoreo y control como el Last Planner System (LPS), que permite realizar reuniones semanales de compromisos, identificar restricciones y monitorear el cumplimiento mediante el indicador PPC (Percent Plan Complete).

Resultados esperados:

- Plan de trabajo semanal validado y consensuado.
- Registro de restricciones y causas de incumplimiento.
- Evaluación de desempeño semanal (PPC).
- Actas de reunión.

Esta fase fortalece la comunicación interáreas y promueve la toma de decisiones compartida, reduciendo desperdicios, reprocesos y tiempos muertos.

FASE 3: ADAPTABILIDAD OPERATIVA (AGILE – SCRUM)

La tercera fase incorpora los principios del enfoque Agile, aplicados a la gestión de proyectos de infraestructura pública, para enfrentar la variabilidad de condiciones técnicas, climáticas o administrativas (Schwaber, 2020). El trabajo se organiza en ciclos o sprints definidos por tramos geográficos o paquetes de obra, los cuales se planifican, ejecutan y revisan de forma iterativa.

Durante cada sprint se realizan comunicaciones diarias breves (daily meetings) para revisar avances, priorizar actividades y gestionar restricciones. Al cierre de cada ciclo, se efectúa una revisión de sprint que permite evaluar resultados, retroalimentar al equipo y definir ajustes inmediatos.

Resultados esperados:

- Estructura de sprints y backlog de actividades priorizadas.
- Registro de avances y decisiones tomadas.
- Informes de revisión de sprint y planes de mejora.

Con ello, la gestión adquiere una naturaleza flexible y proactiva, capaz de responder oportunamente a los cambios del entorno sin perder trazabilidad ni control.

FASE 4: MONITOREO Y TRAZABILIDAD

Esta fase constituye el núcleo de control y toma de decisiones del modelo híbrido. Integra los principios del Earned Value Management (EVM), desarrollados por Fleming y Koppelman (2016), con la trazabilidad digital (Blockchain ligera) para consolidar la información técnica, financiera y administrativa en tiempo real.

Los indicadores SPI (Schedule Performance Index) y CPI (Cost Performance Index) permiten evaluar la relación entre el avance físico y la ejecución presupuestal. Los datos del campo, las actas de interventoría y los reportes contables se integran en tableros de control interactivos, facilitando la detección temprana de desviaciones y la generación de alertas automáticas (Fleming & Koppelman, 2016).

Adicionalmente, la implementación de una Blockchain ligera garantiza la trazabilidad e integridad documental mediante registros inmutables y control de versiones (Nakamoto, 2008).

Resultados esperados:

- Consolidación físico-financiera.

- Reportes estandarizados de avance.
- Registro digital inalterable mediante Blockchain ligera.

Esta fase convierte los datos dispersos en información estratégica, fortaleciendo la transparencia y la rendición de cuentas en la gestión de proyectos (OECD, 2021).

FASE 5: RETROALIMENTACIÓN Y MEJORA CONTINUA

La última fase cierra el ciclo metodológico mediante la evaluación de resultados y la documentación de lecciones aprendidas, en concordancia con la filosofía Kaizen de mejora continua.

Este enfoque promueve la creación de conocimiento organizacional y la retroalimentación institucional, asegurando que la experiencia de cada proyecto fortalezca la gestión futura (Imai, 1986).

Durante esta fase se consolidan los indicadores de desempeño (SPI, CPI, PPC), se documentan las acciones correctivas implementadas y se actualizan los formatos y procedimientos, generando una base de buenas prácticas institucionales.

Resultados esperados:

- Informe de lecciones aprendidas.
- Actualización de estándares y plantillas de control.
- Retroalimentación hacia la planeación de nuevos proyectos.

Esta fase convierte el modelo en un ciclo iterativo de aprendizaje y mejora continua, alineado con los principios de gestión sostenible y eficiencia institucional.

**ESTRUCTURA GENERAL DE LA GUÍA METODOLÓGICA: PROCESOS,
HERRAMIENTAS Y ACTIVIDADES DEL MODELO HÍBRIDO**

El modelo metodológico híbrido integra cinco fases secuenciales que articulan los enfoques PMBOK–CPM, Lean Construction, Agile–Scrum, EVM y los principios de mejora continua. Inicia con la revisión y ajuste de la planeación, donde se consolidan cronograma, presupuesto e indicadores base; continúa con la ejecución colaborativa enfocada en la confiabilidad del flujo semanal; incorpora una fase de adaptabilidad operativa mediante ciclos cortos y reuniones diarias; y avanza hacia un sistema de monitoreo y trazabilidad que combina métricas de valor ganado con registros digitales seguros (ver gráfico 13). Finalmente, la fase de retroalimentación y mejora continua permite capturar aprendizajes, ajustar plantillas y fortalecer la madurez institucional del proceso de gestión de proyectos, ver tabla 21.

Gráfico 13

Estructura General Guía Metodológica



Tabla 21

Guía Operativa del Modelo Híbrido: Procesos, Responsabilidades y Productos de Control

PROCESO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	RESPONSABLES	PRODUCTOS / RESULTADOS
1. Monitorear y controlar la planificación del proyecto (PMBOK – CPM)	El equipo técnico revisa permanentemente que las líneas base de alcance, cronograma y presupuesto mantengan coherencia con las condiciones del proyecto. Se analizan la EDT, las actividades críticas, las dependencias, las duraciones y las curvas S físico-financieras. Las desviaciones generan alertas o ajustes controlados.	Dirección Técnica del Proyecto – PMO – Supervisor de Campo	<ul style="list-style-type: none"> • Curvas S revisadas • Línea base actualizada • Reporte de coherencia planificación– ejecución
2.1 Monitorear compromisos semanales (Lean – LPS)	Con el apoyo del Last Planner System se realiza el seguimiento semanal de compromisos, la validación del plan semanal y la identificación de restricciones. Se registran causas de incumplimiento y se actualiza el plan a corto plazo en coordinación con todos los actores.	Supervisión de Obra – Interventoría – Contratista – PMO	<ul style="list-style-type: none"> • Acta semanal de compromisos • Registro de restricciones • Indicador PPC (Percent Plan Complete)
3.1 Monitoreo y control por ciclos operativos (Agile – Sprints)	Se organizan tramos o paquetes de obra en sprints. Se realizan comunicaciones diarias (daily meetings / adaptación) para priorizar actividades, resolver restricciones y revisar avances. Al finalizar cada sprint se evalúan los resultados, se documentan decisiones y se actualiza el backlog operativo.	Supervisor del Proyecto – Equipo Técnico – PMO – Interventoría	<ul style="list-style-type: none"> • Backlog actualizado • Registro de daily meetings • Informe de revisión de sprint • Acciones de mejora inmediata
4.1 Monitorear desempeño físico-financiero (EVM)	Se consolida la información física, técnica y financiera mediante los indicadores SPI y CPI. Los datos provienen del campo, actas de interventoría, informes técnicos y reportes administrativos. La información sirve para identificar desviaciones, activar alertas y soportar decisiones estratégicas.	PMO – Dirección de Proyecto – Supervisión – Interventoría – Grupo Técnico	<ul style="list-style-type: none"> • Informe EVM (SPI-CPI) • Alertas de desviación • Reportes físico-financieros estandarizados

PROCESO	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	RESPONSABLES	PRODUCTOS / RESULTADOS
4.2 Implementar la Capa Ligera de Trazabilidad: RMIC + CUCC + Transcripciones	<p>Se integra una capa ligera basada en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • RMIC (Registro Mínimo de Incidencias y Compromisos): plantilla para documentar incidencias, decisiones y compromisos generados por WhatsApp, llamadas y/o correo. • CUCC (Canal Único de Comunicaciones Críticas): chat oficial para centralizar incidencias relevantes. • Transcripción institucional de audios: para convertir notas de voz en texto y fortalecer la trazabilidad documental. 	PMO – Supervisión – Interventoría – Dirección del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • RMIC actualizado <ul style="list-style-type: none"> • Exportación semanal del CUCC • Transcripciones oficiales de audios <ul style="list-style-type: none"> • Reporte consolidado de trazabilidad
5.1 Retroalimentación y mejora continua (Kaizen)	<p>Al cierre de cada, sprint se evalúan resultados, se analizan causas raíz, se documentan lecciones aprendidas y se actualizan plantillas y procedimientos. La retroalimentación se reintegra en la planeación de futuros proyectos, fortaleciendo la madurez institucional.</p>	PMO – Dirección del Proyecto – Supervisión – Interventoría	<ul style="list-style-type: none"> • Informe de lecciones aprendidas • Matriz de acciones correctivas • Actualización de plantillas y estándares

Fuente: Elaboración propia

APÉNDICE X. REGISTRO MÍNIMO DE INCIDENCIAS Y COMPROMISOS (RMIC)

(Plantilla oficial para proyectos de reposición de redes de acueducto y alcantarillado – Modelo Híbrido EMCALI)

Descripción del Instrumento

El Registro Mínimo de Incidencias y Compromisos (RMIC) es una herramienta que permite documentar de manera simple, estandarizada y trazable las incidencias, decisiones, compromisos y comunicaciones claves que se generen a través de los medios operativos más utilizados en EMCALI (WhatsApp, llamadas telefónicas y correo electrónico), fortaleciendo la trazabilidad operativa sin alterar los hábitos de trabajo del equipo técnico.

Este instrumento es obligatorio para supervisores, interventores y profesionales de apoyo al seguimiento dentro de la metodología híbrida del proyecto.

El **RMIC** asegura coherencia entre las comunicaciones informales y los registros oficiales del proyecto, permitiendo reconstruir [→]decisiones, evidenciar alertas tempranas y medir el grado de disciplina documental (ver tabla 22)

Finalidad del RMIC

- Documentar incidencias o cambios detectados en campo.
- Registrar decisiones operativas y compromisos semanales.
- Unificar la evidencia proveniente de canales dispersos (WhatsApp, llamadas, audios).
- Facilitar auditorías internas y externas.
- Alimentar el sistema de monitoreo y control (EVM, PPC, revisiones de sprint).

- Reducir la pérdida de información crítica en la ejecución del proyecto.

Formato del RMIC

A continuación, se presenta el formato oficial del RMIC para uso institucional:

Tabla 22

Formato Oficial RMIC

CAMPO	DESCRIPCIÓN
Fecha del registro:	Fecha en que se documenta la incidencia o compromiso.
Hora:	Hora aproximada del evento o comunicación.
Medio de origen:	Seleccione: WhatsApp / Llamada / Audio / Correo / Reunión.
Responsable que comunica:	Persona que reporta o convoca la información.
Responsable asignado:	Persona encargada de ejecutar la acción o seguimiento.
Descripción breve de la incidencia / compromiso:	Relato concreto de máximo 3 líneas.
Tipo:	Incidencia técnica / administrativa / social / climática / compromiso / decisión.
Acción requerida:	Actividad que debe realizarse (si aplica).
Fecha límite (si aplica):	Fecha estimada para cumplir el compromiso.
Estado:	Pendiente / En proceso / Resuelto.
Evidencia adjunta:	Sí / No (evidencias: audio, captura, foto, documento).
Observaciones:	Cualquier comentario adicional relevante.

Fuente: Elaboración propia.

Lineamientos de Uso

- Toda incidencia relevante debe registrarse antes del cierre del día.
- Los audios deben transcribirse mediante la herramienta institucional y adjuntarse al registro.

- El CUCC (Canal Único de Comunicaciones Críticas) debe exportarse semanalmente para validar integridad.

El RMIC sirve de insumo directo para las reuniones de:

- LPS (compromisos semanales)
- Daily Meetings (Agile) – Adaptación a caso específico
- Revisión de Sprints
- EVM (Fase 4)

El Supervisor es custodio de la información del RMIC.

Con ello, el objetivo 3 del proyecto constituye la síntesis aplicada del trabajo de investigación: un instrumento metodológico que busca no solo estandarizar el control de proyectos de redes, sino también fortalecer la eficiencia, la trazabilidad y la transparencia en la gestión de infraestructura pública, alineando la práctica institucional de EMCALI con los referentes internacionales de gestión moderna de proyectos.

5. CONCLUSIONES

El diagnóstico permitió evidenciar que la principal causa de ineficiencia en los proyectos de reposición de redes de EMCALI no es técnica, sino sistémica. La gestión se encuentra fragmentada entre múltiples fuentes de información, sin integración digital, sin procedimientos unificados y con una alta dependencia de reportes manuales. Esta fragmentación reduce la trazabilidad, limita la anticipación de riesgos y dificulta la toma de decisiones oportunas frente a desviaciones en tiempo y costo.

El análisis de los proyectos AC0014 y AL0017 demostró una desalineación estructural entre la planeación y la ejecución. Las ampliaciones de plazo superiores al 100 %, las brechas entre avance físico y financiero y la baja confiabilidad del cronograma revelan que la programación inicial no se valida ni se ajusta adecuadamente conforme a las condiciones reales de obra, lo que evidencia debilidades relevantes en la fase de monitoreo y control.

Los resultados muestran que, si bien EMCALI dispone de instrumentos y lineamientos que podrían constituir un sistema formal de monitoreo y control, estos no se aplican de manera sistemática ni uniforme en los proyectos. La coexistencia de reportes SAP, formatos F4, registros de interventoría y diversos métodos de seguimiento genera prácticas heterogéneas, dificulta la consolidación de indicadores comparables y limita la capacidad institucional para medir el desempeño y la eficiencia de forma integral.

Las entrevistas Delphi confirmaron que los retrasos por permisos y trámites son el factor externo más crítico, pero su impacto se ve amplificado por la ausencia de mecanismos de aviso temprano y de ciclos de programación ajustados al ritmo real de obra. La falta de integración entre la supervisión, la interventoría y los contratistas retrasa la detección de interferencias, incrementa la variabilidad operativa y afecta la calidad del seguimiento físico-financiero.

La revisión sistemática de literatura evidenció que ningún enfoque metodológico por sí solo resuelve las necesidades de monitoreo de proyectos de infraestructura pública. El PMBOK continúa siendo el marco estructural más utilizado, pero requiere complementarse con Lean Construction para mejorar la confiabilidad del flujo, con Agile/Scrum para aumentar la adaptabilidad operativa y con herramientas digitales como EVM y Blockchain ligera para fortalecer la trazabilidad, la transparencia y la integridad de los datos.

El diseño del modelo metodológico híbrido constituye una contribución técnica relevante, al integrar de manera articulada enfoques predictivos y adaptativos, roles operativos, flujos de trabajo, indicadores y herramientas de control. La propuesta traduce los vacíos identificados en el diagnóstico en procedimientos aplicables, estructurados y coherentes, generando un marco claro para mejorar la coordinación entre áreas técnicas, administrativas y financieras en los proyectos de reposición de redes.

La guía metodológica híbrida propuesta debe entenderse como un instrumento conceptual y operativo con potencial para mejorar el monitoreo y control en EMCALI, pero cuya efectividad solo podrá validarse mediante un proceso formal de implementación en proyectos reales. El alcance del trabajo se limita al diseño metodológico; por lo tanto, no se puede afirmar su impacto definitivo en la eficiencia o madurez institucional. Sin embargo, su estructura modular, su enfoque colaborativo y su base digital representan un avance significativo hacia la modernización de los procesos internos de seguimiento

6. RECOMENDACIONES

En primer lugar, se considera fundamental fortalecer las capacidades técnicas y analíticas del talento humano involucrado en la supervisión, interventoría y gestión administrativa de los proyectos. Como se evidenció en el capítulo de diagnóstico, las dificultades recurrentes en la gestión de información, en la interpretación de indicadores y en la consolidación del avance físico-financiero están asociadas, en gran medida, a la carencia de criterios unificados y formación específica sobre las herramientas modernas de monitoreo y control. En coherencia con los resultados del ejercicio Delphi, existe un consenso en torno a la necesidad de implementar un programa institucional de capacitación continua, orientado a temas de control de cronogramas, indicadores de desempeño, seguimiento semanal estructurado y buenas prácticas de supervisión. La formación sistemática no solo contribuye a cerrar brechas técnicas, sino que además fortalece la toma de decisiones en las etapas críticas de la ejecución.

De igual manera, resulta pertinente avanzar en la unificación de los criterios institucionales para el registro, interpretación y consolidación de la información que alimenta los reportes de supervisión y los análisis físico-financieros. El diagnóstico mostró que la coexistencia de múltiples formatos, registros paralelos y fuentes no integradas genera inconsistencias en los reportes mensuales y dificulta el seguimiento efectivo de los compromisos de obra. Por ello, se recomienda establecer lineamientos técnicos claros sobre la forma en que deben consolidarse los datos provenientes de sistemas administrativos, actas de obra y reportes de campo. A partir de estos lineamientos, EMCALI podrá fortalecer su trazabilidad documental, mejorar su capacidad de análisis y asegurar que la información suministrada represente fielmente el estado real de los frentes de trabajo.

Un segundo conjunto de recomendaciones se orienta a fortalecer las condiciones precontractuales y poscontractuales de los proyectos. El análisis de los casos AC0014 y AL0017 permitió identificar que una proporción importante de los retrasos y reprocesos se originan en la ausencia o insuficiencia de documentos esenciales desde el inicio del proyecto, tales como la estructura de desglose del trabajo (EDT), el cronograma con ruta crítica y un presupuesto debidamente justificado. La exigencia de estos documentos como insumos obligatorios, validados y aprobados antes de la firma del acta de inicio, es indispensable para establecer una línea base precisa y verificable. Esta recomendación se alinea con las buenas prácticas de gestión de proyectos y con las exigencias propias del contexto de infraestructura pública, donde la claridad del alcance y la previsión de riesgos son elementos determinantes para el éxito de la ejecución.

Resulta igualmente necesario formalizar una reunión de inicio técnico-operativa como hito obligatorio en todos los contratos. Este espacio debe permitir validar, junto con el contratista, el alcance aprobado, el cronograma, los riesgos iniciales y las restricciones detectadas, de modo que todos los actores involucrados compartan una comprensión precisa de los compromisos y las expectativas. La estandarización de este proceso contribuye a reducir interpretaciones divergentes y facilita la articulación inicial entre las áreas técnicas y administrativas.

Un tercer ámbito de mejora se relaciona con el fortalecimiento operativo del monitoreo y control mediante ciclos cortos y revisiones periódicas. El análisis reveló que la identificación tardía de desviaciones constituye uno de los factores más frecuentes en la prolongación de los plazos y en el surgimiento de sobrecostos. Por ello, se recomienda implementar un esquema de seguimiento semanal que permita revisar los avances logrados, evaluar el cumplimiento de los compromisos asumidos y ajustar las actividades próximas. Este enfoque, inspirado en prácticas modernas de

control operativo, facilita la detección temprana de dificultades, promueve la coordinación entre los equipos de obra y aumenta la confiabilidad de los reportes institucionales.

En articulación con lo anterior, se considera fundamental consolidar un sistema de alertas tempranas basado en el análisis constante de indicadores clave. Un sistema de este tipo permite activar intervenciones operativas cuando se presentan desviaciones relevantes del cronograma, incumplimiento recurrente de actividades, restricciones sin liberación o inconsistencias en los reportes. Su implementación fortalece la capacidad de reacción de los equipos y orienta los esfuerzos hacia la prevención, más que hacia la corrección de problemas ya materializados.

Asimismo, se recomienda fortalecer la trazabilidad documental mediante el uso disciplinado de herramientas corporativas como el Registro Mínimo de Incidencias y Compromisos (RMIC). Este instrumento, diseñado para capturar novedades, incidencias, evidencias y compromisos derivados de la ejecución diaria, se configura como un mecanismo esencial para documentar la realidad operativa del proyecto. Su uso constante y ordenado reduce la dispersión de la información, mejora la transparencia interna y permite reconstruir con mayor precisión la evolución del proyecto, especialmente en escenarios donde las decisiones deben sustentarse en evidencia verificable.

Por otra parte, se enfatiza la importancia de reconocer la gestión de permisos, trámites y coordinaciones externas como actividades críticas dentro del cronograma. Los resultados del diagnóstico evidenciaron que estas actividades tienen un impacto significativo sobre la continuidad de la ejecución, por lo que deben planificarse con anticipación y asignarse a responsables específicos. La incorporación de estas tareas como hitos críticos permitirá anticipar posibles demoras asociadas a autorizaciones de terceros y fortalecer la coordinación institucional con dependencias como Planeación Municipal, operadores de servicios y autoridades de movilidad.

Finalmente, desde un enfoque de mejora continua y aprendizaje organizacional, se recomienda institucionalizar un ciclo trimestral de evaluación interna en el cual se revisen los indicadores claves de los proyectos, se ajusten los formatos de seguimiento y se consoliden las lecciones aprendidas. La creación de una base corporativa de buenas prácticas contribuirá a que los conocimientos adquiridos en proyectos ejecutados se conviertan en insumos para futuras intervenciones, evitando la repetición de errores y promoviendo la evolución progresiva del sistema de monitoreo y control. En conjunto, estas recomendaciones son plenamente implementables con el talento humano y los recursos existentes en EMCALI, lo que incrementa su viabilidad y favorece su adopción gradual en la práctica institucional.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Araujo, M. (2021). *Contract failures in LATAM*. Public Works Management.
- AWWA. (2022). Water utility infrastructure renewal guide.
- AXELOS. (2017). *Managing Successful Projects with PRINCE2* (6th ed.). The Stationery Office.
- Ballard, G., & Howell, G. (2003). *Lean Project Delivery System: An Update*.
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2021). *Diagnóstico sobre la gestión de proyectos públicos en Colombia*.
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2020). *Project management in Latin America*.
- Boone, H. N., & Boone, D. A. (2012). *Analyzing Likert data*. *Journal of Extension*, 50(2).
- CAF. (2022). *Transformación digital de la gestión de la inversión pública en América Latina*.
- Cámara Colombiana de la Infraestructura – Occidente. (2024). *Observatorio de la Infraestructura del Valle del Cauca*. Recuperado de <https://ccioccidente.com/observatorio>
- Cámara de Comercio de Buenaventura. (2024). *El Observatorio de Infraestructura del Valle presenta su informe 2024*.
- Cepeda, J. (2022). *Gestión moderna de proyectos públicos y sostenibilidad institucional*. *Revista Latinoamericana de Administración Pública*, 24(3), 45–60.
- Colombia Compra Eficiente. (2021). *Registro del código BPIN desde el proceso contractual*. Recuperado de <https://www.colombiacompra.gov.co>
- Contraloría General de la República. (2023). *Informe especial de seguimiento a proyectos de infraestructura en EMCALI*.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca [Corpovalle]. (2024). *Proyecto BPIN 2024003760121. – Implementación de la Estrategia de Gobierno Digital para la*

- reducción de la brecha de capital humano y la transformación digital en el Valle del Cauca.* <https://www.corpovalle.com/convocatorias/proyecto-bpin-2024003760121>
- Dalkey, N., & Helmer, O. (1963). *An experimental application of the Delphi method to the use of experts.* *Management Science*, 9(3), 458–467.
- Dam, M., et al. (2021). *Digital transformation in construction.* *Automation in Construction*.
- DAPM Cali. (2022). *Sistema de seguimiento a la inversión pública.*
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2021). *Manual general de inversiones públicas.*
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). *Guía para la formulación de proyectos de inversión pública.*
- EMCALI E.I.C.E. E.S.P. (2023). *Informe de capacitación interna en metodologías de gestión.*
- EMCALI E.I.C.E. E.S.P (2024). *Manual de seguimiento y control de proyectos.*
- EMCALI E.I.C.E. E.S.P (2025). *Informe de seguimiento técnico y financiero – AC0014 y AL0017.*
- EMCALI E.I.C.E. E.S.P (2025). *Reporte de avance de los proyectos AC0014 y AL0017.*
- EMCALI E.I.C.E. E.S.P. (2023). *Plan institucional de formación y capacitación 2023–2025.*
- EPA. (2021). *Water Infrastructure Finance and Innovation Act Annual Report.*
- GIPI EMCALI. (2025). *Estado de proyectos – Informe consolidado.*
- Global Infrastructure Hub. (2024). *Project preparation and monitoring handbook.*
- Gobernación del Valle del Cauca. (2023). *Observatorio de infraestructura del Valle del Cauca.*
- Gómez, C. A., & Hoyos, Á. M. (2021). *Monitoreo de obras públicas en Colombia.* *Revista Ingeniería UIS.*
- González, J., & Rojas, M. (2021). *Control de ejecución en redes de acueducto.* *Revista Colombiana de Ingeniería.*

- Highsmith, J. (2010). *Agile project management: Creating innovative products*. Addison-Wesley.
- Hsu, C. C., & Sandford, B. A. (2007). *The Delphi technique: Making sense of consensus*. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 12(10), 1–8. <https://doi.org/10.7275/pdz9-th90>
- Huerta, P. (2022). *Gestión documental en obras públicas*. *Gestión y Territorio*.
- Inter-American Development Bank (IDB). (2020). *Project management in Latin America*.
- INVIAS. (2021). *Manual de interventoría de obras públicas*.
- ISO. (2020). *ISO 19650: Gestión del ciclo de vida en BIM*.
- Kazar, G., et al. (2022). *Hybrid project methodologies*. *Journal of Construction Engineering*.
- Kerzner, H. (2018). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (12th ed.). Wiley.
- Koskela, L. (1992). *Application of the New Production Philosophy to Construction*.
- Leyton, L., & Mejía, M. (2021). *Método del valor ganado en infraestructura en Colombia*.
- Likert, R. (1932). *A technique for the measurement of attitudes*. *Archives of Psychology*, 140, 1–55.
- Lima, R. (2023). *Mitigación de pérdidas de agua en acueductos*. *WaterTech Latin America*.
- Linstone, H. A., & Turoff, M. (2002). *The Delphi method: Techniques and applications*. Addison-Wesley.
- López, T. (2020). *Sewer pipeline reconstruction challenges*. *Civil Engineering Today*.
- Martínez, P., et al. (2020). *Aplicación del EVM en obras públicas*.
- Medina, S. (2022). *Seguimiento físico-financiero en entidades públicas*. *Revista Presupuesto & Control*.

- Mora-Melià, J., Alfaro-Saiz, J. J., & Rodríguez-Rodríguez, R. (2022). *Blockchain application for project control. Journal of Construction Engineering and Management.*
- Muñoz, R. (2019). *Supervisión participativa en infraestructura. Revista de Gestión Pública.*
- Nishida, M. (2023). *AI for water distribution systems. Water Resources Management.*
- OECD. (2021). *Infrastructure governance in Latin America.*
- Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). *The Delphi method as a research tool. Information & Management, 42(1), 15–29.* <https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002>
- OnIndus. (2025). *Infrastructure project management: Phases, challenges & best practices.* <https://www.onindus.com/infrastructure-project-management/>
- Park, H., et al. (2021). *Big data integration in construction monitoring. Automation in Construction.*
- PlanRadar. (2024). *Monitoring and tracking progress in infrastructure construction.* <https://www.planradar.com/au/monitoring-tracking-progress-infrastructure-construction/>
- Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (6th ed.).
- Project Management Institute. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (7th ed.).
- Reinhardt, W. (2021). *BIM barriers in water infrastructure.*
- Resource Guru. (2023). *Project monitoring and control: Complete guide.* <https://resourceguruapp.com/blog/project-management/project-monitoring-and-control>
- Rodríguez, L., & López, M. (2022). *IoT aplicado al monitoreo de redes de acueducto.*
- Rowe, G., & Wright, G. (2001). *Expert opinion in Delphi studies.*
- Salazar, F., & Díaz, P. (2023). *Curvas S y control visual.*
- Silva, J., et al. (2021). *Lean construction en obras públicas.*

- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD). (2022). *Informe de prestación de servicios públicos*.
- UENAA. (2025). *Estado de redes – Informe técnico anual*.
- UNEP. (2023). *Urban water resilience report*.
- UNESCO. (2022). *Urban water systems and resilience*.
- United Nations. (2022). *SDG water infrastructure guidance*.
- UN–WHO. (2021). *Guidelines for water safety planning*.
- Vásquez, J., & Franco, L. (2022). *Complejidad de redes hidráulicas*.
- Villegas, A., Rojas, C., & Martínez, L. (2023). *Análisis de eficiencia en proyectos del SGR en el Valle del Cauca*.
- Water Research Foundation. (2023). *Trends in water network rehabilitation*.
- World Bank. (2020). *Water supply and sanitation projects good practices*.
- World Bank. (2023). *Infrastructure Systems Report*.
- ZandaX. (2021). *History of CPM and PERT*.
- Zhou, Y. (2023). *Multi-sensor pipeline diagnostics*. *Sensors Journal*.

ANEXO A - EXPLICACIONES TÉCNICAS AMPLIADAS, DESCRIPCIONES METODOLÓGICAS Y DESARROLLOS TEÓRICOS COMPLEMENTARIOS

1. RUTA CRÍTICA (CRITICAL PATH METHOD – CPM)

Estructura y elementos del método

La aplicación del CPM requiere definir los siguientes elementos básicos (Kerzner, 2018; Fleming & Koppelman, 2016):

- **Lista de actividades:** conjunto de tareas necesarias para completar el proyecto.
- **Duración estimada de cada actividad (D):** basada en rendimientos, disponibilidad de recursos y condiciones del entorno.
- **Relaciones de precedencia:** actividades que deben finalizar antes de iniciar otras.
- **Fechas de inicio y finalización tempranas (ES, EF):** las más próximas posibles considerando dependencias.
- **Fechas de inicio y finalización tardías (LS, LF):** los momentos límite para no retrasar el proyecto.
- **Holgura (Slack o Float):** diferencia entre el inicio tardío y el inicio temprano.
- **Ruta crítica:** secuencia de actividades con holgura cero; determina la duración total del proyecto.

El análisis se representa mediante un diagrama de red, donde los nodos corresponden a actividades y las flechas a relaciones de precedencia. El cálculo de tiempos se realiza mediante dos recorridos:

- **Recorrido hacia adelante (Forward Pass):** calcula tiempos tempranos (ES, EF).
- **Recorrido hacia atrás (Backward Pass):** calcula tiempos tardíos (LS, LF).

La diferencia entre EF y LS de cada actividad determina la holgura disponible. Si el valor es cero, la actividad pertenece a la ruta crítica.

Matemáticamente:

$$\text{Holgura - Slack} = \text{LS} - \text{ES} = \text{LF} - \text{EF}$$

La duración total del proyecto (T_p) se obtiene al sumar las duraciones de las actividades críticas.

Ventajas y limitaciones

El CPM ofrece ventajas significativas para la gestión pública de infraestructura:

- Permite visualizar de forma clara la secuencia lógica de actividades.
- Facilita la identificación de riesgos asociados a retrasos.
- Proporciona una base cuantitativa para la toma de decisiones sobre recursos y priorización.
- Se integra fácilmente a técnicas complementarias como EVM (Earned Value Management) para medir el desempeño.

No obstante, también presenta limitaciones:

- Supone duraciones fijas y certidumbre, lo cual no siempre es aplicable en contextos de obras urbanas con interferencias imprevistas.
- Requiere datos precisos y actualizados, lo que depende de la calidad de los reportes de campo.

- En proyectos multianuales o segmentados, las rutas críticas pueden variar entre vigencias, dificultando su seguimiento consolidado.

Estas restricciones hacen necesario adaptar el CPM a entornos progresivos o iterativos, como los proyectos de reposición de redes en EMCALI, donde las prioridades cambian según el año, la disponibilidad presupuestal o la condición del sector.

Aplicación del CPM en proyectos de infraestructura pública

En los proyectos de infraestructura pública, el CPM se utiliza comúnmente para estructurar los cronogramas de ejecución contractual. Los organismos multilaterales como el Banco Mundial y el BID recomiendan su uso en las fases de planeación y seguimiento, debido a su capacidad para definir hitos verificables y establecer alertas tempranas (BID, 2021).

El Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2022) también exige que los proyectos registrados en el Banco de Programas y Proyectos de Inversión Nacional (BPIN) presenten una programación sustentada en relaciones de precedencia, identificando los puntos críticos y los riesgos asociados.

En el ámbito urbano, el CPM se ha empleado en la planificación de obras de acueducto, alcantarillado y pavimentación. En estos casos, el método permite coordinar la ejecución por tramos o sectores, considerando factores como la disponibilidad de predios, interferencias con redes existentes y restricciones de tránsito.

De acuerdo con Muñoz (2019), la aplicación del CPM en proyectos de saneamiento en Chile redujo los plazos de ejecución en un 15 %, mientras que Martínez et al. (2020) reportaron que su uso en obras de alcantarillado en Perú mejoró la precisión de la programación y permitió anticipar cuellos de botella administrativos.

Integración del CPM con otras herramientas de control

El CPM, por sí solo, permite controlar la variable tiempo, pero su mayor potencial se alcanza cuando se integra con herramientas complementarias:

- Con el **EVM**, se logra un control físico-financiero completo, midiendo simultáneamente avances y costos.
- Con el **Last Planner System**, se fortalece la confiabilidad de la programación mediante retroalimentación semanal.
- Con la **Curva S**, se visualizan los hitos y las tendencias de avance acumulado.

En los proyectos de EMCALI, esta integración posibilita un modelo de control dual: *macroscópico* (CPM/EVM) y *operativo* (LPS/KPI), alineando la planeación estratégica con la ejecución diaria.

La combinación de estos instrumentos facilita la transición hacia un sistema de monitoreo continuo, donde la planificación deja de ser un evento único y se convierte en un proceso de ajuste permanente.

Síntesis de la metodología CPM

El método de la Ruta Crítica (CPM) sigue siendo la herramienta más efectiva para estructurar y controlar el tiempo en proyectos de infraestructura pública. Su aplicación en EMCALI permite visualizar la interdependencia entre actividades, anticipar riesgos de retraso y establecer un lenguaje común entre las áreas de planeación, interventoría y ejecución.

No obstante, su efectividad depende de la calidad de los datos, la frecuencia de actualización y la coordinación entre actores. Por ello, se recomienda consolidar una metodología

institucional de programación crítica, que unifique criterios de codificación, tiempos y reportes, y que se alimente de los avances semanales del campo.

Integrado a técnicas como EVM y LPS, el CPM constituye el pilar temporal del sistema de monitoreo y control que esta tesis propone para los proyectos de redes de EMCALI.

2. LEAN CONSTRUCTION

Principios Lean aplicados a la construcción

Koskela (1992) identificó once principios generales del pensamiento Lean en construcción, entre los que destacan:

- 1) Reducción de desperdicios:** evitar actividades que no agregan valor, como esperas, retrabajos o exceso de inventario.
- 2) Aumento del valor al cliente:** priorizar las necesidades del usuario final (comunidad o entidad pública).
- 3) Flujo continuo de trabajo:** garantizar la secuencia lógica sin interrupciones entre actividades.
- 4) Planificación colaborativa y confiabilidad de compromisos.**
- 5) Transparencia de procesos e información.**
- 6) Aprendizaje y mejora continua (Kaizen).**

En el contexto de infraestructura pública, estos principios adquieren una relevancia particular. Los proyectos de acueducto y alcantarillado se ejecutan en entornos urbanos densos, donde la coordinación interinstitucional, la comunicación con comunidades y la gestión de

interferencias son factores críticos. Bajo el enfoque Lean, cada uno de estos aspectos deja de ser un obstáculo y se transforma en una oportunidad de optimización si se gestiona de manera colaborativa y planificada.

Last Planner System (LPS)

El LPS es la herramienta central del Lean Construction. Se estructura en cuatro niveles de planificación interrelacionados (Ballard & Howell, 2003):

- 1) **Plan Maestro:** define las metas globales del proyecto y los hitos contractuales.
- 2) **Plan de Fase:** detalla las actividades necesarias para lograr cada hito.
- 3) **Plan de Trabajo Semanal (Weekly Work Plan – WWP):** establece compromisos de corto plazo por parte de los equipos ejecutores.
- 4) **Revisión de Aprendizaje (Learning & Improvement):** evalúa el cumplimiento de compromisos mediante el indicador PPC (Percent Plan Complete) y analiza las causas de no cumplimiento (Reasons for Non-Completion – RNC).

El objetivo del LPS no es solo planificar, sino controlar la variabilidad del flujo. Cada semana, los responsables de obra, contratistas, interventores y supervisores, definen compromisos realistas, registran avances y justifican desviaciones. Este ciclo de retroalimentación continua genera un aprendizaje acumulativo que incrementa la confiabilidad de la planificación global.

Diversos estudios han validado la efectividad del LPS. Ballard & Tommelein (2021) reportaron incrementos del 20 % en la confiabilidad de cronogramas y del 15 % en productividad promedio. En Latinoamérica, Cano et al. (2017) evidenciaron que su aplicación en proyectos de

vivienda e infraestructura pública permitió reducir en un 25 % los tiempos improductivos y en un 12 % los costos de supervisión.

Herramientas de medición Lean

El desempeño del enfoque Lean se evalúa mediante indicadores específicos que permiten cuantificar la mejora del flujo y la estabilidad del sistema (Tabla N.1):

Tabla N. 1

Indicadores Operativos del Enfoque Lean Para el Monitoreo del Desempeño

INDICADOR	DESCRIPCIÓN	FÓRMULA	INTERPRETACIÓN
PPC (Percent Plan Complete)	Porcentaje de actividades planificadas completadas en el periodo.	$\frac{\text{Actividades completadas} / \text{Actividades planificadas}}{\times 100}$	Mide confiabilidad de compromisos. Un $PPC \geq 85\%$ indica flujo estable.
CNC (Causas de No Cumplimiento)	Clasificación de motivos por los cuales no se cumplió una tarea.	Registro cualitativo	Identifica causas raíz (falta de recursos, permisos, interferencias, etc.).
TTF (Time to Finish)	Tiempo promedio restante para completar actividades críticas.	$\frac{\Sigma(\text{tiempo pendiente})}{\text{n}^\circ \text{ de actividades críticas}}$	Mide estabilidad del cronograma y capacidad de respuesta.

Fuente: Elaboración propia con base en Ballard y Howell (2003), Lean Construction Institute (2019) y literatura especializada en Last Planner System.

El uso disciplinado de estos indicadores convierte el seguimiento operativo en un proceso de aprendizaje organizacional. Al sistematizar las causas de no cumplimiento, las áreas técnicas pueden anticiparse a restricciones recurrentes y mejorar la coordinación entre unidades.

Adaptación del enfoque Lean a la infraestructura pública

Aunque el Lean Construction surgió en entornos privados y altamente competitivos, su adopción en el sector público ha aumentado en la última década. Organismos como el BID (2021) y la OCDE (2022) promueven su aplicación en obras públicas como medio para mejorar la eficiencia del gasto, la transparencia y la rendición de cuentas.

En el contexto de EMCALI, la aplicación del enfoque Lean se justifica por tres razones principales:

- **Fragmentación operativa:** la multiplicidad de contratos y actores (contratistas, interventores, supervisores) requiere un sistema que fomente la coordinación horizontal y la comunicación diaria.
- **Variabilidad de contexto:** las obras de redes están sujetas a factores externos (clima, permisos, decisiones judiciales) que demandan flexibilidad y respuesta rápida.
- **Necesidad de trazabilidad:** la planificación semanal y el registro de causas de incumplimiento permiten construir evidencia verificable del desempeño operativo.

El Lean no sustituye los sistemas formales de control (como PMBOK o EVM), sino que los complementa desde la ejecución colaborativa, convirtiendo los espacios de coordinación en nodos de gestión del conocimiento.

Limitaciones y retos de implementación

A pesar de los avances, la adopción del enfoque Lean en el sector público enfrenta desafíos significativos:

- **Cultura organizacional tradicional:** la planificación jerárquica limita la participación efectiva de los equipos de obra.
- **Ausencia de métricas institucionalizadas:** los indicadores Lean (PPC, CNC) no forman parte del sistema SAP ni de los reportes oficiales.
- **Rotación de personal:** dificulta la continuidad del aprendizaje y la sostenibilidad del sistema.
- **Presiones contractuales:** los cronogramas y presupuestos fijos reducen la flexibilidad para reprogramar actividades colaborativamente.

Superar estas barreras requiere un cambio cultural gradual, basado en la capacitación, la estandarización de formatos y la digitalización de la información operativa.

Síntesis de la Metodología Lean Construction

El Lean Construction representa una transformación conceptual en la gestión de proyectos: de la planificación jerárquica hacia la gestión colaborativa del flujo. Su implementación en los proyectos podría generar mejoras tangibles en la confiabilidad, la eficiencia y la trazabilidad operativa, aspectos fundamentales para la sostenibilidad institucional y la rendición de cuentas.

Adoptar sus herramientas, en especial el Last Planner System, los indicadores PPC y CNC, y las reuniones semanales estructuradas, constituye una estrategia viable para optimizar la ejecución de proyectos multianuales y descentralizados, donde las condiciones cambian con frecuencia.

En síntesis, el enfoque Lean aporta el componente humano y operativo del sistema de monitoreo y control: promueve la participación activa, la comunicación transversal y la mejora continua. Estas prácticas sientan las bases para los capítulos siguientes, donde se abordará la

incorporación de metodologías Agile (Scrum) y Trazabilidad Digital como herramientas complementarias dentro del ecosistema de gestión de EMCALI.

3. AGILE PROJECT MANAGEMENT (SCRUM) EN INFRAESTRUCTURA PÚBLICA

Principios y fundamentos del enfoque Agile

El marco ágil se estructura en torno a los siguientes principios (Highsmith, 2010; Project Management Institute [PMI], 2021):

- **Iteración continua:** dividir el proyecto en ciclos cortos de planificación, ejecución y revisión, denominados sprints.
- **Priorización dinámica:** atender primero las tareas de mayor impacto o urgencia.
- **Retroalimentación constante:** incorporar el aprendizaje de cada iteración en la siguiente.
- **Empoderamiento del equipo:** los miembros asumen autonomía y responsabilidad compartida.
- **Transparencia total:** toda la información del proyecto debe estar disponible para todos los involucrados.

En contraste con el enfoque tradicional basado en planes rígidos, el Agile privilegia la adaptabilidad y la co-creación.

En proyectos públicos, donde las condiciones sociales, técnicas o presupuestales pueden cambiar durante la ejecución, este paradigma ofrece una ventaja competitiva al permitir ajustes rápidos sin comprometer los objetivos globales.

El marco Scrum

Entre los diversos marcos ágiles, Scrum es el más ampliamente adoptado. Fue desarrollado por Jeff Sutherland y Ken Schwaber (1995) como una metodología ligera para gestionar proyectos complejos mediante ciclos iterativos de trabajo controlado.

Scrum se basa en tres pilares fundamentales:

- **Transparencia:** todos los aspectos relevantes del proceso deben ser visibles para quienes gestionan el proyecto.
- **Inspección:** los avances deben revisarse periódicamente para detectar desviaciones.
- **Adaptación:** los planes deben ajustarse con base en los resultados de la inspección.

Roles en Scrum

- **Product Owner:** define prioridades y garantiza que el equipo trabaje en las tareas de mayor valor.
- **Scrum Master:** facilita la metodología, elimina obstáculos y asegura la adherencia al proceso.
- **Equipo de desarrollo:** grupo multidisciplinario encargado de ejecutar las tareas planificadas.

Ceremonias de Scrum

En coherencia con estos principios y roles, Scrum organiza el trabajo a través de un conjunto de ceremonias que estructuran la planificación, el seguimiento y la retroalimentación dentro de cada iteración. Estas ceremonias permiten ordenar el flujo de información, facilitar la toma de decisiones y asegurar que el equipo mantenga un ritmo constante de entrega de valor. Dado que los proyectos de infraestructura pública requieren coordinación entre múltiples actores,

ajustes continuos por condiciones de campo y revisión frecuente del avance, dichas ceremonias resultan especialmente útiles para mejorar la comunicación y la adaptabilidad operativa. A continuación, en la Tabla N. 2 se presenta la adaptación de las principales ceremonias de Scrum al contexto operativo de EMCALI, mostrando su propósito y su correspondencia con actividades existentes en la ejecución de obras.

Tabla N. 2

Adaptación de las Ceremonias de Scrum al Contexto Operativo de EMCALI

CEREMONIA	PROPÓSITO	EQUIVALENTE OPERATIVO EN EMCALI
Sprint Planning	Planificación de actividades de la iteración (1–4 semanas).	Reunión de programación semanal con compromisos Lean.
Daily Scrum	Reunión diaria breve para revisar avances y obstáculos.	Minuta diaria o registro de campo compartido.
Sprint Review	Presentación de resultados al final del sprint.	Informe de avance semanal consolidado.
Sprint Retrospective	Reflexión sobre aprendizajes y oportunidades de mejora.	Sesión de análisis post-semana con interventoría.

Fuente: Elaboración propia con base en Schwaber & Sutherland (2020) y adaptación al contexto operativo de EMCALI.

las ceremonias de Scrum destacan por su capacidad para estructurar ciclos cortos de planificación, seguimiento y retroalimentación, facilitando la toma de decisiones en entornos cambiantes como los frentes de obra urbanos. Con el fin de contextualizar su aplicación al entorno institucional de EMCALI, la Tabla 14 presenta las principales ceremonias de Scrum, su propósito dentro del enfoque Agile y su correspondiente adaptación operativa en los procesos de seguimiento y control de la empresa.

Este ciclo garantiza que el equipo se mantenga sincronizado, que los avances sean visibles y que los errores se corrijan de manera temprana.

Adaptación del marco Agile a la infraestructura pública

La aplicación del marco ágil a proyectos públicos requiere ajustes debido a la naturaleza contractual, regulatoria y jerárquica de las instituciones. A diferencia del software, donde los entregables son virtuales, la infraestructura implica actividades físicas, costos altos y cumplimiento normativo estricto.

No obstante, el Agile puede adaptarse a través de un modelo híbrido de ejecución iterativa, donde cada sprint se asocia a una fase, tramo o barrio. Este enfoque se alinea con la estructura de los proyectos de redes de EMCALI, en los cuales las actividades están distribuidas en sectores geográficos y periodos anuales.

Los ajustes principales incluyen:

- **Backlog de proyecto:** corresponde al inventario total de tramos o sectores por intervenir.
- **Sprints de ejecución:** cada sprint representa la intervención de un tramo o grupo de actividades en un periodo de dos a seis semanas.
- **Definición de entregables claros:** actas de avance, metros lineales repuestos, acometidas realizadas o pruebas hidráulicas ejecutadas.
- **Revisión continua con interesados:** reuniones semanales de supervisión e interventoría (equivalentes a sprint reviews).
- **Documentación trazable:** seguimiento digital de avances, restricciones y decisiones en plataformas colaborativas (SharePoint, Power BI, SAP).

Este modelo conserva la trazabilidad institucional exigida por los entes de control, mientras introduce flexibilidad y capacidad de adaptación operativa.

Comparación entre enfoques tradicionales y ágiles

La gestión de proyectos en infraestructura requiere equilibrar la estructura de la planificación tradicional con la flexibilidad que demandan los entornos cambiantes de obra. La Tabla N.3 presenta una comparación sintética entre los enfoques tradicionales basados en PMBOK/CPM y el enfoque ágil adaptado de Scrum, destacando las diferencias clave en dimensiones operativas como planificación, control, comunicación y gestión del riesgo. Esta comparación permite evidenciar cómo la integración de prácticas ágiles introduce mayores capacidades de adaptación, colaboración y revisión continua, elementos esenciales para mejorar el desempeño en proyectos públicos de redes

Tabla N. 3

Comparación Entre Enfoques Tradicionales y Ágiles en la Gestión De Proyectos

DIMENSIÓN	ENFOQUE TRADICIONAL (PMBOK/CPM)	ENFOQUE ÁGIL (SCRUM ADAPTADO)
Planificación	Detallada al inicio, difícil de cambiar.	Iterativa y flexible.
Control	Basado en reportes mensuales.	Basado en revisiones semanales.
Comunicación	Vertical y formal.	Horizontal y continua.
Gestión del riesgo	Reactiva (responde ante fallas).	Proactiva (anticipa restricciones).
Medición del desempeño	Avance físico-financiero (EVM).	Cumplimiento de sprints y valor entregado.

Fuente: Elaboración propia con base en PMI (2021) y Schwaber & Sutherland (2020).

Beneficios y limitaciones del enfoque ágil

Beneficios de la metodología

- **Mayor adaptabilidad:** permite reprogramar actividades según priorización judicial o comunitaria.
- **Comunicación directa:** fomenta coordinación entre supervisión, contratistas y entidades externas.
- **Gestión de conocimiento:** cada sprint produce lecciones aprendidas documentadas.
- **Transparencia:** los avances semanales facilitan la rendición de cuentas.

Limitaciones de la metodología

- Requiere madurez institucional y liderazgo participativo.
- Las normas contractuales del sector público pueden limitar la autonomía de los equipos.
- Falta de capacitación en metodologías ágiles dentro del personal técnico.
- Riesgo de duplicar reportes si no existe integración con los sistemas de información y los sistemas de control.

A pesar de estas limitaciones, la experiencia demuestra que los principios ágiles pueden aplicarse gradualmente mediante pilotos controlados en proyectos, generando un cambio cultural hacia la mejora continua y la comunicación efectiva.

Síntesis de la metodología AGILE

El enfoque Agile, y particularmente el marco Scrum, ofrece una alternativa viable para gestionar la complejidad y la incertidumbre en proyectos de infraestructura pública. Su énfasis en la iteración, la retroalimentación y la adaptabilidad se ajusta a las necesidades de los proyectos, donde las condiciones de ejecución cambian constantemente y la toma de decisiones debe ser rápida y colaborativa.

En combinación con los principios del Lean Construction y las técnicas de control del CPM y el EVM, el Agile aporta la dimensión dinámica y participativa del sistema de monitoreo y control. Su aplicación progresiva, a través de reuniones de sprint, revisión de avances y tableros digitales, fortalece la trazabilidad institucional y promueve una cultura organizacional orientada a resultados y aprendizaje continuo.

4. TRAZABILIDAD DIGITAL: HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS DE MONITOREO Y CONTROL EN LA GESTIÓN DE PROYECTOS

Importancia de la trazabilidad digital en la infraestructura pública

Los proyectos de infraestructura pública involucran grandes volúmenes de datos y actores múltiples. En ese escenario, la trazabilidad digital tiene tres propósitos esenciales:

- 1) **Transparencia:** garantiza que cada decisión o gasto tenga un soporte verificable.
- 2) **Eficiencia:** reduce la duplicación de tareas y mejora la coordinación entre dependencias.
- 3) **Aprendizaje organizacional:** convierte la información en conocimiento útil para futuras planificaciones.

De acuerdo con el Banco Interamericano de Desarrollo (BID, 2021), las entidades públicas que implementan sistemas digitales de trazabilidad logran aumentar en un 30 % la eficiencia de

ejecución presupuestal, y reducen en un 25 % los tiempos de respuesta ante observaciones de entes de control.

El Departamento Nacional de Planeación (DNP, 2022), por su parte, resalta que la interoperabilidad entre sistemas institucionales es uno de los mayores desafíos del Estado colombiano, especialmente en el seguimiento de inversiones multianuales. En este contexto, herramientas como SAP, Power BI y sistemas de reportes basados en EVM y Curva S se convierten en instrumentos esenciales para garantizar la trazabilidad integral de los proyectos.

TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS PRINCIPALES

Earned Value Management (EVM) – Gestión del Valor Ganado

El EVM (Gestión del Valor Ganado) es una técnica de control de desempeño que integra tres variables esenciales: el valor planificado (Planned Value, PV), el valor ganado (Earned Value, EV) y el costo real (Actual Cost, AC). A partir de estas variables se derivan indicadores clave:

- **SPI (Schedule Performance Index):** mide la eficiencia temporal (EV / PV).
- **CPI (Cost Performance Index):** mide la eficiencia del costo (EV / AC).
- **CV (Cost Variance):** diferencia entre EV y AC.

El EVM no reemplaza la planificación, sino que la complementa al ofrecer una visión cuantitativa del desempeño. En proyectos públicos, su valor radica en que vincula directamente el avance físico con la ejecución financiera, lo que permite detectar desviaciones antes de que sean irreversibles (Fleming & Koppelman, 2016).

Curva S de control

La Curva S es una herramienta gráfica de control que representa la evolución acumulada del avance físico o financiero frente al tiempo. Su nombre proviene de la forma característica de la curva, que inicia lentamente, se acelera en la fase media y se estabiliza hacia el final del proyecto.

Esta técnica, derivada de los sistemas de planificación CPM y EVM, permite identificar desviaciones entre la línea base y el avance real, facilitando la toma de decisiones correctivas. En los proyectos de acueducto y alcantarillado de EMCALI, la Curva S se utiliza como instrumento visual complementario a los informes mensuales de interventoría.

Su ventaja principal es la simplicidad interpretativa, lo que la convierte en una herramienta efectiva para reportar al nivel directivo y para sustentar auditorías ante organismos de control. Cuando se combina con los indicadores del EVM, la Curva S proporciona una imagen completa del desempeño temporal y financiero del proyecto.

Indicadores Clave de Desempeño (KPIs)

Los KPIs (Key Performance Indicators) son métricas cuantitativas diseñadas para evaluar la eficacia de los procesos y resultados de un proyecto. En el contexto de infraestructura pública, los KPIs más utilizados son (Ver Tabla N.4):

Tabla N. 4

Indicadores Clave de Desempeño Utilizados en el Monitoreo y Control de Proyectos

TIPO DE INDICADOR	DESCRIPCIÓN	UNIDAD
Avance físico (%)	Progreso acumulado de la obra frente a lo programado.	%
Avance financiero (%)	Porcentaje de ejecución presupuestal.	%
SPI y CPI	Eficiencia temporal y de costo (EVM).	Índice
Desviación de cronograma (DS)	Diferencia en días entre el avance real y planificado.	Días
PPC (Lean)	Cumplimiento de compromisos semanales.	%
Alertas tempranas	Número de incidencias activas o cerradas.	Conteo

Fuente: Elaboración propia basada en literatura de PMBOK, EVM y Lean Construction.

El uso sistemático de KPIs permite crear un ecosistema de control integral, donde los resultados se visualizan en tableros digitales y se actualizan automáticamente desde las fuentes institucionales. En EMCALI, la integración de estos indicadores en Power BI ha permitido identificar correlaciones entre demoras operativas y desviaciones financieras, fortaleciendo la capacidad analítica de la UGPI.

Power BI y tableros de control digital

Las plataformas de visualización de datos, como Microsoft Power BI o Tableau, se han convertido en herramientas clave para la toma de decisiones basada en evidencia. Estas aplicaciones permiten consolidar información de múltiples fuentes, como lo son: SAP, Excel, F4, reportes de interventoría, en un solo entorno gráfico e interactivo.

Los tableros de control (dashboards) diseñados para los proyectos de redes de EMCALI incluyen indicadores de avance físico, ejecución presupuestal, alarmas de desviación y seguimiento de restricciones.

Un ejemplo práctico es el tablero UGPI implementado en 2025, donde los usuarios pueden filtrar la información por proyecto, comuna, contratista o fuente de financiación. Este enfoque ha permitido reducir los tiempos de consolidación de reportes de 5 días a menos de 24 horas, y aumentar la frecuencia de análisis gerencial de mensual a semanal.

La trazabilidad digital no reemplaza la supervisión técnica, pero sí fortalece la gobernanza de la información, asegurando que todos los niveles de la organización trabajen sobre una misma fuente de verdad (single source of truth).

Blockchain como soporte documental

El blockchain, o cadena de bloques, es una tecnología de registro distribuido que permite almacenar información de manera inmutable y verificable. En la gestión de proyectos públicos, su aplicación se orienta principalmente a la certificación de documentos, como actas de avance, órdenes de pago o informes de interventoría (Dam et al., 2018).

Su principal ventaja es que cada transacción (por ejemplo, la aprobación de un acta) queda registrada en una cadena cifrada que no puede modificarse sin consenso, lo que garantiza transparencia y trazabilidad total.

Aunque EMCALI aún no implementa blockchain de forma institucional, su adopción piloto podría aplicarse a proyectos de alto valor estratégico, como el registro y validación de actas de recibo parcial y final. Esto reduciría los riesgos de manipulación o pérdida de versiones, y simplificaría las auditorías de entes externos.

Integración de herramientas en proyectos de infraestructura

La trazabilidad digital debe concebirse como un sistema integrado de control, en el que las herramientas no operan de forma aislada, se puede evidenciar en la siguiente Tabla N. 5:

Tabla N. 5

Integración de Herramientas Digitales Para la Trazabilidad y el Monitoreo de Proyectos

COMPONENTE	FUNCIÓN PRINCIPAL	INTEGRACIÓN RECOMENDADA
SAP PS / F4	Registro financiero y físico de avance contractual.	Fuente base de datos para Power BI.
Power BI	Visualización y análisis interactivo.	Conexión directa a SAP y hojas de control Lean.
EVM / Curva S	Control de desempeño temporal y financiero.	Tablero analítico en Power BI.
KPIs Lean (PPC, CNC)	Seguimiento operativo y confiabilidad.	Reporte semanal desde campo.
Blockchain (piloto)	Certificación documental y trazabilidad.	Integración futura con SharePoint institucional.

Fuente: Elaboración propia a partir de literatura especializada en monitoreo digital y sistemas ERP aplicados a infraestructura.

Esta arquitectura tecnológica permite una opción de evolucionar hacia un modelo de gestión basado en datos (data-driven management), en el cual las decisiones operativas y financieras se sustentan en indicadores objetivos y actualizados en tiempo real.

Beneficios y desafíos de la trazabilidad digital

Beneficios

- **Toma de decisiones informada:** disponibilidad inmediata de indicadores clave.

- **Transparencia y rendición de cuentas:** cada cambio o aprobación deja registro verificable.
- **Eficiencia administrativa:** reducción de tiempos de reporte y consolidación de información.
- **Prevención de desviaciones:** alertas automáticas y monitoreo continuo

Desafíos

- **Integración de sistemas heterogéneos:** compatibilidad entre SAP, Power BI y otros sistemas institucionales.
- **Capacitación del personal:** necesidad de fortalecer la alfabetización digital y analítica.
- **Seguridad de la información:** manejo adecuado de datos sensibles y acceso controlado.
- **Cambio cultural:** transición de un enfoque reactivo a uno basado en indicadores.

La experiencia de EMCALI muestra que el éxito de la trazabilidad digital no depende solo de la tecnología, sino de la madurez organizacional y la cultura de medición.

Síntesis de las herramientas y técnicas de monitoreo y control

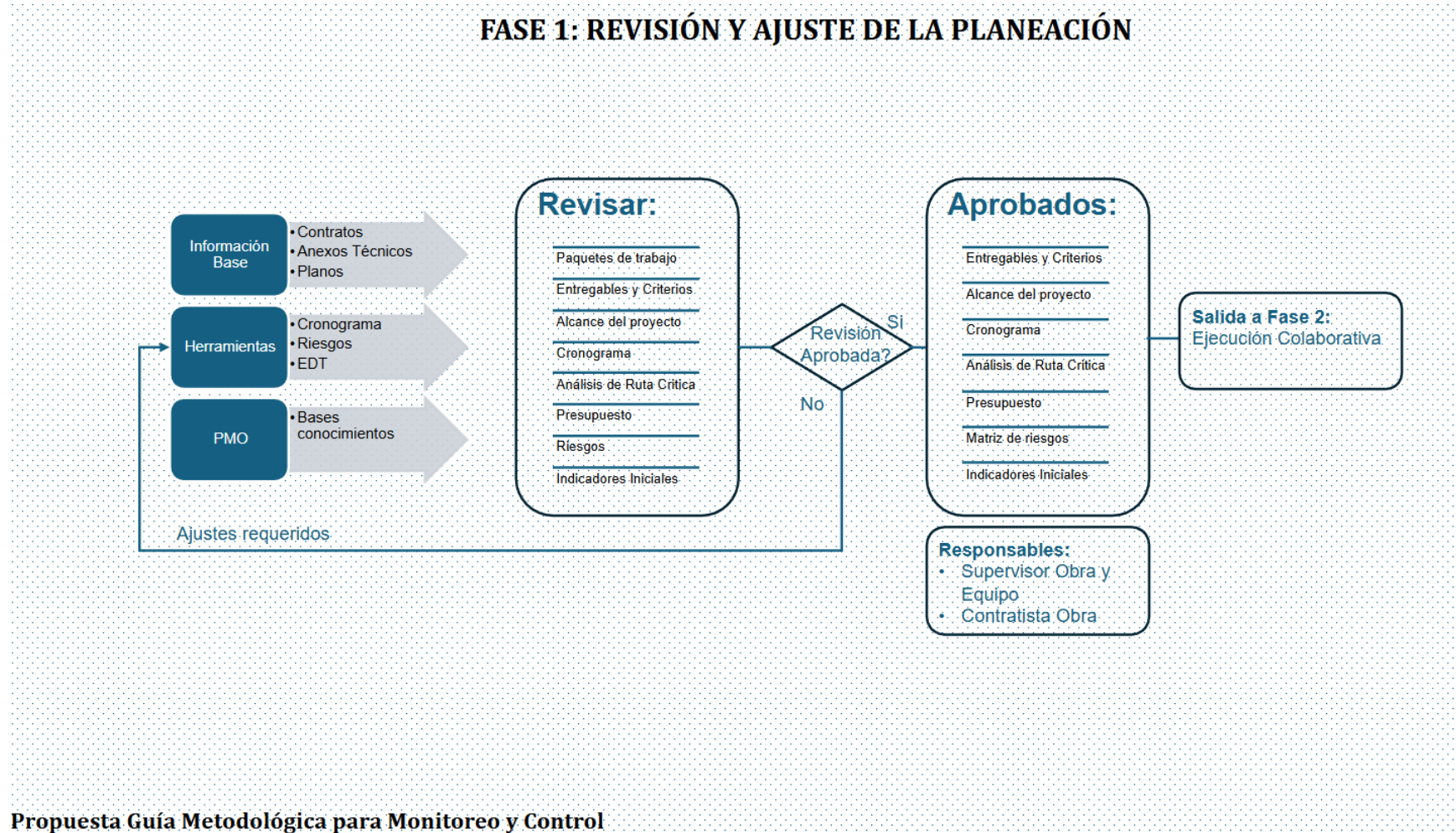
La trazabilidad digital constituye un conjunto de técnicas y herramientas mas no una metodología, las cuales fortalecen la función de monitoreo y control de proyectos. Su propósito es asegurar la transparencia, la eficiencia y la integridad de la información.

En los proyectos de infraestructura, el uso combinado de EVM, Curvas S, KPIs, Power BI y SAP ha demostrado un impacto directo en la reducción de tiempos de análisis y en la mejora de la coherencia entre los reportes fisico-financieros. La eventual incorporación de blockchain potenciaría la trazabilidad documental y la confianza institucional.

De esta forma, la trazabilidad digital no reemplaza las metodologías de gestión, sino que las potencia y complementa, sirviendo como columna vertebral del sistema de información que soporta la toma de decisiones estratégicas.

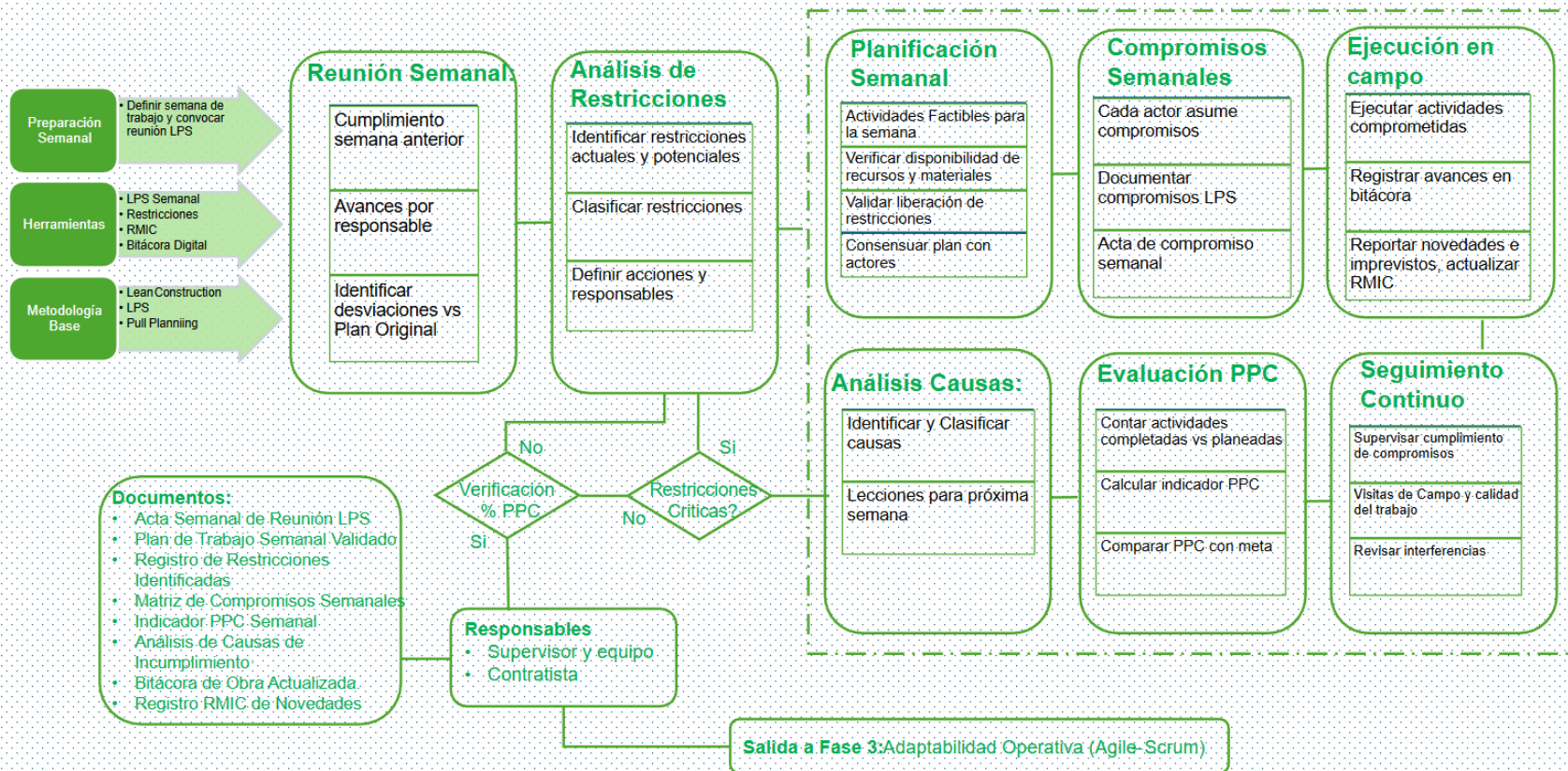
ANEXO B - FASES DE LA PROPUESTA DE LA GUÍA METODOLÓGICA

FASE 1



FASE 2

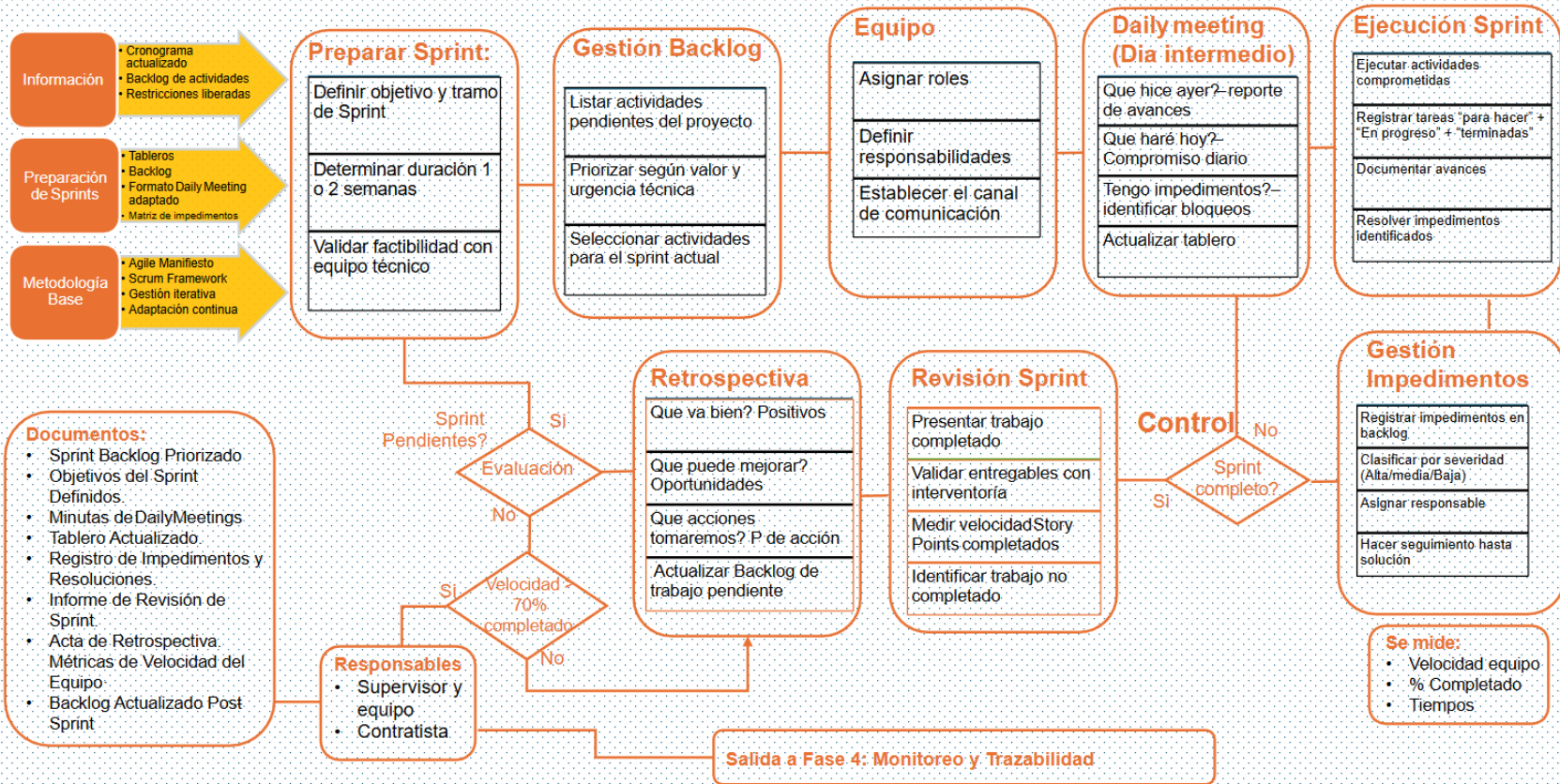
FASE 2: EJECUCIÓN COLABORATIVA (LEAN CONSTRUCTION)



Propuesta Guía Metodológica para Monitoreo y Control

FASE 3

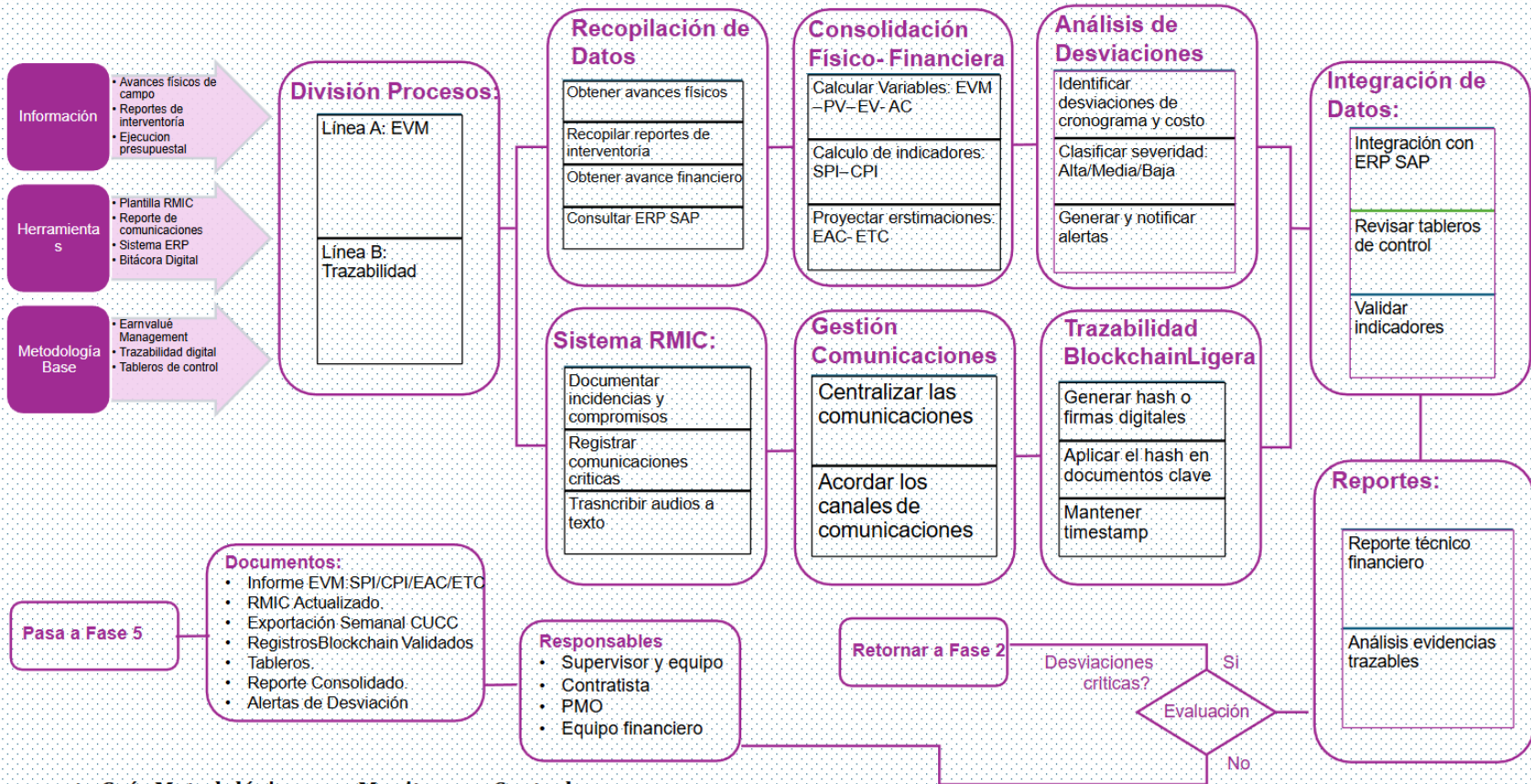
FASE 3: ADAPTABILIDAD OPERATIVA (INSPIRACIÓN AGILE - SCRUM)



Propuesta Guía Metodológica para Monitoreo y Control

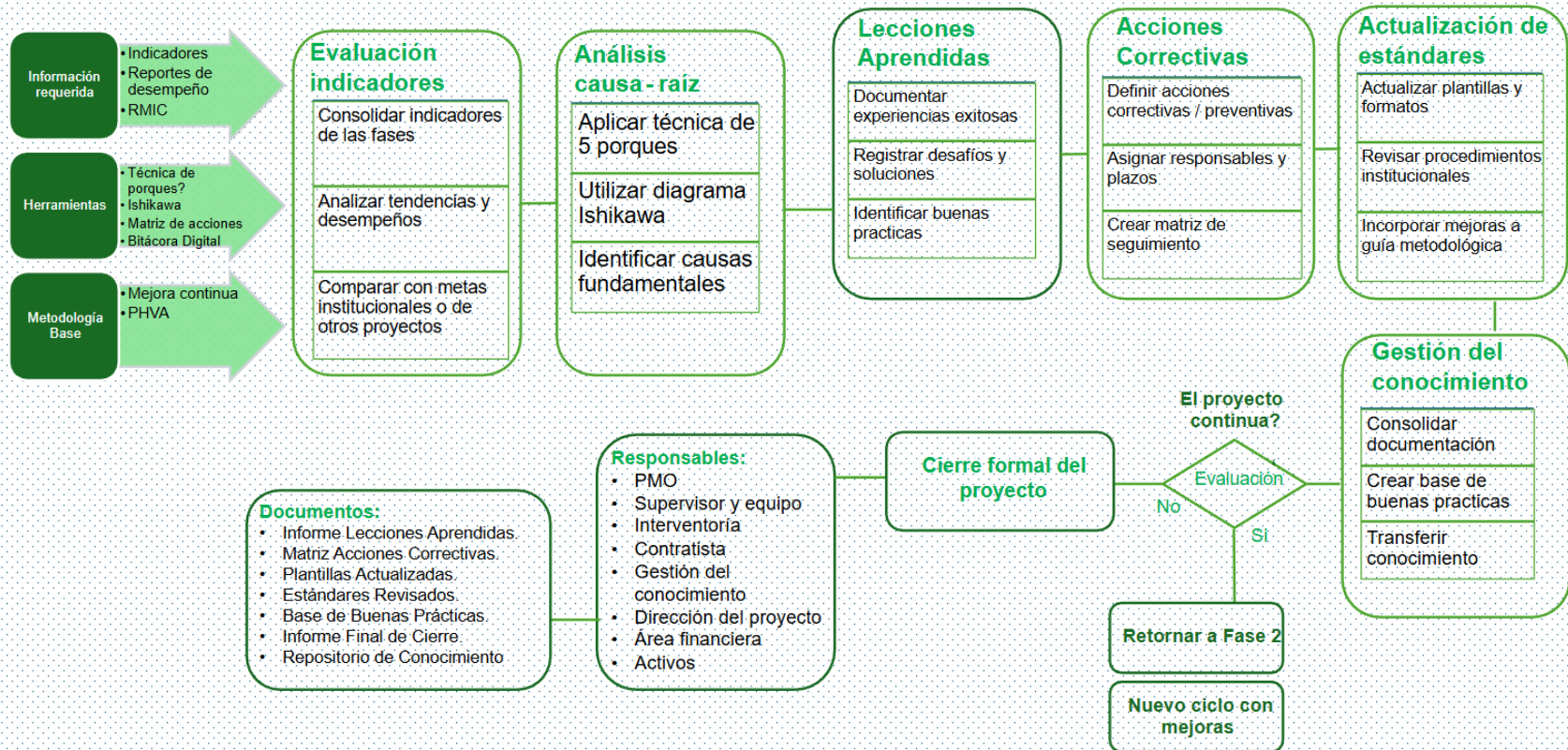
FASE 4

FASE 4: MONITOREO Y TRAZABILIDAD



FASE 5

FASE 5: RETROALIMENTACIÓN Y MEJORA CONTINUA



ANEXO C - ESQUEMA DE FORMULARIO DE CONSULTA MÉTODO DELPHI

RONDA 1

<p>Consulta Técnica – Método Delphi</p> <p>Formulario móvil para recoger y validar (en dos rondas) el conocimiento de obra sobre planificación, seguimiento y coordinación de proyectos de redes y obras civiles en EMCALI. Se garantiza anonimato.</p> <p>Objetivo general: desarrollar una guía metodológica de control y monitoreo integrando PMBOK/EVM con prácticas de producción en obra (Lean/LPS) y tableros de indicadores aplicables en campo.</p> <p>Fecha de diligenciamiento (DD/MM/AAAA): <input type="text"/></p> <p>Ronda 1 – Exploratoria</p> <p>1) Rol en el proyecto (marque todos los que apliquen):</p> <p><input type="checkbox"/> Supervisor de obra Residente / <input type="checkbox"/> Contratista Interventoría <input type="checkbox"/> Inspector Técnico Profesional <input type="checkbox"/> de apoyo <input type="checkbox"/> Otro</p> <p>Si marcó 'Otro', especifique:</p> <input type="text"/> <p>2) N.º de proyectos acompañados (últimos 3 años):</p> <input type="text"/> <p>3) Herramientas usadas (cronograma, Excel, tablero, WhatsApp, actas...):</p> <input type="text"/> <p>4) Frecuencia de actualización del plan de trabajo (marque las que se usan):</p> <p><input type="checkbox"/> Diaria <input type="checkbox"/> Semanal <input type="checkbox"/> Quincenal <input type="checkbox"/> Mensual <input type="checkbox"/> Solo cuando hay retrasos</p>	<p>5) Obstáculos frecuentes para avanzar (marque todos los que apliquen):</p> <p><input type="checkbox"/> Falta o retraso de materiales Falta de cuadrillas / mano de obra Falta de equipos o herramientas Permisos o trámites externos <input type="checkbox"/> Planos incompletos o cambios de diseño Interferencias encontradas en campo Coordinación con otras obras / entidades <input type="checkbox"/> Otro</p> <p>Si marcó 'Otro' en obstáculos, especifique:</p> <input type="text"/> <p>6) ¿Cómo considera la comunicación entre actores? (puede marcar más de una si varía):</p> <p><input type="checkbox"/> Muy buena <input type="checkbox"/> Adecuada <input type="checkbox"/> Irregular <input type="checkbox"/> Deficiente</p> <p>7) Práctica(s) que ayudarían a mejorar la coordinación:</p> <input type="text"/> <p>8) Indicadores útiles para monitorear avance:</p> <input type="text"/> <p>9) Indicadores difíciles de aplicar en obra:</p> <input type="text"/> <p>10) Si pudiera estandarizar una sola práctica, ¿cuál sería y por qué?</p> <input type="text"/>
--	---

RONDA 2

Ronda 2 – Priorización (Impacto 1–5) • Seleccione todos los que apliquen

1) Falta de aviso temprano sobre obstáculos

1 2 3 4 5

2) Programación no ajustada al ritmo real

1 2 3 4 5

3) Retrasos por permisos / trámites

1 2 3 4 5

4) Cambios inesperados en terreno

1 2 3 4 5

5) Dificultad para cumplir la programación semanal

1 2 3 4 5

6) Falta de indicadores claros

1 2 3 4 5

7) Comunicación insuficiente entre actores

1 2 3 4 5

Ronda 2 – Viabilidad (1–5) • Seleccione todos los que apliquen

1) Programación anticipada 2–6 semanas

1 2 3 4 5

2) Reunión semanal de compromisos

1 2 3 4 5

3) Registro simple de obstáculos

1 2 3 4 5

4) Indicador de cumplimiento semanal

1 2 3 4 5

5) SPI / CPI por contrato

1 2 3 4 5

6) Revisión previa de interferencias

1 2 3 4 5