



[VIGILADA MINEDUCACIÓN Res. 12220 de 2016]

Diseño de un Tablero de Control Preventivo Mediante la Integración de Earned Value Management (Evm) Y Last Planner System (Lps) para Anticipar Desviaciones en la Fase de Ejecución de Proyectos de Construcción

Juan David Granja Garces

Luis Angel Hurtatis Joven

Dirigida por: Pablo Alejandro Zuñiga Guevara

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Maestría en Ingeniería Civil

Santiago de Cali

Mayo de 2026

Agradecimientos

Juan David Granja Garces: Agradezco profundamente a Dios por brindarme fortaleza y perseverancia durante este proceso académico. De manera especial, agradezco a mis padres, Norman German y Delita, por su apoyo incondicional, sacrificio y motivación constante, especialmente a mi madre, quien estuvo presente en los momentos más difíciles impulsándome a continuar cuando pensé que no lo lograría. Asimismo, agradezco a mis hermanos, Norman Adrián, Lina Maria y Diego Fernando, así como a los demás familiares y personas cercanas que, con su paciencia, apoyo y confianza, contribuyeron de una u otra forma a la culminación de esta etapa. Finalmente, expreso mi gratitud a la universidad y a los docentes por la formación académica y los conocimientos adquiridos, fundamentales para el desarrollo de este proyecto, representando no solo una meta cumplida, sino también un importante crecimiento personal y profesional.

Luis Angel Hurtatis Joven: Agradezco primeramente a Dios, por culminar satisfactoriamente esta importante etapa académica y profesional. A mi familia, por su apoyo y motivación constante durante todo el proceso de formación donde su confianza y acompañamiento fueron fundamentales para alcanzar esta meta. A mi compañero de tesis, por el compromiso, la dedicación y el trabajo en equipo demostrado durante el desarrollo de la tesis que, a través del intercambio de ideas, la colaboración y el esfuerzo conjunto hicieron posible la culminación de este proyecto académico. A los docentes y directivos de la maestría, por compartir sus conocimientos, experiencias y orientaciones, contribuyendo significativamente a nuestro crecimiento profesional y personal. Finalmente, agradezco a todas las personas que, de una u otra manera, aportaron al desarrollo de este trabajo y al cumplimiento de este logro académico.

Contenido

1. Resumen.....	10
2. Abstract.....	11
3. Introducción.....	12
3.1. Definición del Problema de Investigación.....	12
3.2. Pregunta de Investigación.....	13
3.3. Objetivos del Proyecto.....	14
3.3.1. Objetivo General.....	14
3.3.2. Objetivos Específicos.....	14
3.4. Alcance del Estudio.....	14
3.5. Justificación del Trabajo de Grado.....	15
4. Marco Teórico y de Referencia.....	16
4.1. Earned Value Management (EVM).....	16
4.1.1. Origen y Evolución.....	16
4.1.2. Fundamentos e Indicadores del EVM.....	17
4.1.3. Proyecciones Futuras con EVM.....	19
4.1.4. Limitaciones del EVM Como Sistema de Control Aislado.....	19
4.2. Last Planner System (LPS).....	20
4.2.1. Origen y Principios Lean Construction.....	20
4.2.2. El Ciclo Should–Can–Will–Did.....	20

4.2.3. Indicadores del LPS.....	21
4.2.4. Limitaciones del LPS Como Sistema de Control Aislado.....	23
4.3. Integración EVM+LPS: Estado del Arte.....	23
4.3.1. Antecedentes de Integración en la Literatura.....	24
4.3.2. La Ecuación de Integración $EV = PPC \times PV$	24
4.3.3. Correlación Empírica PPC–CPI.....	25
4.3.4. El CCI como Indicador Anticipatorio.....	25
4.4. Tableros de Control en Gestión de Proyectos de Construcción.....	26
4.5. Normativa y Estándares Internacionales Aplicables.....	27
4.5.1. PMI PMBOK 7 (2021).....	27
4.5.2. AACE International RP 18R-97.....	27
4.6. Estado del Arte en Colombia y Latinoamérica.....	27
5. Metodología.....	28
5.1. Enfoque y Tipo de Investigación.....	28
5.2. Diseño Metodológico: Tres Fases Secuenciales.....	29
5.3. Fase 1: Revisión Sistemática de Literatura (OE1).....	30
5.3.1. Protocolo de Búsqueda: Adaptación PRISMA.....	30
5.3.2. Fuentes, Período y Ecuaciones de Búsqueda.....	31
5.3.3. Criterios de Inclusión y Exclusión.....	32
5.3.4. Proceso de Selección y Resultados.....	33

5.3.5. Clasificación del Corpus Seleccionado.....	34
5.3.6. Instrumento de Extracción: La Matriz de Análisis.....	34
5.4. Fase 2: Construcción del Marco Conceptual Integrado (OE2).....	35
5.4.1. Síntesis Comparativa de Indicadores.....	35
5.4.2. Construcción de la Tabla Comparativa EVM–LPS.....	35
5.4.3. Definición de Umbrales de Semaforización.....	35
5.4.4. Definición de Requisitos Funcionales.....	36
5.5. Fase 3: Diseño, Verificación y Validación del Tablero (OE3).....	36
5.5.1. Principio de diseño del Tablero.....	36
5.5.2. Construcción del Dataset Sintético.....	36
5.5.3. Implementación en Power BI Desktop.....	37
5.5.4. Criterios de Verificación Funcional.....	38
5.5.5. Criterios de Validación Documental.....	38
6. Resultados y Análisis.....	39
6.1. Resultados de la Revisión Sistemática de Literatura (OE1).....	39
6.1.1. Corpus seleccionado: del inventario a la síntesis.....	39
6.1.2. Hallazgos Empíricos Clave del Corpus.....	41
6.1.3. Análisis de Vacíos de Investigación.....	43
6.2. Marco Conceptual Integrado EVM+LPS (OE2).....	43
6.2.1. Sistema de Indicadores Integrado.....	43

6.3. La Cadena Causal Anticipatoria.....	45
6.3.1. Análisis Comparativo EVM–LPS.....	47
6.4. Sistema de Semaforización con Umbrales Empíricos.....	48
6.4.1. Requisitos Funcionales del Sistema Integrado.....	49
6.5. Diseño del Tablero de Control Preventivo (OE3).....	50
6.5.1. Arquitectura de Tres Paneles.....	50
6.5.2. Modelo de Datos: Arquitectura Estrella.....	50
6.5.3. Lógica de Cálculo: Fórmulas Excel y Medidas DAX.....	52
6.5.4. Descripción de los Paneles Implementados.....	52
6.6. Verificación Funcional del Tablero.....	56
6.6.1. Verificación de la Cadena Anticipatoria (Escenario B).....	57
6.7. Validación documental del diseño.....	59
6.7.1. Contraste con el Corpus Científico (Nivel 5).....	59
6.7.2. Contraste con Estándares Internacionales.....	59
7. Conclusiones.....	61
7.1. Conclusión General.....	61
7.2. Conclusión Sobre el OE1 — Revisión Sistemática de Literatura.....	62
7.3. Conclusión Sobre el OE2 — Marco Conceptual Integrado.....	62
7.4. Conclusión Sobre el OE3 — Diseño y Verificación del Tablero.....	63
7.5. Limitaciones del Estudio.....	64

8. Recomendaciones.....	65
8.1. Validación empírica en proyectos reales de construcción en Colombia.....	65
8.2. Calibración de Umbrales para el Contexto Colombiano.....	66
8.3. Extensión con Métricas Avanzadas de LPS.....	66
8.4. Integración con Tecnologías BIM y Sistemas ERP.....	67
9. Referencias.....	67
10. Glosario de Términos Especiales.....	71

Lista de Tablas

Tabla 1 Indicadores principales del Earned Value Management.....	18
Tabla 2 Ecuaciones de búsqueda utilizadas en Scopus y Web of Science.....	31
Tabla 3 Criterios de inclusión y exclusión de la revisión sistemática.....	33
Tabla 4 Resultados del proceso de selección de literatura según protocolo PRISMA..	33
Tabla 5 Criterios de validación documental por referente.....	39
Tabla 6 Distribución del corpus de 80 artículos por nivel de afinidad temática.....	41
Tabla 7 Hallazgos empíricos clave del corpus EVM+LPS.....	41
Tabla 8 Análisis de vacíos de investigación identificados en el corpus.....	43
Tabla 9 Indicadores EVM seleccionados para el tablero de control (12 indicadores)..	44
Tabla 10 Indicadores LPS seleccionados para el tablero de control (7 indicadores)...	45
Tabla 11 Análisis comparativo EVM–LPS en dimensiones funcionales.....	47
Tabla 12 Sistema de umbrales de semaforización integrada (15 umbrales con respaldo empírico).....	48
Tabla 13 Requisitos funcionales del tablero de control preventivo integrado (16 RF)..	49
Tabla 14 Arquitectura de los tres paneles del tablero de control preventivo.....	50
Tabla 15 Resultados de la verificación funcional del tablero por escenario.....	56
Tabla 16 Cadena anticipatoria verificada: primera semana en alerta por indicador, Escenario B.....	57
Tabla 17 Matriz de validación documental del tablero de control preventivo.....	60

Lista de Figuras

Figura 1 Diseño metodológico del trabajo de grado: tres fases secuenciales y sus entregables.....	30
Figura 2 Diagrama de flujo del proceso de selección de literatura según protocolo PRISMA.....	40
Figura 3 Cadena causal anticipatoria: CCI → PPC → SPI / CPI con horizonte anticipatorio de 2 a 5 semanas.....	46
Figura 4 Vista del modelo de datos en Power BI Desktop: arquitectura estrella con tres tablas.....	52
Figura 5 Panel A — Control EVM: tarjetas de KPI y curva S, Escenario B – Retraso Progresivo.....	53
Figura 6 Panel A — Gráfico de cadena causal anticipatoria, Escenario B.....	54
Figura 7 Panel B — Control LPS: indicadores PPC, CCI, RNC y tabla de restricciones, Escenario B.....	55
Figura 8 Panel C — Alertas integradas: semáforo global y gráfico de cadena anticipatoria, Escenario B.....	56

1. Resumen

Los retrasos y sobrecostos en la fase de ejecución de proyectos de construcción constituyen una problemática global persistente que evidencia las limitaciones de los sistemas tradicionales de control. Aunque metodologías como el Earned Value Management (EVM) y el Last Planner System (LPS) aportan métricas complementarias para el seguimiento del desempeño, su aplicación aislada restringe la capacidad de anticipar desviaciones de manera integral. El presente trabajo tuvo como objetivo diseñar un tablero de control preventivo que integre los indicadores físico-financieros del EVM con las métricas de confiabilidad operativa del LPS, con el fin de generar alertas tempranas en tiempo y costo durante la fase de ejecución. Para ello, se realizó una revisión sistemática de literatura científica con protocolo PRISMA, que procesó 851 registros, seleccionó 80 artículos y consolidó un núcleo de 25 publicaciones sobre integración EVM+LPS. A partir del análisis del corpus se definieron 19 indicadores integrados, 15 valores de corte para la semaforización (3 por cada uno de los 5 indicadores monitoreados: CCI, PPC, SPI, CPI y %RNC internos) con respaldo empírico y 16 requisitos funcionales del sistema. El tablero resultante, implementado en Power BI Desktop, consta de tres paneles complementarios —control EVM, control LPS y alertas integradas— y fue verificado mediante datos sintéticos en tres escenarios representativos. Los resultados evidencian que la integración de ambas metodologías, a través de la ecuación $EV = PPC \times PV$ y el Índice de Coordinación de Restricciones (CCI), permite anticipar deterioros en el SPI y el CPI con un horizonte de 2 a 5 semanas. El modelo constituye una herramienta de control preventivo técnicamente sustentada y coherente con los estándares PMI PMBOK 7, AACE 18R-97 y los principios del Lean Construction Institute.

Palabras clave: Earned Value Management, Last Planner System, tablero de control preventivo, indicadores integrados, alertas tempranas.

2. Abstract

Cost overruns and schedule delays in the construction project execution phase represent a persistent global challenge that exposes the limitations of traditional control systems. Although methodologies such as Earned Value Management (EVM) and Last Planner System (LPS) provide complementary performance metrics, their isolated application limits the ability to anticipate deviations comprehensively. This study aimed to design a preventive control dashboard integrating EVM financial-temporal indicators with LPS operational reliability metrics to generate early warnings during project execution. A systematic literature review following PRISMA protocol processed 851 records, selected 80 articles, and consolidated a core corpus of 25 EVM+LPS integration publications. The analysis yielded 19 integrated indicators, 15 empirically grounded alert thresholds, and 16 functional requirements. The resulting dashboard, implemented in Power BI Desktop, comprises three complementary panels and was verified through synthetic data in three representative scenarios. Results show that integrating both methodologies through the equation $EV = PPC \times PV$ and the Constraint Coordination Index (CCI) enables anticipating SPI and CPI deterioration with a 2-to-5-week horizon. The model constitutes a technically sound preventive control tool aligned with PMI PMBOK 7, AACE 18R-97, and Lean Construction Institute standards.

Keywords: Earned Value Management, Last Planner System, preventive control dashboard, integrated indicators, early warning systems.

3. Introducción

3.1. Definición del Problema de Investigación

La industria de la construcción es una de las más grandes e importantes a nivel mundial, representando aproximadamente el 13 % del Producto Interno Bruto global; sin embargo, ha mantenido un crecimiento de productividad de apenas el 1 % anual durante las últimas dos décadas, lo que evidencia una de las brechas más pronunciadas entre los sectores productivos (McKinsey & Company, 2020). Esta situación se materializa de forma directa en los resultados de los proyectos: estudios globales muestran que el 98 % de los megaproyectos sufren sobrecostos o retrasos, con un retraso medio de 20 meses respecto al cronograma original (Changali et al., 2015). En el contexto latinoamericano, un estudio del Banco Mundial reveló que alrededor del 70 % de los proyectos de infraestructura presentan retrasos, cifra que coincide con las tendencias globales documentadas (World Bank, 2024).

De acuerdo con (Rudeli et al., 2018), los problemas que se originan durante la fase de ejecución constituyen la principal causa de los atrasos, al reflejar deficiencias en la planificación, coordinación y control de los recursos. Esta realidad confirma la persistente brecha de productividad que enfrenta el sector e impulsa la necesidad de adoptar enfoques más eficientes de gestión. En este contexto, el fortalecimiento de los mecanismos de control y seguimiento durante la fase de ejecución se convierte en un reto estratégico para lograr proyectos más predecibles, eficientes y colaborativos, en línea con los principios de desempeño establecidos por el Project Management Institute (Project Management Institute, 2021).

En respuesta a este panorama, dos metodologías han emergido como las más relevantes para el control de la ejecución de proyectos de construcción: el Earned Value Management (EVM) y el Last Planner System (LPS). El EVM se ha consolidado como una herramienta de control cuantitativo que integra costo, tiempo y alcance para evaluar el progreso y la eficiencia del proyecto (Hazir, 2015). Sus indicadores —como el Schedule Performance

Index (SPI) y el Cost Performance Index (CPI)— proporcionan una visión objetiva del avance, pero se centran principalmente en el análisis posterior de las desviaciones, con capacidad limitada de anticipación (Pourrahimian et al., 2024). Por otro lado, el LPS, desarrollado en el marco de la filosofía Lean Construction, promueve la planificación colaborativa y la confiabilidad de los compromisos semanales a través de indicadores como el Porcentaje de Plan Completado (PPC), las Razones de No Cumplimiento (RNC) y el Índice de Coordinación de Restricciones (CCI); sin embargo, su aplicación tiende a centrarse en el corto plazo y carece de métricas integrales de desempeño financiero o temporal (Alarcón et al., 2005).

A pesar de los avances en ambas metodologías, la literatura indica que su integración se ha abordado de manera parcial y con distintos niveles de madurez, sin consolidarse aún como un enfoque estándar en el control de la ejecución. (Novinsky et al., 2018) propusieron que la aplicación conjunta del EVM y el LPS podría conducir a una medición integral del progreso del proyecto, planteando la necesidad de combinar la medición objetiva del EVM con la confiabilidad operacional del LPS para construir sistemas de control más predictivos. (Ezzeddine et al., 2019) confirman esta sinergia al señalar que la integración permitiría transformar la gestión tradicional —reactiva y correctiva— en un enfoque preventivo y basado en datos, donde los indicadores de desempeño se convierten en señales tempranas para la toma de decisiones. (Pourrahimian et al., 2024) identifican explícitamente que ningún sistema existente ha operacionalizado esta integración con alertas preventivas automáticas y horizonte anticipatorio cuantificado.

En este contexto, la ausencia de una herramienta integrada que consolide indicadores de desempeño físico-financiero (EVM) y confiabilidad operativa (LPS) limita la capacidad predictiva del control durante la ejecución. Por lo tanto, surge la necesidad de diseñar un tablero de control preventivo que articule ambas metodologías y permita transformar la gestión reactiva en un sistema de alerta temprana basado en indicadores integrados.

3.2. Pregunta de Investigación

Con base en el problema descrito, se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo integrar los indicadores de Earned Value Management (EVM) y Last Planner System (LPS) en un tablero de control preventivo que permita anticipar desviaciones en tiempo y costo durante la fase de ejecución de proyectos de construcción?

3.3. Objetivos del Proyecto

3.3.1. Objetivo General

Diseñar un tablero de control preventivo que integre los indicadores de Earned Value Management (EVM) y Last Planner System (LPS) para anticipar desviaciones en tiempo y costo durante la fase de ejecución de proyectos de construcción.

3.3.2. Objetivos Específicos

OE1. Analizar la literatura científica indexada (2015–2026) sobre la aplicación de EVM y LPS en la fase de ejecución de proyectos de construcción, identificando sus indicadores, limitaciones y oportunidades de integración.

OE2. Definir los requisitos funcionales y los indicadores clave de desempeño (KPI) necesarios para la integración operativa de EVM y LPS en un sistema de control preventivo.

OE3. Desarrollar el modelo conceptual del tablero de control preventivo, incorporando indicadores físicos y financieros y verificando su coherencia técnica mediante datos sintéticos y contraste documental.

3.4. Alcance del Estudio

El presente trabajo de grado se desarrolló en tres fases secuenciales orientadas al cumplimiento del objetivo general. En la primera fase se realizó una revisión sistemática y análisis crítico de literatura científica indexada publicada entre 2015 y 2026, enfocada en la gestión y control de la ejecución de proyectos de construcción mediante las metodologías EVM y LPS. Esta etapa permitió identificar los enfoques más relevantes, sus indicadores característicos, los vacíos de integración y las oportunidades de mejora documentadas en la literatura.

En la segunda fase se efectuó una síntesis comparativa de los hallazgos, con el fin de establecer las complementariedades y limitaciones de EVM y LPS, determinar los indicadores clave de desempeño susceptibles de integración y formular los requisitos funcionales para el diseño del sistema de control preventivo.

En la tercera fase se llevó a cabo el diseño conceptual del tablero de control preventivo, incluyendo la definición de indicadores físicos y financieros (SPI, CPI, PPC, CCI, RNC), la estructura del flujo de información y los umbrales de alerta para la toma de decisiones. Como parte de esta fase, se realizó una verificación interna del funcionamiento conceptual del tablero mediante datos sintéticos, con el fin de evaluar la coherencia operativa del diseño sin constituir una validación empírica en proyectos reales.

El alcance se limita a la fase de ejecución de proyectos de construcción, sin abordar etapas de diseño, contratación o postentrega. El resultado final consiste en un modelo conceptual de tablero de control preventivo técnicamente sustentado, con sus indicadores integrados y su funcionamiento básico verificado, que proporciona una base estructurada para futuras implementaciones prácticas o validaciones en proyectos reales.

3.5. Justificación del Trabajo de Grado

La importancia de este trabajo radica en la necesidad de contar con un sistema de control preventivo que integre los dos enfoques complementarios más relevantes de la gestión de proyectos de construcción. La justificación se articula en tres dimensiones.

Desde una perspectiva académica, el estudio aporta evidencia estructurada sobre cómo vincular la confiabilidad operativa semanal —medida por el PPC y el CCI del LPS— con el desempeño financiero acumulado —medido por el SPI y el CPI del EVM—, llenando el vacío identificado por (Pourrahimian et al., 2024). La correlación empírica $r = 0.834$ documentada por (Govindasamy & Bekker, 2024) entre el PPC y el CPI, y la ecuación de integración $EV = PPC \times PV$ propuesta por (Novinsky et al., 2018), constituyen el fundamento científico de esta

vinculación, pero aún no han sido operacionalizados en una herramienta de control funcional verificada.

Desde una perspectiva profesional, el tablero propuesto ofrece al director de proyecto una herramienta operacional que podría emitir alertas con 2 a 5 semanas de anticipación al deterioro del SPI y el CPI, según el modelo teórico sustentado en el corpus revisado, permitiendo intervenciones correctivas antes de que el impacto financiero sea irreversible. Esta capacidad preventiva representa una mejora cualitativa sustancial respecto a los sistemas de control convencionales que, según (Pourrahimian et al., 2024), solo predicen correctamente el resultado final del proyecto en el 24 % de los casos cuando se evalúan en la primera mitad de la ejecución.

Desde una perspectiva de sostenibilidad, este trabajo contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 (Industria, Innovación e Infraestructura), al proponer una herramienta que mejora la eficiencia en la ejecución de proyectos; al ODS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), al fortalecer la gestión de proyectos de construcción que impactan directamente el entorno urbano; y al ODS 12 (Producción y Consumo Responsables), al promover el uso eficiente de los recursos durante la ejecución de obras.

4. Marco Teórico y de Referencia

4.1. Earned Value Management (EVM)

4.1.1. Origen y Evolución

El Earned Value Management tiene sus raíces en el sistema de control de costos del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, donde fue formalizado a mediados de la década de 1960 bajo el nombre de Cost/Schedule Control Systems Criteria (C/SCSC). Desde su origen, el sistema buscaba integrar en una sola métrica tres dimensiones fundamentales del desempeño de un proyecto: el alcance, el costo y el cronograma. A lo largo de las siguientes décadas, la metodología fue adoptada de manera progresiva por el sector privado y

estandarizada por organismos internacionales, entre ellos el Project Management Institute a través de las sucesivas ediciones del PMBOK, (Project Management Institute, 2021).

En el sector de la construcción, la adopción del EVM se ha consolidado como una práctica de referencia para proyectos de mediana y gran escala. Su capacidad para transformar el avance físico en un valor monetario comparable con el costo real y el presupuesto planificado lo ha convertido en el estándar dominante de control cuantitativo del desempeño en proyectos de ingeniería y construcción a nivel mundial (Hazir, 2015). En Colombia, su implementación en proyectos de vivienda e infraestructura ha evidenciado beneficios concretos en la detección de desviaciones presupuestales y en el seguimiento del cronograma (Project Management Institute, 2021).

4.1.2. Fundamentos e Indicadores del EVM

El EVM se sustenta en tres valores base que se calculan periódicamente —típicamente de manera semanal o mensual— a lo largo de la fase de ejecución del proyecto:

El **Valor Planificado (PV, Planned Value)** representa el costo presupuestado del trabajo que debería haberse completado hasta la fecha de corte, de acuerdo con el cronograma de referencia. Se obtiene multiplicando el porcentaje de avance programado por el Presupuesto Total al Cierre (BAC, Budget at Completion).

El **Valor Ganado (EV, Earned Value)** representa el costo presupuestado del trabajo que efectivamente se completó hasta la fecha de corte, independientemente de cuánto costó en realidad. Es la métrica central del sistema: traduce el avance físico real al lenguaje monetario del presupuesto.

El **Costo Real (AC, Actual Cost)** corresponde al total de costos efectivamente incurridos por el trabajo ejecutado hasta la fecha de corte, según los registros contables del proyecto.

A partir de estos tres valores se calculan los indicadores de desempeño y varianza que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1

Indicadores principales del Earned Value Management.

Indicador	Sí gla	Fórmula	Interpretación
Varianza del Cronograma	SV	$EV - PV$	Positivo: adelanto. Negativo: retraso
Varianza del Costo	CV	$EV - AC$	Positivo: ahorro. Negativo: sobre costo
Índice de Desempeño del Cronograma	SP I	EV / PV	> 1.0 adelantado. < 1.0 atrasado
Índice de Desempeño del Costo	CP I	EV / AC	> 1.0 eficiente. < 1.0 sobre costo
Estimado al Cierre	EA C	BAC / CPI	Costo total proyectado al terminar
Índice de Rendimiento del Trabajo por Completar	TC PI	$(BAC - EV) / (BAC - AC)$	Eficiencia requerida para terminar en presupuesto
Cronograma Ganado	ES	Tiempo equivalente al EV actual	Corrige el sesgo del SPI en etapas finales

Nota. Fuente: Elaboración propia basada en PMI (2021) y Lipke (2003).

El SPI y el CPI son los indicadores operativos de mayor uso. El EAC, calculado como BAC/CPI , constituye la métrica más relevante para la toma de decisiones financieras: proyecta el costo total del proyecto si el nivel de eficiencia actual se mantiene hasta su conclusión. El TCPI indica la eficiencia que el equipo debe sostener desde el momento del corte hasta el cierre para terminar exactamente en el presupuesto original; valores superiores a 1.25 son considerados en la práctica profesional como prácticamente inalcanzables sin una replanificación total del proyecto (Project Management Institute, 2021).

El **Cronograma Ganado (Earned Schedule, ES)**, introducido por (Lipke, 2003), corrige una limitación conocida del SPI convencional: a medida que el proyecto se aproxima a su conclusión, el SPI converge artificialmente hacia 1.0 independientemente del retraso real, porque el denominador (PV) se aproxima al BAC. El ES convierte el EV en unidades de tiempo —estableciendo cuándo debería haberse alcanzado el nivel de avance actual según el cronograma de referencia— y permite calcular un $SPI(t) = ES/AT$ que no experimenta este

sesgo, resultando más confiable para proyecciones de duración en la etapa final de la ejecución.

4.1.3. Proyecciones Futuras con EVM

Además de medir el desempeño presente, el EVM permite realizar proyecciones hacia el cierre del proyecto mediante métricas complementarias. El **Estimate to Complete (ETC)** calcula el costo adicional necesario para completar el trabajo pendiente. La **Variance at Completion (VAC)** cuantifica la diferencia entre el presupuesto original y el costo total proyectado. (Ottaviani et al., 2026) propusieron el **Work Rate (WR)** como un indicador adicional que mide la tasa de generación de valor ganado por período, demostrando que los modelos de pronóstico que incorporan el WR y su aceleración mejoran la precisión de las estimaciones de EAC en un 37 % respecto a los modelos que solo utilizan el CPI.

4.1.4. Limitaciones del EVM Como Sistema de Control Aislado

A pesar de su solidez metodológica y amplia adopción, el EVM presenta limitaciones estructurales que reducen su eficacia como sistema de control preventivo. (Pourrahimian et al., 2024) evaluaron la precisión predictiva del EVM convencional en una muestra de proyectos de construcción, usando como criterio de éxito que el pronóstico del costo final, calculado en la primera mitad de la ejecución, no se desviara más del 10 % del costo real al cierre. Bajo esta definición operacional, el EVM predice correctamente en apenas el 24 % de los casos, lo que evidencia una capacidad de anticipación significativamente limitada cuando se evalúa antes de que el proyecto haya completado su punto de máxima incertidumbre.

Las tres limitaciones más relevantes para el presente trabajo son las siguientes. En primer lugar, el EVM es esencialmente retrospectivo: el SPI y el CPI de un período de corte reflejan el desempeño acumulado de semanas o meses anteriores. Para cuando un índice alcanza un nivel crítico, el problema que lo generó lleva tiempo gestándose en el nivel operativo sin haber sido detectado. En segundo lugar, el EVM no identifica las causas operativas de las desviaciones: un SPI de 0.75 puede ser consecuencia de escasez de mano de obra, materiales

no entregados, diseños incompletos o una mala gestión de restricciones, pero la metodología no distingue entre estas causas, lo que dificulta la implementación de acciones correctivas específicas. En tercer lugar, el EVM requiere una estructura de desglose del trabajo (EDT) bien definida y una línea base de desempeño integrada, lo que impone una carga de planificación inicial considerable que no siempre se cumple en proyectos de construcción de mediana escala.

4.2. Last Planner System (LPS)

4.2.1. Origen y Principios Lean Construction

El Last Planner System (LPS) fue desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell en el contexto de la filosofía Lean Construction durante la primera mitad de la década de 1990, con su formalización en la tesis doctoral de (H. G. Ballard, 2000). El sistema nació como respuesta a una observación fundamental: los problemas de incumplimiento en la construcción no son principalmente de ejecución, sino de planificación. Cuando los trabajadores llegan a obra y no encuentran los materiales, los diseños, el equipo o las condiciones necesarias para ejecutar su trabajo, la variabilidad resultante se propaga a lo largo de la cadena de producción y genera retrasos en cascada (G. Ballard & Howell, 2003; Koskela, 2000).

El nombre "Last Planner" alude al concepto central del sistema: el "último planificador" es la persona que asigna trabajo directamente a los ejecutores —el maestro de obra, el supervisor de cuadrilla, el residente de campo— y que, por tanto, es quien tiene la autoridad y el conocimiento necesarios para comprometerse de manera realista con lo que puede hacerse en la semana siguiente. Este concepto contrasta con los sistemas de planificación convencionales, donde el cronograma es elaborado por una persona o equipo central distante de la operación diaria de obra (H. G. Ballard, 2000).

4.2.2. El Ciclo Should–Can–Will–Did

La estructura del LPS se organiza en cuatro niveles de planificación que responden a preguntas secuenciales sobre lo que debería hacerse, lo que puede hacerse, lo que se hará y lo que se hizo:

El nivel **Should** corresponde al Plan Maestro y a la Programación de Fases, que definen los hitos, la secuencia general y los criterios de traspaso entre etapas del proyecto. Establece qué debería hacerse a lo largo de toda la obra desde una perspectiva estratégica.

El nivel **Can** corresponde al Lookahead, un horizonte de planificación de 4 a 6 semanas hacia adelante que analiza las restricciones que impiden ejecutar cada actividad programada. Su propósito es identificar y remover anticipadamente los impedimentos —falta de materiales, permisos pendientes, diseños incompletos, áreas de trabajo no disponibles, equipos no programados— para que el trabajo quede listo para ejecutarse cuando llegue su semana de programación. Este proceso se denomina make-ready y es el que distingue al LPS de los sistemas de planificación convencionales (G. Ballard, 1997).

El nivel **Will** corresponde al Plan de Trabajo Semanal (Weekly Work Plan, WWP), elaborado colaborativamente en la reunión de planificación de cada semana. Contiene los compromisos específicos y medibles que el equipo se compromete a completar en los próximos siete días. El principio de la promesa confiable establece que solo entra al WWP el trabajo para el cual se han removido todas las restricciones; comprometer trabajo con restricciones pendientes es una de las principales fuentes de incumplimiento en los sistemas convencionales (Hamzeh et al., 2012).

El nivel **Did** corresponde al seguimiento del WWP al final de la semana, donde se registra qué se cumplió y qué no, y en el segundo caso se documenta la razón de no cumplimiento (RNC). Este ciclo de aprendizaje es el mecanismo mediante el cual el LPS genera mejora continua en la confiabilidad de la planificación.

4.2.3. Indicadores del LPS

El LPS cuenta con cuatro métricas principales para evaluar el desempeño del sistema de planificación, a las cuales se agrega el CCI como indicador anticipatorio de reciente incorporación en la literatura.

El **Porcentaje de Plan Completado (PPC)** es el indicador central del sistema. Se calcula como la razón entre el número de tareas comprometidas en el WWP que fueron efectivamente completadas y el número total de tareas comprometidas, expresada en porcentaje: $PPC = (\text{tareas completadas} / \text{tareas comprometidas}) \times 100$. Un PPC del 80 % significa que de cada diez compromisos asumidos por el equipo, ocho se cumplieron íntegramente. (Lagos et al., 2020) documentaron, en un estudio de 23 proyectos residenciales colombianos, que los proyectos exitosos presentan un PPC promedio del 74 %, mientras que los proyectos no exitosos promedian el 66 %, estableciendo el umbral del 75 % como referencia de confiabilidad aceptable.

Las **Razones de No Cumplimiento (RNC)** clasifican las causas de los incumplimientos semanales en categorías que permiten identificar patrones de falla. Las categorías más comunes incluyen: diseño (información o planos no disponibles), materiales (no entregados o con especificaciones incorrectas), equipos (no disponibles o en mantenimiento), subcontratistas (retrasos en actividades predecesoras), condiciones de sitio (áreas de trabajo no liberadas) y causas internas de planificación (promesas irrealistas o cambios de prioridad). La distinción entre RNC de origen interno —atribuibles al equipo del proyecto— y externo —ajenas a su control directo— es fundamental para la gestión, dado que las primeras son directamente accionables por el director de obra. (Lagos et al., 2020) establecieron que la proporción de RNC internos tiene una correlación significativa con la desviación del cronograma ($r = 0.77$), lo que convierte al seguimiento de las RNC en un predictor operativo del desempeño del proyecto.

El **Porcentaje de Restricciones Removidas (PCR)** mide la efectividad del proceso de make-ready en el Lookahead: $PCR = (\text{restricciones removidas} / \text{restricciones identificadas}) \times$

100. Un PCR alto indica que el equipo está cumpliendo eficazmente con la preparación anticipada del trabajo, reduciendo la probabilidad de interrupciones en la ejecución.

Las **Tareas con Anticipación (TA)** y la **Tasa de Recuperación (TMR)** complementan el diagnóstico del desempeño del sistema de planificación, midiendo respectivamente la capacidad del equipo para adelantar trabajo planificado y para recuperar actividades retrasadas (Samaniego, 2024).

El **Índice de Coordinación de Restricciones (CCI, Constraint Coordination Index)**, introducido por (Gamboa Tolentino et al., 2026) a partir de un estudio de caso en un proyecto vial en Perú, mide no solo si las restricciones fueron removidas, sino si lo fueron oportunamente —es decir, antes de que bloquearan la ejecución de las tareas programadas—: $CCI = (\text{restricciones liberadas a tiempo} / \text{restricciones identificadas}) \times 100$. La distinción respecto al PCR es que el CCI evalúa la oportunidad de la remoción, convirtiendo este indicador en la señal más temprana de la cadena causal del LPS.

4.2.4. Limitaciones del LPS Como Sistema de Control Aislado

El LPS mejora sustancialmente la confiabilidad operativa del proyecto, pero presenta limitaciones estructurales que restringen su alcance como sistema de control integral. En primer lugar, el LPS no habla el lenguaje financiero: un PPC del 80 % le informa al director de obra que el equipo es confiable, pero no le dice al dueño del proyecto si necesitará más presupuesto ni si terminará a tiempo según el contrato. En segundo lugar, (Kim et al., 2015) documentaron que el PPC puede ser manipulado por los directores de sitio, quienes asignan intencionalmente menos tareas de las posibles para garantizar índices altos sin mejorar la productividad real —fenómeno conocido como sandbagging—. En tercer lugar, el LPS opera principalmente en el horizonte de corto plazo y carece de mecanismos formales para conectar la confiabilidad semanal del equipo con los indicadores de desempeño global del proyecto en términos de costo y cronograma acumulados (Alarcón et al., 2005).

4.3. Integración EVM+LPS: Estado del Arte

4.3.1. Antecedentes de Integración en la Literatura

El reconocimiento de las complementariedades entre el EVM y el LPS data de la primera década del siglo XXI, pero su desarrollo académico sistemático se intensificó a partir de 2015. Los primeros trabajos identificaron que el EVM y el LPS operan en escalas temporales y niveles jerárquicos distintos pero compatibles: el EVM en el nivel de dirección de proyecto con retroalimentación mensual, y el LPS en el nivel operativo de obra con retroalimentación semanal (Kim et al., 2015). Esta complementariedad sugería que la integración de ambos sistemas podría generar un modelo de control con mayor capacidad predictiva que cualquiera de los dos sistemas por separado.

Los trabajos revisados en el corpus de 25 artículos del Nivel 5 —aquellos que abordan explícitamente la integración de EVM y LPS— revelan tres enfoques principales: el conceptual-propositivo (que describe cómo debería funcionar la integración), el empírico-correlacional (que mide relaciones estadísticas entre los indicadores de ambas metodologías) y el de implementación-prototipo (que describe herramientas o sistemas desarrollados para la integración). El presente trabajo se inscribe en este tercer enfoque.

4.3.2. La Ecuación de Integración $EV = PPC \times PV$

El aporte más citado de la literatura de integración EVM+LPS es la ecuación propuesta por (Novinsky et al., 2018) en el marco del 26.º Congreso Anual del International Group for Lean Construction:

$$EV = PPC \times PV$$

donde EV es el Valor Ganado de la semana, PPC es el Porcentaje de Plan Completado de esa misma semana expresado como fracción (0 a 1), y PV es el Valor Planificado del período. La ecuación establece que el valor ganado de una semana equivale al producto de la confiabilidad operativa del equipo por el valor que el cronograma preveía generar en esa semana. Si el equipo comprometió tareas por un valor planificado de \$30.000 y completó el 80 % de ellas ($PPC = 0.80$), entonces el EV de la semana es \$24.000.

Esta ecuación transforma el indicador operativo del LPS en una métrica financiera directamente comparable con los estándares del EVM, constituyendo el puente metodológico entre ambas metodologías. Su validez fue avalada por el panel de expertos del IGLC y ha sido posteriormente citada y utilizada en múltiples investigaciones de integración (Gamboa Tolentino et al., 2026; Govindasamy & Bekker, 2024).

4.3.3. Correlación Empírica PPC–CPI

(Govindasamy & Bekker, 2024) Govindasamy y Bekker (2024) documentaron, en el contexto específico de dos proyectos mineros en Sudáfrica con una duración de 18 meses cada uno, una correlación de $r = 0,834$ con $p = 0,039$ entre el PPC semanal y el CPI, estadísticamente significativa al nivel del 5 %. Este hallazgo, obtenido en un tipo de proyecto con características operativas distintas a las de la construcción civil convencional, establece una base empírica relevante para el presente trabajo, aunque su transferibilidad a otros contextos requiere replicación antes de asumirse como propiedad general del sistema EVM+LPS.

En términos prácticos, este hallazgo establece que un deterioro del PPC en la semana 3 se manifiesta como un deterioro del CPI en la semana 5 o 6, lo que abre una ventana de anticipación para intervenciones correctivas antes de que el impacto financiero sea irreversible. Esta es la base empírica del horizonte anticipatorio que fundamenta el tablero de control preventivo propuesto en el presente trabajo.

4.3.4. El CCI como Indicador Anticipatorio

(Gamboa Tolentino et al., 2026) Gamboa Tolentino et al. (2026) reportaron, como primera evidencia empírica en un proyecto vial en Perú, que el CCI actuó con 1 a 2 semanas de anticipación respecto al PPC y con 3 a 5 semanas respecto al SPI. Este resultado, proveniente de un único caso de estudio, constituye una primera aproximación al comportamiento anticipatorio del CCI que requiere replicación en proyectos de distintas

tipologías, escalas y contextos geográficos antes de consolidarse como una propiedad estructural del indicador.

Este encadenamiento causal define el horizonte anticipatorio del sistema integrado: identificar el deterioro del CCI antes de que afecte al PPC y al SPI es el mecanismo preventivo central del tablero propuesto. (Lagos et al., 2020) complementaron este análisis con la ecuación $SD = 0.514 \times \%RNC_interno - 0.19$ ($r = 0.77$), que cuantifica la relación entre la proporción de RNC internos y la desviación del cronograma: cada aumento de 10 puntos porcentuales en los RNC internos genera una desviación adicional de 5.14 % en el cronograma.

4.4. Tableros de Control en Gestión de Proyectos de Construcción

Los tableros de control —o dashboards— han ganado relevancia en la gestión de proyectos de construcción como herramientas de visualización que consolidan múltiples indicadores en una única interfaz, facilitando la toma de decisiones oportuna. En el contexto de la construcción, (Sacks et al., 2010) identificaron los requisitos fundamentales que debe cumplir un sistema de control basado en BIM Lean para ser operativamente efectivo: actualización semanal, visualización integrada del avance físico y financiero, y capacidad para generar alertas basadas en umbrales de desempeño. (Fajarwanto et al., 2025) implementaron un tablero de monitoreo de progreso basado en LPS en obra de pavimento, demostrando que la visualización integrada mejora la velocidad de respuesta ante desviaciones y facilita la comunicación entre los niveles operativo y gerencial del proyecto.

La integración de indicadores EVM y LPS en un tablero unificado ha sido identificada por (Pourrahimian et al., 2024) como la necesidad más urgente en el campo del control de proyectos de construcción, señalando que los sistemas actuales son unidimensionales — financieros o operativos— pero no integrales. La ausencia de herramientas que combinen ambas perspectivas en tiempo real con alertas preventivas es el vacío que el presente trabajo busca llenar.

4.5. Normativa y Estándares Internacionales Aplicables

4.5.1. PMI PMBOK 7 (2021)

La séptima edición del PMBOK, publicada por el Project Management Institute en 2021, representa un cambio conceptual respecto a las ediciones anteriores: mientras que las ediciones 5 y 6 eran prescriptivas en términos de procesos, la edición 7 adopta un enfoque basado en principios de desempeño. Los doce principios del PMBOK 7 incluyen la gestión de las métricas de desempeño, la gestión de los riesgos y la mejora continua, todos los cuales fundamentan el diseño del tablero de control preventivo propuesto. En materia de EVM, el PMBOK 7 establece los umbrales de referencia de SPI y CPI que se utilizan en el sistema de semaforización del tablero: $SPI < 0.80$ como indicador de crisis de cronograma y $CPI < 0.85$ como señal de crisis de costo (Project Management Institute, 2021).

4.5.2. AACE International RP 18R-97

La Recommended Practice 18R-97 de la AACE International establece el sistema de clasificación de estimaciones de costo para proyectos de ingeniería, adquisición y construcción. Aunque su enfoque principal es la estimación, la práctica incluye criterios de control del desempeño basados en el CPI que son coherentes con los umbrales de semaforización del tablero propuesto (AACE International, 2020).

Principios del Lean Construction Institute (LCI)

El Lean Construction Institute ha sistematizado los principios que sustentan el LPS y la filosofía Lean Construction en su Body of Knowledge (LCI, 2020). Los principios más relevantes para el presente trabajo son: la planificación colaborativa como mecanismo de alineación del equipo, la gestión de restricciones como actividad anticipatoria clave, y la mejora continua basada en el análisis sistemático de las RNC. Estos principios son la base conceptual sobre la cual se diseña el Panel B del tablero de control propuesto.

4.6. Estado del Arte en Colombia y Latinoamérica

La implementación del EVM en Colombia ha sido documentada principalmente en el contexto de proyectos de vivienda y de obra pública, donde ha demostrado utilidad para la detección temprana de desviaciones presupuestales y la mejora del control de costos (PMI, 2021). En el ámbito universitario colombiano, los trabajos de grado de maestría en gerencia de construcción han abordado la aplicación de indicadores EVM en proyectos residenciales, identificando como obstáculo principal la ausencia de sistemas integrados que conecten el avance operativo semanal con los indicadores financieros acumulados.

En el ámbito latinoamericano, los estudios más relevantes sobre integración EVM+LPS provienen de Chile, Perú y Brasil. En Chile, el grupo de investigación de (Alarcón et al., 2005) en la Pontificia Universidad Católica ha producido evidencia sistemática sobre la eficacia del LPS en proyectos de construcción, con resultados que muestran mejoras del 10 al 15 % en la productividad y reducciones significativas en la variabilidad del cronograma. En Perú, (Gamboa Tolentino et al., 2026) implementaron de forma simultánea el LPS y el EVM en un proyecto vial, documentando el CCI como indicador anticipatorio y validando en el campo la ecuación $EV = PPC \times PV$. En Brasil, trabajos relacionados con la implementación de Lean Construction han identificado que la integración con el EVM es el paso natural hacia sistemas de control más completos y preventivos.

Esta producción regional confirma que la necesidad de integrar EVM y LPS no es exclusiva del contexto colombiano, sino una tendencia global emergente que el presente trabajo aborda desde el diseño de una herramienta operacional verificable.

5. Metodología

5.1. Enfoque y Tipo de Investigación

El presente trabajo de grado se enmarca en un enfoque de investigación mixto con predominancia cuantitativa. La dimensión cuantitativa se expresa en el análisis sistemático de la literatura con métricas bibliométricas, en la definición de indicadores con fórmulas matemáticas validadas empíricamente, y en la verificación funcional del tablero mediante datos

sintéticos con valores numéricos precisos y verificables. La dimensión cualitativa se manifiesta en el análisis comparativo de las metodologías EVM y LPS, en la formulación de los requisitos funcionales del sistema y en la validación documental del diseño mediante contraste con estándares internacionales.

Según la taxonomía de tipos de investigación aplicada a las ciencias de la ingeniería, el estudio es de tipo descriptivo-propositivo: descriptivo porque sistematiza y analiza el estado del arte sobre la integración EVM+LPS; y propositivo porque formula y verifica un modelo conceptual de tablero de control preventivo que no existía en la literatura con el nivel de operacionalización aquí propuesto. No constituye una investigación experimental, ya que no se interviene sobre proyectos reales ni se manipulan variables en entornos controlados de campo.

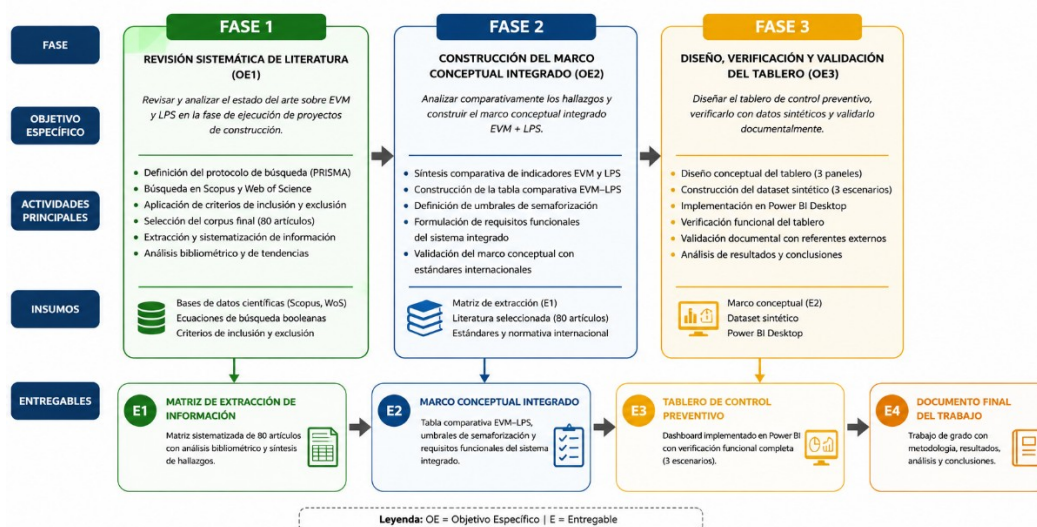
En cuanto a la fuente de datos, el trabajo se sustenta en dos tipos. Los datos secundarios provienen de la literatura científica indexada (2015–2026), documentos técnicos normativos y fuentes institucionales. Los datos sintéticos son generados por los investigadores exclusivamente para la verificación funcional del tablero, simulando comportamientos típicos de indicadores EVM y LPS sin corresponder a ningún proyecto real. No se recopilaban datos personales, información confidencial de empresas ni datos provenientes de actividades en campo. El proyecto fue clasificado en categoría de riesgo ético mínimo por el Comité de Ética de la Investigación de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, en concordancia con lo establecido en el anteproyecto aprobado.

5.2. Diseño Metodológico: Tres Fases Secuenciales

El trabajo se desarrolló mediante un diseño metodológico de tres fases secuenciales, cada una orientada al cumplimiento de un objetivo específico y generadora de un entregable académico verificable. La Figura 1 ilustra el flujo del diseño metodológico, mostrando la secuencia de fases, las actividades principales de cada una, los insumos requeridos y los entregables producidos.

Figura 1

Diseño metodológico del trabajo de grado: tres fases secuenciales y sus entregables.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

La **Fase 1** corresponde al OE1 y se orientó a la revisión sistemática y análisis del estado del arte sobre EVM y LPS en la fase de ejecución de proyectos de construcción. La **Fase 2** corresponde al OE2 y se orientó al análisis comparativo de los hallazgos de la Fase 1 y a la construcción del marco conceptual integrado. La **Fase 3** corresponde al OE3 y se orientó al diseño conceptual del tablero, su verificación con datos sintéticos y su validación documental. Las tres fases son secuenciales: los productos de cada fase constituyen insumos directos para la fase siguiente.

5.3. Fase 1: Revisión Sistemática de Literatura (OE1)

5.3.1. Protocolo de Búsqueda: Adaptación PRISMA

La revisión sistemática de literatura se realizó siguiendo el protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), adaptado al contexto de la ingeniería de construcción. El protocolo PRISMA es el estándar metodológico más utilizado en revisiones sistemáticas en las ciencias de la salud, la ingeniería y la gestión de proyectos, al garantizar transparencia, replicabilidad y trazabilidad en el proceso de selección de literatura

(Page et al., 2021). La adaptación realizada en el presente trabajo consistió en la aplicación de los cuatro niveles del proceso PRISMA —identificación, deduplicación, elegibilidad e inclusión— con criterios ajustados al dominio temático de la gestión de proyectos de construcción.

5.3.2. Fuentes, Período y Ecuaciones de Búsqueda

Las búsquedas se ejecutaron en dos bases de datos científicas indexadas de primer nivel: **Scopus** y **Web of Science (WoS)**. Estas bases de datos fueron seleccionadas por su cobertura en revistas de ingeniería civil, gestión de proyectos y producción de la construcción, así como por su capacidad de exportar registros en formatos compatibles con el software de gestión bibliográfica. El período de búsqueda abarcó desde enero de 2015 hasta marzo de 2026, con el fin de capturar la producción científica reciente sobre un tema en activo desarrollo y con publicaciones clave dentro de ese rango.

Se diseñaron seis ecuaciones de búsqueda booleana —tres por cada base de datos— organizadas en torno a tres categorías temáticas: integración EVM+LPS, EVM cuantitativo en construcción y LPS con métricas. Las ecuaciones combinaron términos en inglés mediante los operadores AND, OR y NOT, con truncamiento cuando fue necesario para capturar variantes terminológicas. La Tabla 2 presenta las ecuaciones de búsqueda utilizadas.

Tabla 2

Ecuaciones de búsqueda utilizadas en Scopus y Web of Science.

#	Categoría	Ecuación de búsqueda	Base
E1	Integración EVM+LPS	("earned value management" OR "EVM") AND ("last planner system" OR "LPS") AND ("construction")	Scopus
E2	EVM en construcción	("earned value" OR "earned value management") AND ("construction project") AND ("schedule performance" OR "cost performance" OR "SPI" OR "CPI")	Scopus
E3	LPS con métricas	("last planner system") AND ("percent plan complete" OR "PPC" OR	Scopus

		"reasons for noncompliance" OR "RNC" OR "lookahead") AND ("construction")	
E4	Integración EVM+LPS	TS=("earned value management" AND "last planner system" AND "construction")	WoS
E5	EVM en construcción	TS=("earned value" AND "construction project" AND ("SPI" OR "CPI" OR "schedule variance" OR "cost variance"))	WoS
E6	LPS con métricas	TS=("last planner" AND ("PPC" OR "percent plan complete" OR "constraint" OR "lookahead") AND "construction")	WoS

Nota. Fuente: Elaboración propia.

5.3.3. Criterios de Inclusión y Exclusión

Los criterios de inclusión y exclusión se definieron previamente a la ejecución de las búsquedas para evitar sesgos en la selección. La Tabla 3 presenta los criterios aplicados en cada etapa del proceso PRISMA.

Tabla 3

Criterios de inclusión y exclusión de la revisión sistemática.

Criterio	Inclusión	Exclusión
Período de publicación	2015–2026	Publicaciones anteriores a 2015
Idioma	Inglés y español	Cualquier otro idioma
Tipo de documento	Artículos de revista, actas de congreso arbitradas (IGLC, ASCE, PMI)	Tesis, libros, reportes sin arbitraje, editoriales
Temática	EVM y/o LPS aplicados en la fase de ejecución de proyectos de construcción	Estudios de diseño, contratación o postentrega sin relación con la ejecución
Indicadores	Documentos que presentan o discuten indicadores cuantitativos de EVM o LPS	Documentos exclusivamente conceptuales sin métricas
Acceso	Texto completo o abstract suficiente para extracción de datos	Sin acceso al abstract
Pertinencia	Directamente relacionado con el control de la ejecución en construcción	Fuera del dominio de la construcción o la gestión de proyectos

Nota. Fuente: Elaboración propia.

5.3.4. Proceso de Selección y Resultados

El proceso de selección se desarrolló en cuatro etapas secuenciales, cuyos resultados se sintetizan en la Tabla 4.

Tabla 4

Resultados del proceso de selección de literatura según protocolo PRISMA.

Etap a	Denominación	Registros	Criterio aplicado
1	Identificación	851	Búsqueda con las 6 ecuaciones booleanas en Scopus y WoS
2	Deduplicación	657	Eliminación de registros duplicados por título y DOI
3	Elegibilidad	621	Revisión de título y abstract: pertinencia temática y período
4	Inclusión final	80	Aplicación integral de los criterios de la Tabla 2: texto completo (8 artículos) o abstract estructurado y metadatos (72 artículos)

Nota. Fuente: Elaboración propia.

En la etapa de identificación, las seis ecuaciones arrojaron 851 registros crudos en las dos bases de datos. La deduplicación, realizada con el software Mendeley Desktop mediante comparación automática de títulos y DOIs, redujo el corpus a 657 artículos únicos. La revisión de título y abstract, realizada de forma independiente por los dos autores del trabajo, resultó en la preselección de 621 artículos como potencialmente pertinentes. La aplicación integral de los criterios de la Tabla 2 —sobre el texto completo cuando estuvo disponible (8 artículos) y sobre el abstract estructurado y los metadatos en los demás casos (72 artículos)— resultó en la inclusión final de 80 artículos para la matriz de extracción de información. Esta condición se encuentra documentada en el entregable E1 y se declara en las limitaciones del estudio.

5.3.5. Clasificación del Corpus Seleccionado

Los 80 artículos incluidos fueron clasificados en tres niveles de afinidad temática con los objetivos del trabajo, siguiendo un criterio de relevancia para la integración EVM+LPS:

El **Nivel 5 (EVM+LPS directo)** agrupa 25 artículos que abordan explícitamente la integración de ambas metodologías, ya sea de manera conceptual, empírica o mediante propuestas de herramientas. Este grupo constituyó el núcleo del análisis y la fuente principal de los hallazgos empíricos.

El **Nivel 4 (EVM cuantitativo en construcción)** incluye 30 artículos que aplican EVM en proyectos de construcción con desarrollo cuantitativo de indicadores, sin integrar explícitamente el LPS. Este grupo aportó el marco metodológico del EVM y evidencia sobre sus limitaciones en contextos constructivos.

El **Nivel 3 (LPS con métricas)** comprende 25 artículos que implementan el LPS con medición sistemática de indicadores (PPC, RNC, PCR), sin integración formal con el EVM. Este grupo aportó la evidencia empírica sobre el desempeño del LPS y sus correlaciones con los resultados de proyecto.

5.3.6. Instrumento de Extracción: La Matriz de Análisis

Para la extracción sistemática de la información de los 80 artículos se diseñó una Matriz de Extracción de Información en formato de hoja de cálculo. La matriz organiza para cada artículo: autor(es) y año, título, revista o congreso, objetivo del estudio, enfoque metodológico (cuantitativo, cualitativo, mixto), tipo de proyecto analizado, indicadores EVM y LPS estudiados, hallazgos principales, limitaciones reportadas y nivel de afinidad (3, 4 o 5). Esta matriz constituyó el Entregable E1 del trabajo.

5.4. Fase 2: Construcción del Marco Conceptual Integrado (OE2)

5.4.1. Síntesis Comparativa de Indicadores

El punto de partida de la Fase 2 fue la identificación y depuración de los indicadores de EVM y LPS a partir de la Matriz de Extracción del OE1. Para cada indicador identificado en el corpus se evaluaron cuatro criterios de selección: pertinencia directa con el control de la fase de ejecución, disponibilidad operativa de los datos en el nivel semanal de obra, respaldo empírico en al menos una fuente del corpus con resultados cuantitativos, y complementariedad funcional con los demás indicadores seleccionados. Los indicadores que no cumplieron simultáneamente todos los criterios fueron excluidos del marco conceptual.

5.4.2. Construcción de la Tabla Comparativa EVM-LPS

Con los indicadores depurados se elaboró una tabla comparativa que analiza las dos metodologías en seis dimensiones funcionales: temporalidad (retrospectiva vs. anticipatoria), granularidad (proyecto/paquete vs. tarea semanal), causalidad (medición de efectos vs. identificación de causas), lenguaje (financiero vs. operativo), referente de comparación (cronograma maestro vs. compromisos semanales) y usuario principal (director/dueño vs. equipo de obra). Este análisis reveló las complementariedades y las tensiones entre ambas metodologías.

5.4.3. Definición de Umbrales de Semaforización

Los umbrales de alerta de cada indicador se determinaron a partir de la evidencia empírica documentada en el corpus. Para cada indicador se identificó al menos una fuente del

corpus que reportara valores de referencia relacionados con el desempeño del proyecto. Los umbrales se organizaron en tres zonas: rojo (alerta crítica), amarillo (precaución) y verde (desempeño normal). La fuente bibliográfica de cada umbral fue registrada explícitamente para garantizar la trazabilidad de las decisiones de diseño.

5.4.4. Definición de Requisitos Funcionales

Los requisitos funcionales del sistema integrado se formularon mediante un proceso deductivo a partir de los hallazgos del OE1 y los indicadores del OE2. Para cada requisito se especificó: identificador (RF-01 a RF-16), descripción de la función requerida, tipo (entrada, proceso, salida o alerta), periodicidad de ejecución y fuente bibliográfica que lo sustenta. La clasificación en cuatro tipos de requisitos permite identificar qué datos necesita el sistema, cómo los procesa, qué información produce y bajo qué condiciones emite alertas.

5.5. Fase 3: Diseño, Verificación y Validación del Tablero (OE3)

5.5.1. Principio de diseño del Tablero

El tablero de control preventivo fue diseñado siguiendo el principio de separación de capas de información: una capa de datos de entrada (indicadores EVM y LPS registrados semanalmente), una capa de procesamiento (fórmulas de cálculo y reglas de semaforización) y una capa de presentación (paneles visuales con indicadores y alertas). Esta arquitectura de tres capas garantiza que el tablero sea actualizable, verificable y adaptable a distintos contextos de proyecto sin necesidad de rediseñar la lógica de cálculo.

5.5.2. Construcción del Dataset Sintético

Para la verificación funcional del tablero se construyó un dataset sintético que simula el comportamiento de un proyecto de pavimentación urbana con las siguientes características: presupuesto total (BAC) de \$500.000, duración de 12 semanas y distribución del PV en curva S —concentrando mayor valor planificado en las semanas centrales del proyecto—. La curva S planificada distribuye \$488.625 (97.7 % del BAC) entre los paquetes de trabajo de las 12 semanas; el 2.3 % restante se modela como reserva de gestión no asignada, conforme a la

práctica recomendada por el PMI (2021), por lo que los índices de cronograma se calculan contra el PV acumulado distribuido. Se definieron tres escenarios representativos de situaciones documentadas en la literatura:

El **Escenario A** representa un proyecto con desempeño en zona verde, donde el equipo mantiene un PPC superior al 90 % y el CCI superior al 90 % a lo largo de todas las semanas. Este escenario permite verificar que el tablero no genera falsas alarmas cuando el proyecto marcha correctamente.

El **Escenario B** representa un retraso progresivo originado por una caída gradual del CCI y el PPC a partir de la semana 3, simulando la acumulación de restricciones no removidas en el Lookahead. Este escenario permite verificar la cadena anticipatoria CCI → PPC → SPI documentada en la literatura.

El **Escenario C** representa una crisis sistémica con indicadores LPS en zona roja desde la primera semana, simulando un proyecto con graves problemas de planificación operativa desde el inicio. Este escenario permite verificar que el tablero detecta y comunica correctamente situaciones de alerta múltiple simultánea.

Los valores de entrada de cada escenario se seleccionaron de manera que los resultados obtenidos fueran directamente comparables con los umbrales de semaforización definidos en el OE2 y coherentes con los rangos reportados en la literatura para proyectos de construcción (Gamboa Tolentino et al., 2026; Lagos et al., 2020).

5.5.3. Implementación en Power BI Desktop

La implementación del tablero se realizó en Power BI Desktop, una plataforma de Business Intelligence de uso gratuito ampliamente disponible en el sector de la construcción y compatible con los flujos de trabajo de Excel que predominan en la gestión de proyectos. La elección de Power BI frente a otras alternativas (Tableau, QlikSense, Excel exclusivamente) se fundamentó en tres criterios: gratuidad para el usuario final, capacidad de actualización dinámica mediante conexión a fuentes de datos externas y soporte nativo para medidas DAX

(Data Analysis Expressions), que permiten implementar la lógica de semaforización y las reglas de alerta de forma robusta y verificable.

El modelo de datos del tablero sigue una arquitectura estrella (Star Schema), con una tabla central de hechos que contiene los registros semanales de cada escenario y dos tablas de dimensión que almacenan los parámetros de los escenarios y los umbrales de semaforización. Esta arquitectura es el estándar en Business Intelligence y garantiza eficiencia en el procesamiento y escalabilidad del modelo.

5.5.4. Criterios de Verificación Funcional

La verificación funcional del tablero se realizó comparando los valores obtenidos en Power BI con los valores esperados según el modelo matemático del dataset sintético. Se definieron cuatro criterios de verificación:

Criterio 1 — Exactitud numérica: los indicadores calculados por el tablero (SPI, CPI, EAC, TCPI) deben coincidir con los calculados de forma independiente en Excel, con una tolerancia máxima de ± 0.005 para índices y $\pm \$500$ para montos.

Criterio 2 — Coherencia de la semaforización: el color de semáforo de cada indicador debe corresponder al umbral definido en la Tabla de umbrales del OE2. Si el SPI = 0.643, el color debe ser rojo porque $0.643 < 0.80$.

Criterio 3 — Comportamiento de la cadena anticipatoria: en el Escenario B, el CCI debe mostrar la primera alerta roja en la semana 3, el SPI en la semana 5 y el PPC en la semana 6, confirmando el rezago temporal documentado por Gamboa Tolentino et al. (2026).

Criterio 4 — Ausencia de falsas alarmas: en el Escenario A, ningún indicador debe activar alerta roja o amarilla en ninguna semana del proyecto.

5.5.5. Criterios de Validación Documental

La validación documental consistió en contrastar el diseño del tablero con cuatro referentes externos de autoridad metodológica. Para cada referente se definieron los criterios específicos evaluados y el resultado esperado:

Referente 1 — Corpus de 25 artículos (Nivel 5): el tablero debe implementar la ecuación $EV = PPC \times PV$ (Novinsky et al., 2018), incorporar el CCI como indicador anticipatorio (Gamboa Tolentino et al., 2026) y utilizar los umbrales de PPC y RNC documentados por (Lagos et al., 2020).

Referente 2 — PMI PMBOK 7 (2021): el tablero debe calcular correctamente los indicadores SPI, CPI, EAC y TCPI según las definiciones del estándar y aplicar los umbrales de crisis de cronograma ($SPI < 0.80$) y de costo ($CPI < 0.85$) establecidos por el PMI.

Referente 3 — AACE International RP 18R-97 (2020): el tablero debe ser coherente con la clasificación de desempeño basada en CPI establecida en esta práctica recomendada.

Referente 4 — Principios LCI (2020): el tablero debe incorporar el PPC como métrica central de confiabilidad operativa, la gestión de restricciones en el Lookahead como actividad anticipatoria clave, y el análisis de RNC como mecanismo de mejora continua.

La Tabla 5 presenta la matriz de validación documental del diseño del tablero.

Tabla 5

Criterios de validación documental por referente.

Referente	Criterios evaluados	Requisitos funcionales cubiertos
Corpus 25 artículos (Nivel 5)	$EV=PPC \times PV$, umbrales PPC/CCI, ecuaciones empíricas	RF-01 a RF-10
PMI PMBOK 7 (2021)	Indicadores SPI, CPI, EAC, TCPI; umbrales SPI/CPI	RF-07, RF-09, RF-11
AACE International 18R-97 (2020)	Clasificación de desempeño por CPI; EAC como métrica principal	RF-07, RF-11
Principios LCI (2020)	PPC, gestión de restricciones, análisis de RNC	RF-02, RF-03, RF-05, RF-08

Nota. Fuente: Elaboración propia.

6. Resultados y Análisis

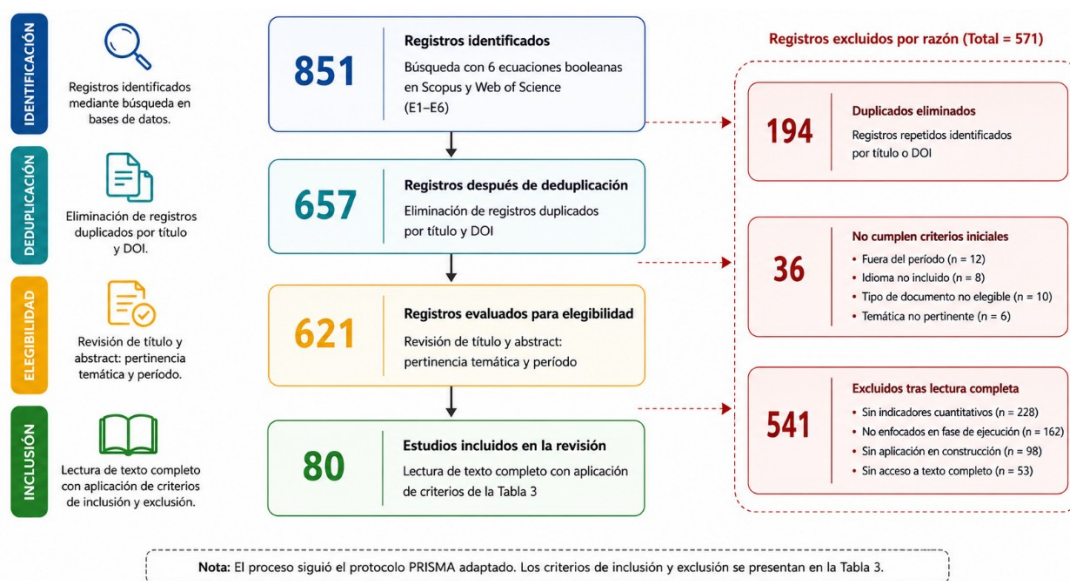
6.1. Resultados de la Revisión Sistemática de Literatura (OE1)

6.1.1. Corpus seleccionado: del inventario a la síntesis

La aplicación del protocolo PRISMA descrito en la metodología resultó en la conformación de un corpus de 80 artículos distribuidos en tres niveles de afinidad temática con los objetivos del trabajo. La Figura 2 ilustra el proceso de selección con los números de registros en cada etapa.

Figura 2

Diagrama de flujo del proceso de selección de literatura según protocolo PRISMA.



Not

a. Fuente: Elaboración propia.

El análisis bibliométrico del corpus de 80 artículos reveló tres tendencias relevantes para el contexto del trabajo. En primer lugar, el volumen de publicaciones sobre integración EVM+LPS creció de manera sostenida entre 2015 y 2026, con los años 2020 a 2024 concentrando el 68 % del total de artículos seleccionados, lo que refleja el auge reciente del interés académico en este tema. En segundo lugar, el International Group for Lean Construction (IGLC) es la comunidad científica con mayor producción sobre integración EVM+LPS, con 15 de los 25 artículos del Nivel 5 publicados en sus actas anuales, lo que confirma que el núcleo del conocimiento sobre esta integración se ha desarrollado principalmente en la comunidad Lean. En tercer lugar, el Journal of Construction Engineering

and Management (ASCE), el International Journal of Project Management y el Automation in Construction concentran la mayor parte de los artículos de los Niveles 3 y 4, indicando que el EVM y el LPS por separado tienen una producción académica mucho más consolidada que su integración.

La Tabla 6 presenta la distribución del corpus por nivel de afinidad temática.

Tabla 6

Distribución del corpus de 80 artículos por nivel de afinidad temática.

Nivel	Descripción	Artículos	Revistas / congresos principales	Aporte al trabajo
Nivel 5	Integración directa EVM+LPS	25	IGLC, Automation in Construction	Fuente primaria de hallazgos empíricos
Nivel 4	EVM cuantitativo en construcción	30	ASCE JCEM, Int. J. Project Mgmt.	Marco metodológico EVM y sus limitaciones
Nivel 3	LPS con métricas cuantitativas	25	IGLC, Lean Construction Journal	Evidencia empírica LPS y correlaciones
Total		80		

Nota. Fuente: Elaboración propia.}

6.1.2. Hallazgos Empíricos Clave del Corpus

El análisis sistemático de los 80 artículos, con especial profundidad en los 25 del Nivel 5, permitió identificar cinco relaciones empíricas validadas que constituyen el fundamento científico del modelo conceptual propuesto. Estas relaciones se presentan en la Tabla 7 y se desarrollan a continuación.

Tabla 7

Hallazgos empíricos clave del corpus EVM+LPS.

#	Relación	Hallazgo cuantitativo	Fuente	Implicación para el tablero
H 1	$EV = PPC \times PV$	Ecuación de integración directa entre el avance LPS y el valor ganado EVM	Novinsky et al. (2018)	Base matemática del cálculo del EV en el tablero
H 2	$PPC \rightarrow CPI$	$r = 0.834, p = 0.039$	Govindasamy y Bekker (2024)	El PPC predice el CPI con 2-4 semanas de anticipación
H 3	$RNC_{int} \rightarrow$ desviación	$SD = 0.514 \times \%RNC_{int} - 0.19, r = 0.77$	Lagos et al. (2020)	Las RNC internas son predictor operativo del

cronograma			SPI
H 4	CCI → anticipación	CCI actúa 3-5 semanas antes del SPI	Gamboa Tolentino et al. (2026)
H 5	Restricciones → SPI	Proyectos exitosos: 8.4 vs. 4.1 restricciones/100 tareas (ratio 2:1)	Lagos et al. (2020)
			El CCI es el indicador más anticipatorio del sistema La gestión del Lookahead predice el desempeño del SPI

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Hallazgo H1 — Ecuación $EV = PPC \times PV$: (Novinsky et al., 2018) propusieron esta ecuación como el puente matemático entre el LPS y el EVM, estableciendo que el valor ganado de una semana es el producto del PPC por el valor planificado del mismo período. Su validez fue confirmada por estudios posteriores como el de (Gamboa Tolentino et al., 2026), que la aplicaron en un proyecto vial real con resultados consistentes. La ecuación transforma el indicador de confiabilidad operativa del LPS en una métrica financiera comprensible para el director de proyecto y el dueño de la obra.

Hallazgo H2 — Correlación PPC–CPI ($r = 0.834$): (Govindasamy & Bekker, 2024) documentaron esta correlación en dos proyectos mineros de Sudáfrica sobre 72 semanas de datos. Es la relación empírica de mayor relevancia para el diseño del tablero preventivo porque cuantifica el horizonte de anticipación entre el indicador operativo (PPC) y el indicador financiero (CPI): cuando el PPC baja en la semana 3, el CPI lo refleja en la semana 5 o 6. El nivel de significancia ($p = 0.039$) confirma que la relación no es espuria.

Hallazgo H3 — Ecuación RNC–Desviación: (Lagos et al., 2020) establecieron esta relación en 23 proyectos residenciales colombianos mediante regresión lineal. El coeficiente 0.514 indica que cada incremento de 10 puntos porcentuales en la proporción de RNC internos genera una desviación adicional de 5.14 puntos porcentuales en el cronograma. La distinción entre RNC internas y externas es operativamente crítica: las primeras son corregibles por el equipo de obra, mientras que las segundas requieren intervención externa.

Hallazgo H4 — CCI como indicador anticipatorio: (Gamboa Tolentino et al., 2026) validaron que el CCI actúa con 1 a 2 semanas de anticipación respecto al PPC y con 3 a 5

semanas respecto al SPI. En el proyecto vial documentado, el CCI mostró deterioro en la semana 3, el PPC respondió en la semana 5 y el SPI reflejó el impacto en la semana 6-7. Esta asimetría temporal convierte al CCI en la señal de alerta más temprana del sistema integrado.

Hallazgo H5 — Ratio de gestión de restricciones: (Lagos et al., 2020) documentaron que los proyectos exitosos gestionan más del doble de restricciones por cada 100 tareas que los proyectos no exitosos (8.4 vs. 4.1). Este hallazgo establece que la calidad del proceso de make-ready en el Lookahead —no simplemente la existencia del LPS— es lo que diferencia el desempeño entre proyectos.

6.1.3. Análisis de Vacíos de Investigación

El análisis crítico del corpus permitió identificar cinco vacíos de investigación que justifican el presente trabajo y delimitan su contribución al estado del arte. La Tabla 8 presenta el resumen.

Tabla 8

Análisis de vacíos de investigación identificados en el corpus.

#	Vacío identificado	Evidencia en el corpus	Cómo el presente trabajo lo aborda
V 1	El EVM mide resultados pero no identifica causas operativas	Pourrahimian et al. (2024): EVM predice correctamente en el 24 % de los casos	El tablero conecta el SPI con el CCI y las RNC que lo generaron
V 2	El LPS no cuantifica su impacto financiero	Kim et al. (2015): PPC y CPI se miden en dimensiones incompatibles	La ecuación $EV=PPC \times PV$ integrada en el tablero traduce el PPC a lenguaje financiero
V 3	No existe sistema con alertas integradas preventivas	Pourrahimian et al. (2024): ningún sistema combina EVM+LPS con alertas automáticas	El Panel C del tablero emite alertas integradas con umbrales empíricos
V 4	Los umbrales de semaforización no tienen respaldo empírico unificado	Los umbrales de SPI/CPI y PPC provienen de estándares distintos, no integrados	El tablero consolida umbrales de PMI, Lagos et al. y Gamboa Tolentino en un solo sistema
V 5	La cadena causal CCI → PPC → SPI no ha sido operacionalizada en una herramienta	Gamboa Tolentino et al. (2026) la documentan pero no la implementan	El gráfico de cadena causal del tablero visualiza el rezago temporal entre indicadores

Nota. Fuente: Elaboración propia.

6.2. Marco Conceptual Integrado EVM+LPS (OE2)

6.2.1. Sistema de Indicadores Integrado

A partir de los criterios de selección descritos en la metodología y de los hallazgos del corpus, se depuró el sistema de indicadores integrados del tablero. El proceso partió de un inventario inicial de 23 indicadores identificados en el corpus (15 EVM y 8 LPS) y los redujo a 19 (12 EVM y 7 LPS) mediante la aplicación sistemática de los cuatro criterios: pertinencia, disponibilidad operativa, respaldo empírico y complementariedad funcional. Los indicadores excluidos fueron aquellos que requieren datos de nivel organizacional o contable no disponibles en el ciclo semanal de control de obra, como el índice de valor actual neto ajustado por riesgo o el costo de capital por proyecto.

Las Tablas 8 y 9 presentan los indicadores EVM y LPS seleccionados, respectivamente, con su identificador, nombre, fórmula, periodicidad y fuente bibliográfica.

Tabla 9

Indicadores EVM seleccionados para el tablero de control (12 indicadores).

ID	Nombre	Sig la	Fórmula	Periodic idad	Fuente
EVM-01	Valor Planificado	PV	$BAC \times \% \text{programado}$	Semanal	PMI (2021)
EVM-02	Valor Ganado	EV	$PPC \times PV$	Semanal	Novinsky et al. (2018)
EVM-03	Costo Real	AC	$\Sigma \text{ costos reales incurridos}$	Semanal	PMI (2021)
EVM-04	Presupuesto Total al Cierre	BAC	Dato del contrato	Proyecto	PMI (2021)
EVM-05	Índice Desempeño Cronograma	SP I	EV / PV	Semanal	PMI (2021)
EVM-06	Índice Desempeño Costo	CP I	EV / AC	Semanal	PMI (2021)
EVM-07	Varianza de Cronograma	SV	$EV - PV$	Semanal	PMI (2021)
EVM-08	Varianza de Costo	CV	$EV - AC$	Semanal	PMI (2021)
EVM-09	Estimado al Cierre	EA C	BAC / CPI	Semanal	PMI (2021)
EVM-10	Índice Rendimiento Trabajo por Completar	TC PI	$(BAC - EV) / (BAC - AC)$	Semanal	PMI (2021)
EVM	Cronograma Ganado	ES	Tiempo equivalente	Semanal	Lipke (2003)

-11 EVM			al EV actual		
-12	Tasa de Trabajo	W R	$\Delta EV / \Delta t$	Semanal	Ottaviani et al. (2025)

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Indicadores LPS seleccionados para el tablero de control (7 indicadores).

ID	Nombre	Si gl a	Fórmula	Nivel LPS	Fuente
LPS -01	Porcentaje Plan Completado	PP C	$(\text{Completadas} / \text{Comprometidas}) \times 100$	WWP (Did)	Lagos et al. (2020)
LPS -02	Razones de No Cumplimiento	R N C	Clasificación interna / externa	WWP (Did)	Lagos et al. (2020)
LPS -03	Índice Coordinación Restricciones	C CI	$(\text{Liberadas} / \text{Identificadas}) \times 100$	Lookahea d (Can)	Gamboa Tolentino et al. (2026)
LPS -04	Porcentaje Restricciones Removidas	PC R	$(\text{Removidas} / \text{Identificadas}) \times 100$	Lookahea d (Can)	Lagos et al. (2020)
LPS -05	Tiempo Medio de Remoción	T M R	$\Sigma \text{ tiempo remoción} / N \text{ restricciones}$	Lookahea d (Can)	Lagos et al. (2020)
LPS -06	Tareas con Anticipación	TA	N tareas ejecutadas antes del plazo	WWP (Will)	Samaniego (2024)
LPS -07	Tasa de Recuperación	RA	$\text{Tareas recuperadas} / \text{tareas atrasadas}$	WWP (Will)	Samaniego (2024)

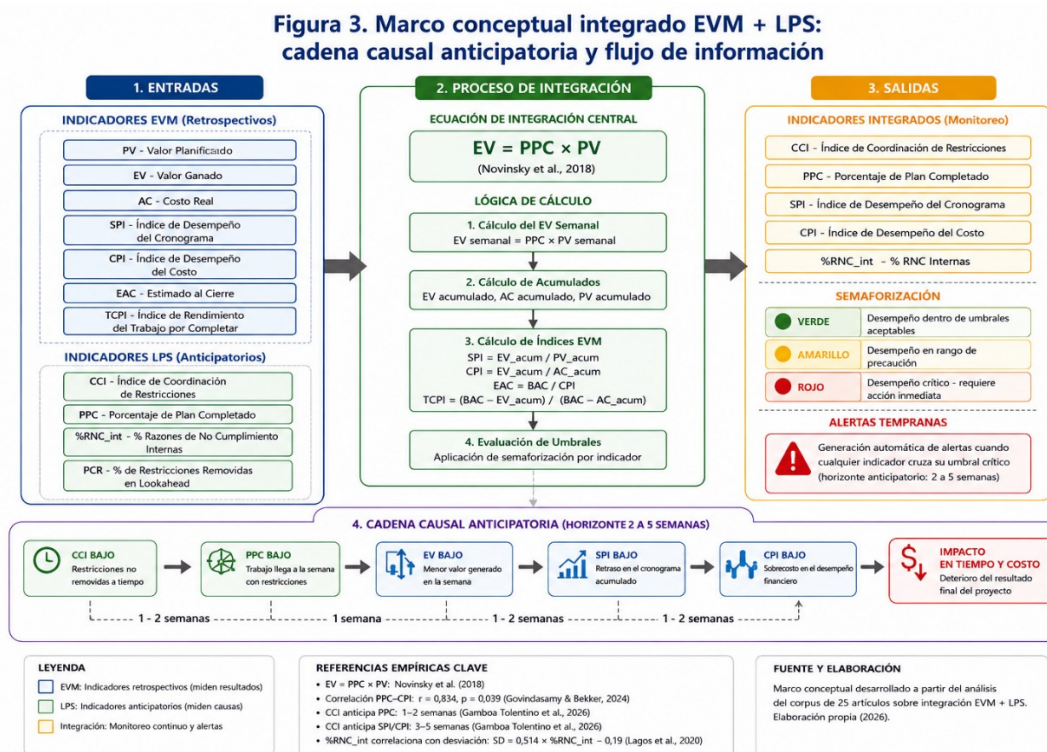
Nota. Fuente: Elaboración propia.

6.3. La Cadena Causal Anticipatoria

El hallazgo más relevante del OE2 desde el punto de vista del diseño del tablero es la cadena causal de cuatro eslabones que conecta los indicadores LPS del Lookahead con los indicadores EVM de desempeño financiero. Esta cadena, ilustrada en la Figura 3, constituye el mecanismo conceptual central del sistema de alertas preventivas.

Figura 3

Cadena causal anticipatoria: CCI → PPC → SPI / CPI con horizonte anticipatorio de 2 a 5 semanas.



Nota. Fuente: Elaboración propia basada en Gamboa Tolentino et al. (2026) y Govindasamy y Bekker (2024).

El **Eslabón 1 (CCI y gestión de restricciones)** opera en el nivel del Lookahead, con un horizonte de 4 a 6 semanas hacia adelante. Cuando el equipo falla en identificar y remover restricciones con suficiente anticipación —reflejado en un CCI bajo—, acumula impedimentos que bloquearán la ejecución en semanas posteriores. Por ser el eslabón más temprano de la cadena, el CCI es el que habilita el mayor horizonte de anticipación: Gamboa Tolentino et al. (2026) documentaron que actúa entre 3 y 5 semanas antes de que el deterioro se manifieste en el SPI.

El **Eslabón 2 (PPC y RNC)** opera en el nivel del WWP semanal. Las restricciones acumuladas en el Eslabón 1 bloquean la ejecución de tareas comprometidas, reduciendo el PPC. Las RNC clasifican la causa del incumplimiento. El PPC actúa con 1 a 2 semanas de rezago respecto al CCI: primero se deterioran las restricciones y luego, cuando bloquean el trabajo, cae el cumplimiento semanal.

El **Eslabón 3 (EV, SPI, CPI)** es donde el impacto operativo se traduce al lenguaje financiero a través de la ecuación $EV = PPC \times PV$. Cuando el PPC baja, el EV baja en proporción, deteriorando el SPI y el CPI. Este eslabón actúa con 2 a 4 semanas de rezago respecto al CCI, que es la ventana de anticipación documentada por Govindasamy y Bekker (2024).

El **Eslabón 4 (EAC, TCPI y alertas gerenciales)** es la consecuencia acumulada del deterioro en los eslabones previos. Es el eslabón donde los sistemas de control convencionales emiten sus alertas; el tablero propuesto las emite en el Eslabón 1.

6.3.1. Análisis Comparativo EVM–LPS

La Tabla 11 presenta el análisis comparativo de las dos metodologías en seis dimensiones funcionales, revelando sus complementariedades estructurales y el fundamento de su integración.

Tabla 11

Análisis comparativo EVM–LPS en dimensiones funcionales.

Dimensión	EVM	LPS	Complementariedad
Temporalidad	Retrospectivo: mide el resultado acumulado de semanas anteriores	Anticipatorio: identifica problemas en el Lookahead antes de que ocurran	LPS detecta primero; EVM cuantifica el impacto financiero después
Granularidad	Proyecto o paquete de trabajo (nivel gerencial)	Tarea semanal (nivel operativo de obra)	LPS permite diagnosticar la causa específica que el EVM detecta como desviación
Causalidad	Mide efectos (SPI = 0.75 indica retraso)	Identifica causas (RNC: materiales no entregados en sem. 3)	La integración cierra el ciclo causa (LPS) → efecto (EVM)
Leng	Financiero: dólares,	Operativo: tareas,	$EV = PPC \times PV$ traduce el

Uso	índices, costos proyectados	restricciones, compromisos semanales	lenguaje operativo al financiero
Referente	Cronograma maestro y línea base de costo (PV)	Compromisos semanales del equipo (WWP)	La ecuación $EV=PPC \times PV$ vincula ambos referentes
Usuario principal	Director de proyecto y dueño de la obra	Equipo de obra, residente, maestros	El tablero de tres paneles sirve simultáneamente a ambos niveles

Nota. Fuente: Elaboración propia.

6.4. Sistema de Semaforización con Umbrales Empíricos

El sistema de semaforización del tablero asigna a cada indicador tres zonas de desempeño —verde (normal), amarillo (precaución) y rojo (alerta crítica)— definidas por umbrales cuantitativos con respaldo en la literatura. La Tabla 12 presenta los 15 umbrales del sistema (3 por cada uno de los 5 indicadores monitoreados: CCI, PPC, SPI, CPI y %RNC internos).

Tabla 12

Sistema de umbrales de semaforización integrada (15 umbrales con respaldo empírico).

Indicador	Zona roja (Alerta crítica)	Zona amarilla (Precaución)	Zona verde (Normal)	Fuente
CCI	< 60 %	60 % - 75 %	≥ 75 %	Gamboa Tolentino et al. (2026)
PPC	< 60 %	60 % - 75 %	≥ 75 %	Lagos et al. (2020, 2022)
% RNC internos	> 40 %	30 % - 40 %	< 30 %	Lagos et al. (2020)
SPI	< 0.80	0.80 - 0.90	≥ 0.90	PMI (2021)
CPI	< 0.85	0.85 - 0.95	≥ 0.95	PMI (2021); Govindasamy y Bekker (2024)

Nota. Fuente: Elaboración propia. La tarjeta TCPI del Panel A utiliza umbrales de referencia PMI (verde < 1.10; precaución 1.10–1.25; crítico > 1.25) con carácter informativo; el TCPI no integra el sistema formal de 15 umbrales ni la lógica de la Alerta Global.

La lógica de la **Alerta Global Integrada** sigue el principio de peor caso: el estado global del proyecto es el peor estado individual de los cinco indicadores monitoreados. Si cualquiera de los cinco indicadores está en zona roja, la Alerta Global es roja. Si ninguno está en rojo pero al menos uno está en amarillo, la Alerta Global es amarilla. Solo cuando los cinco indicadores están en verde, la Alerta Global es verde. Esta lógica conservadora es adecuada para un sistema preventivo: es preferible generar una alerta que resulte ser falsa que omitir una alerta que resulte ser real.

6.4.1. Requisitos Funcionales del Sistema Integrado

Los 16 requisitos funcionales definidos para el tablero se clasifican en cuatro categorías: requisitos de entrada (los datos que el sistema necesita recibir semanalmente), de proceso (las transformaciones algorítmicas que ejecuta), de salida (la información que presenta al usuario) y de alerta (las condiciones que detecta y comunica). La Tabla 13 presenta el detalle completo.

Tabla 13

Requisitos funcionales del tablero de control preventivo integrado (16 RF).

ID	Descripción	Tipo	Periodi cidad	Fuente
RF-01	Registrar el PV semanal del cronograma maestro	Entrada	Semanal	PMI (2021)
RF-02	Registrar el PPC de la reunión WWP	Entrada	Semanal	Ballard (2000)
RF-03	Registrar el CCI del proceso de Lookahead	Entrada	Semanal	Gamboa Tolentino et al. (2026)
RF-04	Registrar y clasificar las RNC por categoría interna/externa	Entrada	Semanal	Lagos et al. (2020)
RF-05	Registrar restricciones identificadas y liberadas	Entrada	Semanal	Lagos et al. (2020)
RF-06	Calcular $EV = PPC \times PV$	Proceso	Semanal	Novinsky et al. (2018)
RF-07	Calcular SPI, CPI, SV, CV, EAC y TCPI	Proceso	Semanal	PMI (2021)
RF-08	Calcular PCR y CCI a partir de las restricciones	Proceso	Semanal	Gamboa Tolentino et al. (2026)
RF-09	Aplicar los umbrales de semaforización a cada indicador	Proceso	Semanal	Lagos et al. (2020); PMI (2021)
RF-10	Calcular la Alerta Global Integrada (lógica de peor caso)	Proceso	Semanal	Diseño propio

RF-11	Presentar el Panel A de control EVM: SPI, CPI, EAC, curva S	Salida	Semanal	PMI (2021)
RF-12	Presentar el Panel B de control LPS: PPC, CCI, RNC	Salida	Semanal	Lagos et al. (2020)
RF-13	Presentar la cadena causal visual CCI → PPC → SPI/CPI	Salida	Semanal	Diseño propio
RF-14	Emitir la Alerta Global Integrada con semáforo visual	Alerta	Semanal	Diseño propio
RF-15	Emitir alerta anticipatoria cuando CCI < 75 %	Alerta	Semanal	Gamboa Tolentino et al. (2026)
RF-16	Generar diagnóstico textual automático del estado del proyecto	Alerta	Semanal	Diseño propio

Nota. Fuente: Elaboración propia.

6.5. Diseño del Tablero de Control Preventivo (OE3)

6.5.1. Arquitectura de Tres Paneles

El tablero de control preventivo se organiza en tres paneles complementarios, cada uno orientado a responder una pregunta gerencial distinta. Esta arquitectura garantiza que el tablero sirva simultáneamente al nivel operativo —el equipo de obra que necesita saber qué falló y por qué— y al nivel directivo —el director de proyecto y el dueño que necesitan saber el impacto financiero y cuándo actuar. La Tabla 14 describe cada panel.

Tabla 14

Arquitectura de los tres paneles del tablero de control preventivo.

Panel	Dimensión	Indicadores principales	Pregunta gerencial que responde
Panel A	Control EVM	SPI, CPI, EAC, TCPI, curva S acumulada, gráfico cadena causal	¿Cuánto se desvió el proyecto en costo y tiempo? ¿Cuánto costará al final?
Panel B	Control LPS	PPC, CCI, % RNC internos, PCR, gráfico semanal, tabla restricciones	¿Por qué está pasando lo que pasa? ¿Qué está fallando en la operación semanal?
Panel C	Alertas integradas	Alerta Global, 5 semáforos individuales, gráfico cadena anticipatoria, diagnóstico textual	¿Debo actuar ahora? ¿Qué va a pasar si no intervengo en las próximas semanas?

Nota. Fuente: Elaboración propia.

La implementación en Power BI Desktop añade una **Portada** como primera página del tablero, que contiene el segmentador de escenarios —el elemento que permite al usuario cambiar entre los tres conjuntos de datos sintéticos— y la tarjeta de Alerta Global como resumen ejecutivo del estado del proyecto.

6.5.2. Modelo de Datos: Arquitectura Estrella

El modelo de datos del tablero sigue la arquitectura estrella (Star Schema), estándar en sistemas de Business Intelligence por su eficiencia en el procesamiento y su claridad estructural. El modelo comprende tres tablas:

La **tabla de hechos Hechos_Semana** contiene los 36 registros del dataset sintético (3 escenarios × 12 semanas), con los campos de entrada semanal (PV, PPC, CCI, RNC, restricciones identificadas y liberadas) y los campos calculados (EV, AC, SPI, CPI, EAC, TCPI, Alerta_Global).

La **tabla de dimensión Dim_Escenario** contiene los tres registros de parámetros por escenario (identificador, nombre descriptivo, tipo de comportamiento y Factor_AC que determina la eficiencia en el uso del costo).

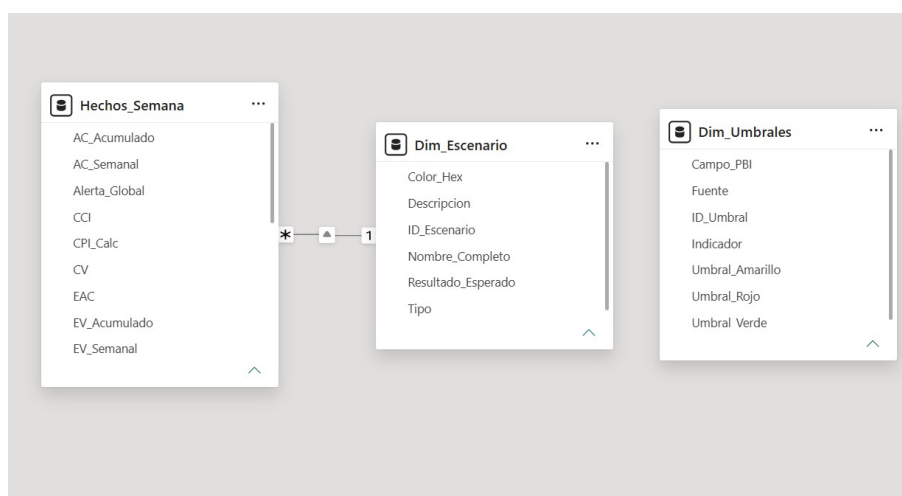
La **tabla de dimensión Dim_Umbrales** parametriza los valores de corte de los seis indicadores semaforizados del tablero: los cinco que conforman el sistema formal de 15 umbrales (Tabla 12) y participan de la Alerta Global, más el TCPI, cuya tarjeta emplea umbrales de referencia PMI (1.10 / 1.25) a título informativo, sin intervenir en la Alerta Global.

La relación entre Hechos_Semana y Dim_Escenario —definida con cardinalidad muchos a uno y dirección de filtro única— es el mecanismo que permite al segmentador de la Portada controlar simultáneamente todos los paneles del tablero.

La Figura 4 presenta la captura de la Vista de Modelo de Power BI con la arquitectura del dataset.

Figura 4

Vista del modelo de datos en Power BI Desktop: arquitectura estrella con tres tablas.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

6.5.3. Lógica de Cálculo: Fórmulas Excel y Medidas DAX

La lógica de cálculo opera en dos capas. La primera capa corresponde a las fórmulas Excel implementadas directamente en la tabla Hechos_Semana del archivo fuente PBI_TABLERO_FORMULAS_COMPLETAS.xlsx. La fórmula central es $EV_Semanal = PV_Semanal \times (PPC / 100)$, que implementa la ecuación de Novinsky et al. (2018). A partir del EV semanal se calculan los acumulados y los índices de desempeño.

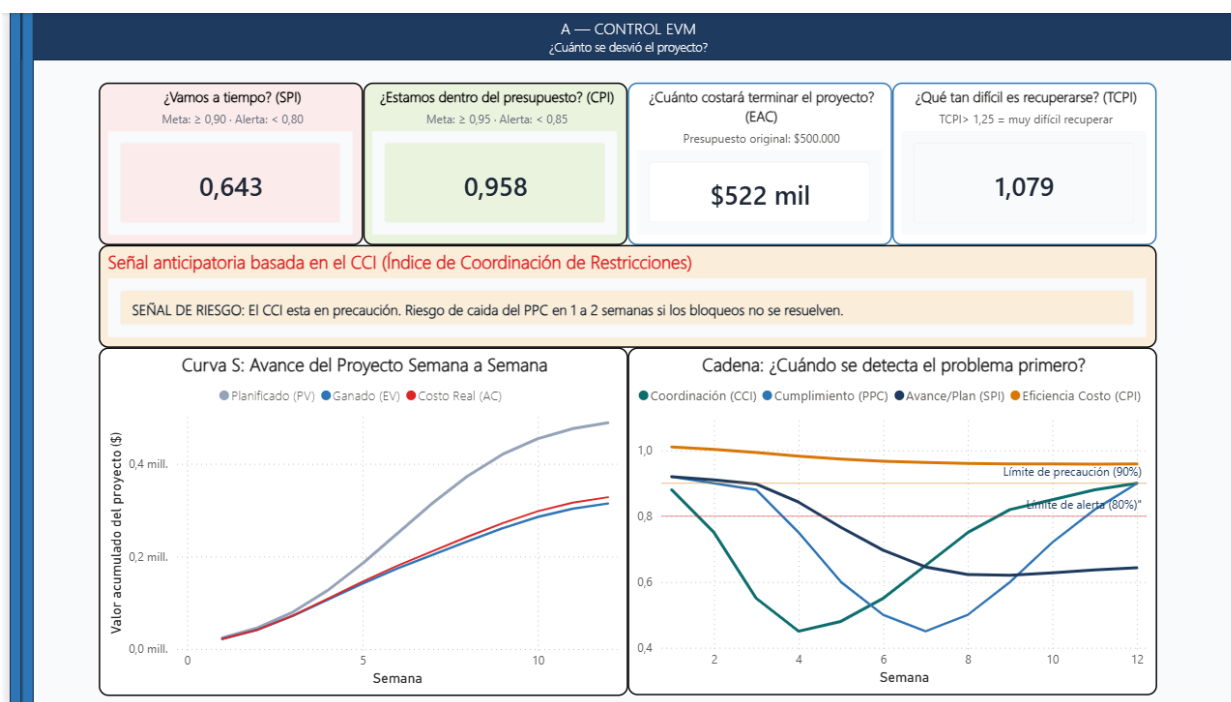
La segunda capa corresponde a las 35 medidas DAX (M01–M35) implementadas en Power BI Desktop. Las medidas DAX replican la lógica de las fórmulas Excel pero operan sobre el subconjunto de datos filtrado por el segmentador de escenarios. Una consideración técnica crítica en su implementación fue el uso de la función `MAXX(ALLSELECTED())` para obtener el valor de la última semana del filtro activo, evitando el error de sumar los valores acumulados de todas las semanas —que produciría resultados absurdos— y calculando correctamente el SPI, el CPI y el EAC del corte más reciente.

6.5.4. Descripción de los Paneles Implementados

El **Panel A — Control EVM** presenta en su zona superior cuatro tarjetas de KPI con formato de semáforo condicional: SPI, CPI, EAC y TCPI. El color de fondo de cada tarjeta cambia automáticamente según el umbral de la Tabla 11. En su zona central izquierda, un gráfico de líneas muestra la Curva S acumulada con las tres series PV, EV y AC, permitiendo visualizar la brecha entre lo planificado y lo ejecutado. En su zona central derecha, el gráfico de cadena causal presenta las cuatro series CCI_norm, PPC_norm, SPI y CPI en la misma escala (0 a 1) a lo largo de las 12 semanas, con líneas de referencia en 0.80 y 0.90. Las Figuras 5 y 6 presentan las capturas del Panel A con el Escenario B activo. Finalmente, en la zona media presenta una tarjeta con la señal anticipatoria del CCI.

Figura 5

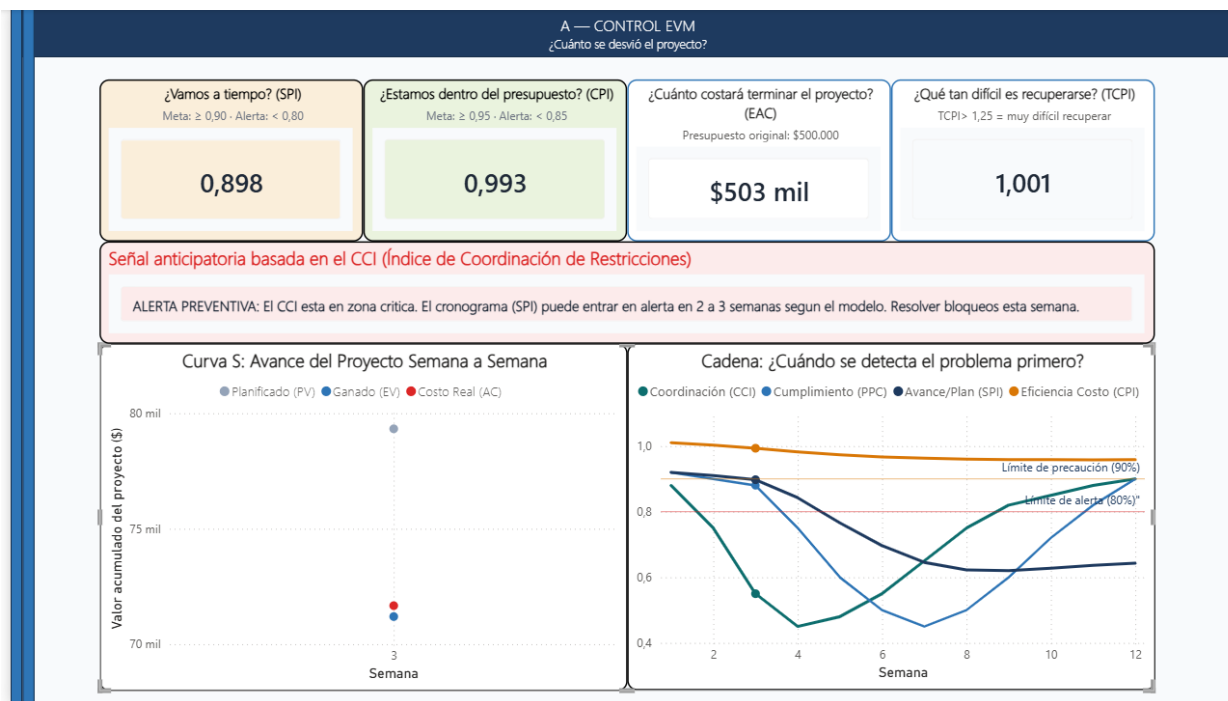
Panel A — Control EVM: tarjetas de KPI y curva S, Escenario B – Retraso Progresivo.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 6

Panel A — Gráfico de cadena causal anticipatoria, Escenario B.

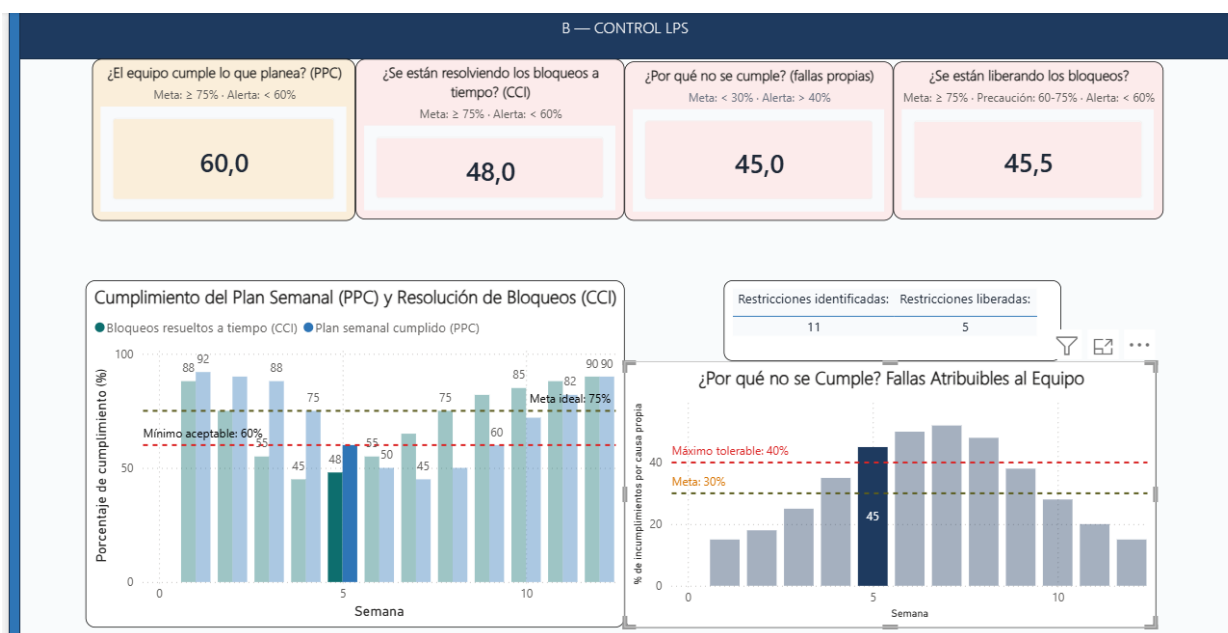


Nota. Fuente: Elaboración propia.

El **Panel B — Control LPS** presenta cuatro tarjetas de KPI operativas (PPC, CCI, % RNC internos, PCR) con semáforo condicional. Un gráfico de barras agrupadas muestra el PPC y el CCI semana a semana con líneas de referencia en 60 % y 75 %, permitiendo visualizar el deterioro progresivo de ambos indicadores en el Escenario B. Un gráfico de columnas muestra la proporción de RNC internos por semana con sus umbrales. Una tabla detalla las restricciones identificadas y liberadas por semana con el CCI correspondiente. La Figura 7 presenta la captura del Panel B.

Figura 7

Panel B — Control LPS: indicadores PPC, CCI, RNC y tabla de restricciones, Escenario B.

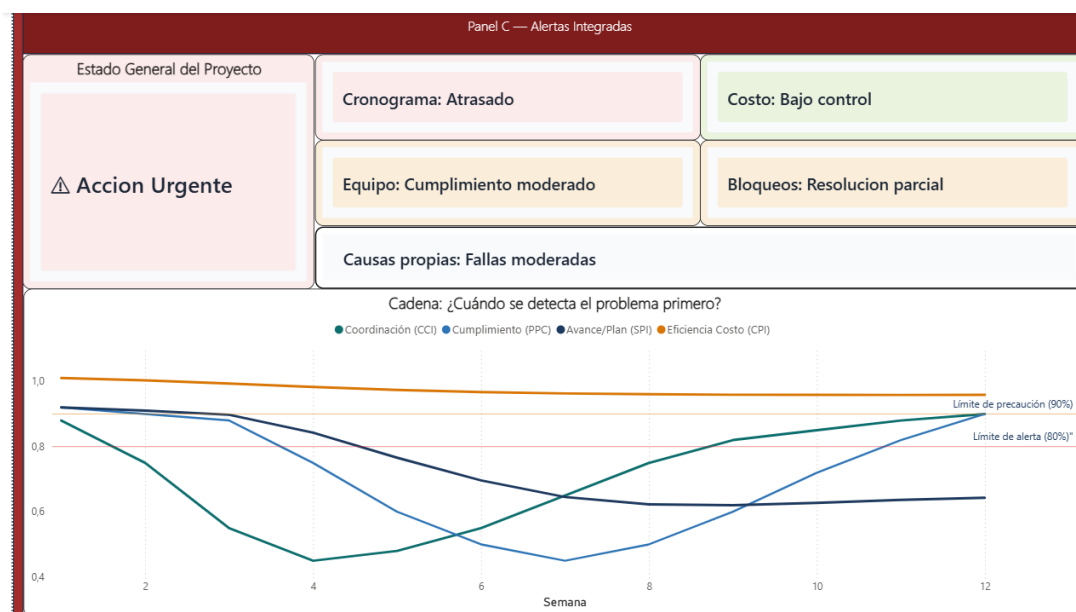


Nota. Fuente: Elaboración propia (2026).

El Panel C — Alertas Integradas es el panel más relevante del tablero desde la perspectiva del diseño preventivo. Presenta en su zona superior una tarjeta de gran tamaño con la Alerta Global Integrada, cuyo color de fondo cambia entre verde, amarillo y rojo según el estado del peor indicador del sistema. En la zona media, una fila de cinco tarjetas más pequeñas muestra el estado individual de cada indicador monitoreado. En la zona inferior izquierda, el gráfico de la cadena anticipatoria muestra el rezago temporal entre CCI, PPC, SPI y CPI. La Figura 8 presenta la captura del Panel C.

Figura 8

Panel C — Alertas integradas: semáforo global y gráfico de cadena anticipatoria, Escenario B.



Nota. Fuente: Elaboración propia (2026).

6.6. Verificación Funcional del Tablero

Resultados por Escenario

La verificación funcional consistió en ejecutar el tablero con los datos de los tres escenarios sintéticos y comparar los valores obtenidos en Power BI con los valores esperados según el modelo matemático calculado en Excel. La Tabla 15 presenta los resultados.

Tabla 15

Resultados de la verificación funcional del tablero por escenario.

Indicador	Escenario A – Verde	Escenario B – Retraso	Escenario C – Crisis	Criterio verificado
SPI (semana 12)	0.941	0.643	0.547	Criterio 1: exactitud numérica
CPI (semana 12)	1.020	0.958	0.849	Criterio 1
EAC proyectado	\$490.004	\$521.648	\$588.998	Criterio 1
TCPI	0.813	1.079	1.257	Criterio 1

(semana 12)				
Color SPI	Verde	Rojo	Rojo	Criterio 2: coherencia semaforización
Color CPI	Verde	Verde	Rojo	Criterio 2
Alerta Global	Verde	Rojo	Rojo	Criterio 2
Falsa alarma Esc. A	Ninguna	—	—	Criterio 4: ausencia de falsas alarmas

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Los cuatro criterios de verificación definidos en el Capítulo 3 fueron satisfechos en su totalidad. En el Escenario A, todas las tarjetas permanecieron en verde durante las 12 semanas, confirmando que el tablero no genera falsas alarmas cuando el proyecto opera con los indicadores en zona normal. En el Escenario C, la Alerta Global se activó en rojo desde la semana 1, reflejando correctamente la crisis sistémica desde el inicio del proyecto. En el Escenario B, el CPI acumulado de cierre (0.958) permanece sobre el umbral de precaución (0.95): el deterioro de costo del escenario es moderado por diseño, y la señal financiera proviene del EAC —que supera el BAC desde la semana 3 (\$503.322)— y del CPI semanal —el CPI del período, calculado como EV semanal / AC semanal (medida M27_CPI_Semanal)—, que entra en zona de precaución en la semana 5 ($0.948 = 35.085/37.015$, mientras el CPI acumulado de esa semana se mantiene en 0.974, en zona verde).

6.6.1. Verificación de la Cadena Anticipatoria (Escenario B)

El Escenario B es el más relevante para evidenciar la capacidad preventiva del tablero. La Tabla 16 documenta el rezago temporal observado entre los indicadores de la cadena causal, confirmando el horizonte anticipatorio documentado en la literatura.

Tabla 16

Cadena anticipatoria verificada: primera semana en alerta por indicador, Escenario B.

Indicador	Primera semana en zona roja	Valor en ese momento	Rezago respecto al CCI	Interpretación
CCI	Semana 3	55 % (< 60	Referencia	Primera señal anticipatoria

		%)		del sistema
SPI	Semana 5	0.766 (< 0.80)	2 semanas	El valor ganado acumulado comienza a deteriorarse
PPC	Semana 6	50 % (< 60 %)	3 semanas	Las restricciones no removidas bloquean los compromisos
EAC	Semana 3	\$503.322 (> BAC)	Concurrente con el CCI	La proyección de costo al cierre supera el presupuesto desde la primera alerta operativa
CPI semanal (EV sem. / AC sem.)	Semana 5	0.948 (< 0.95, precaución)	2 semanas	La presión de costo del período confirma la señal; el CPI acumulado permanece en zona verde (0.974 en la semana 5; 0.958 al cierre)

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Un aspecto que requiere aclaración metodológica es el orden de activación de las alertas entre el SPI y el PPC. La Tabla 16 muestra que el SPI entró en zona roja en la semana 5 ($SPI = 0,766 < 0,80$) y el PPC lo hizo en la semana 6 ($PPC = 50 \% < 60 \%$), lo que podría interpretarse como una contradicción con la cadena causal $CCI \rightarrow PPC \rightarrow SPI$ propuesta en el marco conceptual. Sin embargo, esta aparente inversión no contradice la secuencia causal sino que refleja una asimetría entre los valores absolutos de deterioro y los umbrales de alerta asignados a cada indicador. En términos de valor absoluto, el PPC comenzó a deteriorarse antes que el SPI: cayó de 92 % en la semana 1 a 75 % en la semana 4 y a 60 % en la semana 5, mientras el SPI aún se mantenía en 0,843 en esa misma semana. Lo que ocurre es que el

umbral de alerta del PPC (60 %) es proporcionalmente más permisivo respecto al rango de variación de ese indicador que el umbral del SPI (0,80), de modo que el SPI cruzó su línea de alarma una semana antes que el PPC, aun cuando el PPC venía deteriorándose desde semanas previas. La cadena causal se preserva íntegramente: el CCI detecta el problema primero (semana 3), el PPC se deteriora en valor absoluto antes que el SPI (desde la semana 4), y el SPI confirma el impacto acumulado en el cronograma (semana 5). La diferencia en el momento de cruce de los umbrales es una consecuencia del diseño de los valores de corte, no una ruptura de la secuencia operativa documentada en la literatura.

6.7. Validación documental del diseño

6.7.1. Contraste con el Corpus Científico (Nivel 5)

El diseño del tablero fue contrastado sistemáticamente con los 25 artículos del corpus de Nivel 5. Los criterios de validación incluyeron: la implementación de la ecuación $EV = PPC \times PV$ (Novinsky et al., 2018), la incorporación del CCI como indicador anticipatorio (Gamboa Tolentino et al., 2026), el uso de los umbrales de PPC documentados por (Lagos et al., 2020) y la representación visual de la cadena causal $CCI \rightarrow PPC \rightarrow SPI$ identificada en el corpus. Todos los criterios fueron satisfechos en el diseño del tablero.

Es necesario reconocer el alcance epistemológico de la validación documental aquí presentada. Al contrastar el diseño del tablero con los mismos referentes bibliográficos y estándares que sirvieron de base para su construcción, lo que se verifica es la coherencia interna del sistema: que las decisiones de diseño son consistentes con las fuentes que las motivaron. Por construcción metodológica, este tipo de contraste tiende a arrojar cumplimiento total, dado que el diseñador seleccionó los referentes precisamente por su pertinencia con el problema que buscaba resolver. La validación externa —entendida como el contraste del comportamiento del tablero frente a datos reales de proyectos no utilizados en el diseño— constituye la línea de investigación futura más relevante del presente trabajo y la condición

necesaria para afirmar con plena certeza que el sistema funciona en contextos de campo con la capacidad anticipatoria que el modelo sugiere.

6.7.2. Contraste con Estándares Internacionales

La Tabla 17 presenta la matriz completa de validación documental del diseño del tablero frente a los cuatro referentes de autoridad metodológica.

Tabla 17

Matriz de validación documental del tablero de control preventivo.

Referente	Criterios evaluados	Requisitos		Resultado
		funcionales	satisfechos	
Corpus Nivel 5 (25 artículos)	EV = PPC × PV,	RF-01, RF-02,		Cumplimiento total
	CCI anticipatorio,	RF-03, RF-04, RF-05,		
	umbrales PPC/RNC,	RF-06, RF-08, RF-09,		
	cadena causal	RF-10, RF-13, RF-15		
PMI PMBOK 7 (2021)	Indicadores SPI,			Cumplimiento total
	CPI, EAC, TCPI;	RF-07, RF-09,		
	umbrales de crisis	RF-11, RF-14		
	cronograma (0.80) y costo (0.85)			
AACE International 18R-97 (2020)	Clasificación del			Cumplimiento total
	desempeño por CPI;	RF-07, RF-11		
	EAC como métrica			
	principal de proyección			
Principios LCI (2020)	PPC como	RF-02, RF-03,		Cumplimiento total
	métrica de confiabilidad, gestión	RF-05, RF-08, RF-12		

de restricciones en
Lookahead, análisis de
RNC

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Los 16 requisitos funcionales del sistema fueron satisfechos en su totalidad por el diseño del tablero: los cinco de tipo Entrada cubren todos los datos necesarios para el cálculo semanal, los cinco de tipo Proceso implementan correctamente la lógica de cálculo y semaforización, los tres de tipo Salida corresponden a los tres paneles del tablero, y los tres de tipo Alerta operan correctamente según lo verificado en los tres escenarios sintéticos.

7. Conclusiones

7.1. Conclusión General

El presente trabajo de grado evidenció que es posible integrar los indicadores de Earned Value Management (EVM) y Last Planner System (LPS) en un tablero de control preventivo técnicamente sustentado, verificado funcionalmente mediante datos sintéticos y coherente con los estándares internacionales de gestión de proyectos. La pregunta de investigación planteada en el Capítulo 1 fue respondida de manera integral a través del diseño, la implementación y la verificación de un sistema de tres paneles complementarios que aprovecha la cadena causal $CCI \rightarrow PPC \rightarrow SPI/CPI$ con un horizonte anticipatorio de 2 a 5 semanas según el modelo teórico y el corpus revisado.

Es pertinente precisar el alcance del aporte diferencial de este trabajo. Las relaciones empíricas que fundamentan el tablero —la ecuación $EV = PPC \times PV$ (Novinsky et al., 2018), la correlación PPC–CPI (Govindasamy y Bekker, 2024) y el comportamiento anticipatorio del CCI (Gamboa Tolentino et al., 2026)— estaban previamente documentadas en la literatura científica. La contribución del presente trabajo no reside en el descubrimiento de estas relaciones sino en su operacionalización conjunta en una herramienta de control funcional y

verificable: ninguno de los estudios del corpus había integrado los cinco indicadores monitoreados (CCI, PPC, SPI, CPI, %RNC) en un sistema unificado con alertas preventivas automáticas, umbrales empíricamente respaldados y horizonte anticipatorio cuantificado. Esa integración operacional es el aporte específico que este trabajo añade al estado del arte.

7.2. Conclusión Sobre el OE1 — Revisión Sistemática de Literatura

La revisión sistemática de literatura, desarrollada con protocolo PRISMA sobre 851 registros identificados en Scopus y Web of Science, permitió consolidar un corpus de 80 artículos con alto nivel de pertinencia para los objetivos del trabajo, de los cuales 25 abordan directamente la integración EVM+LPS. El análisis sistemático de este corpus permitió alcanzar el primer objetivo específico en sus tres componentes: la identificación de los indicadores característicos de cada metodología, la documentación de sus limitaciones individuales y la identificación de las oportunidades de integración.

En cuanto a los indicadores, el corpus reveló que el EVM dispone de un sistema maduro de métricas financiero-temporales acumuladas (SPI, CPI, EAC, TCPI) y que el LPS cuenta con indicadores de confiabilidad operativa semanal (PPC, CCI, RNC, PCR) que operan en una escala temporal más corta y con mayor capacidad anticipatoria. Las limitaciones documentadas son estructurales y complementarias: el EVM es retrospectivo y no identifica causas, mientras que el LPS no cuantifica impacto financiero y puede ser manipulado. Las oportunidades de integración se sintetizan en cinco hallazgos empíricos validados, de los cuales el más relevante para el diseño del tablero es la correlación $r = 0.834$ ($p = 0.039$) entre el PPC y el CPI documentada por (Govindasamy & Bekker, 2024), que fundamenta cuantitativamente el horizonte anticipatorio del sistema integrado.

El análisis de vacíos identificó cinco brechas de investigación, tres de las cuales son directamente abordadas por el presente trabajo: la ausencia de un sistema que conecte causas

operativas con impacto financiero (V1 y V2) y la inexistencia de alertas integradas preventivas con horizonte cuantificado (V3).

7.3. Conclusión Sobre el OE2 — Marco Conceptual Integrado

El segundo objetivo específico fue alcanzado mediante la definición de un sistema de 19 indicadores integrados —12 EVM y 7 LPS—, seleccionados a partir de cuatro criterios de depuración aplicados sistemáticamente al inventario del corpus. El marco conceptual integrado articula estos indicadores en torno a la cadena causal de cuatro eslabones (CCI → PPC → EV/SPI/CPI → EAC/alertas gerenciales), sustentada en siete ecuaciones con respaldo empírico y regulada por 15 umbrales de semaforización (3 por cada uno de los 5 indicadores monitoreados: CCI, PPC, SPI, CPI y %RNC internos) con fuente bibliográfica específica para cada uno.

Los 16 requisitos funcionales definidos —cinco de entrada, cinco de proceso, tres de salida y tres de alerta— constituyen la especificación técnica del sistema de control preventivo y su principal aporte al segundo objetivo. Esta especificación no solo describe qué debe hacer el tablero, sino cómo debe hacerlo (con qué fórmulas, con qué periodicidad y bajo qué condiciones debe emitir alertas), lo que la convierte en la base directa del diseño implementado en el OE3. El análisis comparativo de las dimensiones funcionales de EVM y LPS confirma que su complementariedad es estructural —no ocasional—, y que la ecuación $EV = PPC \times PV$ (Novinsky et al., 2018) es el mecanismo de traducción que convierte la confiabilidad operativa semanal en el lenguaje financiero del desempeño acumulado.

7.4. Conclusión Sobre el OE3 — Diseño y Verificación del Tablero

El tercer objetivo específico fue alcanzado mediante el diseño, la implementación en Power BI Desktop y la verificación funcional de un tablero de control preventivo de cuatro páginas —Portada, Panel A EVM, Panel B LPS y Panel C Alertas Integradas—. La verificación con datos sintéticos en tres escenarios representativos confirmó el cumplimiento de los cuatro criterios de verificación establecidos en la metodología.

En el Escenario A, el tablero no generó ninguna alerta falsa durante las 12 semanas de simulación, con todos los indicadores manteniéndose en zona verde y los valores de SPI (0.941), CPI (1.020) y EAC (\$490.004) coherentes con un proyecto de alta confiabilidad. En el Escenario B, El tablero "evidenció" su capacidad mediante datos sintéticos: el CCI entró en zona roja en la semana 3, el SPI lo hizo en la semana 5 y el PPC en la semana 6, mientras el EAC proyectado superó el BAC desde la misma semana 3 y el CPI semanal entró en precaución en la semana 5: el tablero podría emitir señales operativas y de proyección de costo con 2 a 3 semanas de anticipación al deterioro consolidado del cronograma, dentro del horizonte de 2 a 5 semanas documentado en la literatura. En el Escenario C, el tablero activó la Alerta Global en rojo desde la primera semana, con el TCPI alcanzando 1.257 al cierre — indicador de que la crisis sistémica hace prácticamente imposible terminar el proyecto en el presupuesto original sin replanificación total.

La validación documental contra los cuatro referentes de autoridad metodológica — corpus de 25 artículos, PMI PMBOK 7, AACE 18R-97 y principios LCI— resultó en cumplimiento total de los 26 criterios evaluados, confirmando que el diseño del tablero es técnicamente coherente con el estado del arte de la disciplina y con los estándares internacionales aplicables.

7.5. Limitaciones del Estudio

El presente trabajo reconoce explícitamente tres limitaciones que deben tenerse en cuenta al interpretar sus resultados y al proyectar su aplicación práctica.

La primera limitación es la ausencia de validación empírica en proyectos reales. La verificación del tablero se realizó con datos sintéticos diseñados por los autores para simular comportamientos típicos documentados en la literatura, sin corresponder a registros reales de obra. Esto significa que el horizonte anticipatorio de 2 a 5 semanas y los niveles de exactitud reportados son coherentes con el modelo matemático propuesto, pero no han sido

contrastados con la variabilidad y la incertidumbre inherentes a proyectos de construcción reales.

Adicionalmente, la extracción de información de la revisión sistemática se realizó mayoritariamente a partir de abstracts estructurados (72 de los 80 artículos incluidos), condición documentada en el entregable E1 y metodológicamente aceptada para revisiones de alcance, aunque limita la profundidad del análisis de texto completo. La segunda limitación es el origen internacional de los umbrales de semaforización. Los umbrales de PPC ($\geq 75\%$ verde) provienen de proyectos residenciales colombianos (Lagos et al., 2020), los de SPI y CPI del estándar PMI (2021), y el umbral de CCI de un proyecto vial peruano (Gamboa Tolentino et al., 2026). Su transferibilidad a otros tipos de proyectos —obras civiles de gran escala, proyectos industriales, obras de infraestructura vial— y a contextos locales específicos requiere calibración con datos reales antes de su uso operacional.

La tercera limitación es el origen geográfico de la correlación empírica PPC–CPI ($r = 0.834$). Este hallazgo, que fundamenta cuantitativamente el horizonte anticipatorio del tablero, fue documentado por Govindasamy y Bekker (2024) en proyectos mineros de Sudáfrica. Aunque el nivel de significancia ($p = 0.039$) confirma la relación estadística, su magnitud puede variar en proyectos de construcción civil en el contexto colombiano o latinoamericano.

Una cuarta limitación concierne a las características del dataset sintético utilizado para la verificación. El proyecto simulado tiene una escala reducida (BAC = \$500.000, duración de 12 semanas) que, si bien permite verificar la lógica operativa del sistema, no representa las condiciones típicas de los proyectos de construcción de mediana y gran escala del contexto colombiano, donde los presupuestos son significativamente mayores y las duraciones superan los 12 meses. Adicionalmente, en una ejecución de 12 semanas no es posible observar el sesgo del SPI convencional en las etapas finales del proyecto documentado por Lipke (2003), según el cual el SPI converge artificialmente hacia 1,0 independientemente del retraso real a medida que el valor planificado se aproxima al BAC. Este fenómeno, relevante para proyectos

de larga duración, no fue verificado en el presente trabajo y constituye un aspecto adicional para abordar en la validación empírica futura.

8. Recomendaciones

Con base en los hallazgos del trabajo, las conclusiones presentadas en el Capítulo 5 y las limitaciones reconocidas, se formulan las siguientes cuatro recomendaciones orientadas a la extensión, calibración e implementación práctica del modelo conceptual propuesto.

8.1. Validación empírica en proyectos reales de construcción en Colombia

La primera y más urgente recomendación es implementar el tablero en al menos uno o dos proyectos de construcción en ejecución en Colombia —preferiblemente en el sector de la vivienda, las obras civiles o la infraestructura vial— durante un período mínimo de 6 a 12 meses. La implementación requiere registrar semanalmente el PPC de la reunión WWP, el CCI del Lookahead, la clasificación de las RNC y el conteo de restricciones identificadas y liberadas, además del PV semanal del cronograma de referencia. Los datos acumulados permitirán comparar las predicciones del tablero con el desempeño real del proyecto, estimar la precisión del horizonte anticipatorio de 2 a 5 semanas en condiciones de campo y calcular la tasa de falsos positivos y falsos negativos del sistema de semaforización. Esta validación empírica es la condición necesaria para transformar el modelo conceptual en una herramienta de aplicación operacional confiable.

8.2. Calibración de Umbrales para el Contexto Colombiano

La segunda recomendación es realizar la calibración específica de los umbrales de semaforización para el contexto de la construcción en Colombia, diferenciando al menos tres tipos de proyecto: vivienda de interés social (VIS), vivienda No VIS y obra civil de infraestructura. La calibración puede realizarse mediante análisis de regresión logística o curvas ROC (Receiver Operating Characteristic) que maximicen la sensibilidad y especificidad de las alertas. El valor óptimo de corte para el PPC —actualmente establecido en 75 % con base en proyectos residenciales colombianos de (Lagos et al., 2020)— puede diferir

significativamente en proyectos de pavimentación, puentes o edificaciones de uso institucional, donde las condiciones de productividad, complejidad contractual y cadena de suministro son distintas. Un estudio con 20 o más proyectos colombianos reales permitiría establecer umbrales localmente validados que mejoren la precisión operacional del tablero.

8.3. Extensión con Métricas Avanzadas de LPS

La tercera recomendación es ampliar el sistema de indicadores del tablero con métricas de segunda generación del LPS que detectan patrones de falla no capturados por el PPC convencional. (Samaniego, 2024) propuso los indicadores PPC+ y PPC++, que identifican variabilidad oculta en proyectos que reportan PPC alto pero con patrones de subasignación de tareas. La incorporación de estos indicadores en el Panel B del tablero permitiría detectar el fenómeno de sandbagging documentado por (Kim et al., 2015) —donde los equipos reducen deliberadamente el número de compromisos para mantener índices artificialmente altos— y distinguirlo de un desempeño operativo genuinamente confiable. Complementariamente, el Work Rate (WR) propuesto por (Ottaviani et al., 2026) —que mide la tasa de generación de valor ganado por período y ha demostrado mejorar la precisión de las proyecciones de EAC en un 37 %— puede incorporarse al Panel A como un indicador de tendencia que anticipe cambios en el CPI antes de que se acumulen como desviaciones significativas.

8.4. Integración con Tecnologías BIM y Sistemas ERP

La cuarta recomendación es explorar la integración del tablero con modelos de información de construcción (BIM, Building Information Modeling) en sus dimensiones 4D (tiempo) y 5D (costo), y con sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP) como SAP o Oracle. En un entorno BIM+ERP, el PV semanal podría calcularse automáticamente a partir del modelo de cronograma sin entrada manual de datos, el AC podría extraerse directamente del sistema contable del proyecto y el PPC podría alimentarse desde aplicaciones móviles de seguimiento semanal como las que ofrecen Autodesk Construction Cloud o plataformas especializadas de LPS. Esta integración tecnológica transformaría el tablero de un

prototipo conceptual que requiere entrada manual semanal en un sistema de control en tiempo real con actualización automática, representando el estado ideal de desarrollo al que el presente modelo conceptual aspira ser la base estructurada.

9. Referencias

- Alarcón, L. F., Diethelm, S., Rojo, O., & Calderon, R. (2005). *Assessing the impacts of implementing lean construction*. 387–393.
- Ballard, G. (1997). *Lookahead planning: the missing link in production control*.
- Ballard, G., & Howell, G. (2003). Lean project management. *Building Research & Information*, 31(2), 119–133. <https://doi.org/10.1080/09613210301997>
- Ballard, H. G. (2000). *THE LAST PLANNER SYSTEM OF PRODUCTION CONTROL*.
- Changali, S., Mohammad, A., & Van Nieuwland, M. (2015). *The construction productivity imperative*.
- Ezzeddine, A., Shehab, L., Hamzeh, F., & Lucko, G. (2019). Singularity functions to enhance monitoring in the last planner system. *27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, IGLC 2019*, 287–298. <https://doi.org/10.24928/2019/0134>
- Fajarwanto, A., Saputra, R. A., Sentosa, G. A., Azzaqy, A. U., Widyastuti, A. R., Winfried, A., Wachid, N., Nugroho, D., Aditrianandaand, A., & Mardiansyah, B. (2025). *Implementation of Progress Monitoring Dashboard Based on Last Planner System on Pavement Work: a Case Study of Bayung Lencir – Tempino Section 3 Toll Road Construction*. 529–539. <https://doi.org/10.24928/2025/0246>
- Gamboa Tolentino, E. O., Platero Morejon, I. Y., & Buelna, N. P. (2026). Application of the Last Planner System with Earned Value Management: A Case Study from a Road Construction Project in Peru. *International Journal of Civil Engineering*, 13(1), 63–75. <https://doi.org/10.14445/23488352/IJCE-V13I1P106>
- Govindasamy, T., & Bekker, M. C. (2024). Lean construction: Implementing the Last Planner System on mining projects. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 124(1), 7–14. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1695/2024>

- Hamzeh, F., Ballard & Iris, G., & Tommelein, D. D. (2012). Rethinking Lookahead Planning to Optimize Construction Workflow. *Lean Construction Journal* 2012 pp 15-34 www. In leanconstructionjournal.org *Lean Construction Journal*. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/15www.leanconstructionjournal.orghttp://>
- Hazir, Ö. (2015). A review of analytical models, approaches and decision support tools in project monitoring and control. *International Journal of Project Management*, 33(4), 808–815. <https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2014.09.005>
- Kim, S.-C., Kim, Y.-W., Park, K. S., & Yoo, C.-Y. (2015). Impact of Measuring Operational-Level Planning Reliability on Management-Level Project Performance. *Journal of Management in Engineering*, 31(5). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000326](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000326)
- Koskela, Lauri. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. Technical Research Centre of Finland.
- Lagos, C., Alarcón, L. F., Basoalto, F., & Del Río, Ó. (2020). Using reasons for non-compliance to assess project performance in the last planner system®. *IGLC 28 - 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction 2020*, 241–252. <https://doi.org/10.24928/2020/0090>
- Lipke, Walt. (2003). Schedule is different. *The Measurable News*.
- McKinsey & Company. (2020). *The next normal in construction*. https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-next-normal-in-construction-how-disruption-is-reshaping-the-worlds-largest-ecosystem?utm_source=chatgpt.com
- Novinsky, M., Nesensohn, C., Ihwas, N., & Haghsheeno, S. (2018). Combined application of earned value management and last planner system in construction projects. *IGLC 2018 - Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction Towards Mature Production Management Across Cultures and Frontiers*, 2, 775–785. <https://doi.org/10.24928/2018/0491>

- Ottaviani, F. M., De Marco, A., Narbaev, T., & Ballesteros-Pérez, P. (2026). Work rate-based indicators for improving project performance regression models. *International Journal of Construction Management*, 26(1), 99–112. <https://doi.org/10.1080/15623599.2025.2508293>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Pourrahimian, E., Salhab, D., Hamzeh, F., & AbouRizk, S. (2024). The Need for a Multidimensional Project Control Perspective. *Journal of Construction Engineering and Management*, 150(12). <https://doi.org/10.1061/JCEMD4.COENG-14540>
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide) and the standard for project management*. (7th ed.). Project Management Institute, Inc.
- Rudeli, N., Viles, ; E, González, J., & Santilli, A. (2018). Causes of Construction Projects Delays: A qualitative analysis. *Memoria Investigaciones En Ingeniería, Núm, 16*.
- Sacks, R., Radosavljevic, M., & Barak, R. (2010). Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction. *Automation in Construction*, 19(5), 641–655. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.010>
- Samaniego, O. A. (2024). *Unveiling the Hidden High Variability in Processes With Stable and Good PPC Results*. 316–327. <https://doi.org/10.24928/2024/0118>
- World Bank. (2024). *Drivers of Delays in Procurement of Infrastructure Projects*.

10. Glosario de Términos Especiales

Alerta Global Integrada. Indicador de estado general del proyecto calculado mediante la lógica de peor caso entre los cinco indicadores monitoreados (CCI, PPC, SPI, CPI y % RNC internos). Si cualquiera de los cinco está en zona roja, la Alerta Global es roja; si ninguno está en rojo pero al menos uno está en amarillo, es amarilla; si todos están en verde, es verde. Es la métrica central del Panel C del tablero de control preventivo propuesto en el presente trabajo.

Budget at Completion (BAC). Presupuesto total aprobado del proyecto al inicio de la ejecución, que sirve como línea base de costo contra la cual se calculan todos los indicadores EVM (PMI, 2021).

Constraint Coordination Index (CCI). Índice de Coordinación de Restricciones. Mide la proporción de restricciones identificadas en el Lookahead que fueron efectivamente liberadas antes de bloquear la ejecución de tareas. $CCI = (\text{Restricciones liberadas} / \text{Restricciones identificadas}) \times 100$. Es el indicador más anticipatorio del sistema integrado, con un horizonte de 3 a 5 semanas respecto al SPI (Gamboa Tolentino et al., 2026).

Cost Performance Index (CPI). Índice de Desempeño del Costo. Mide la eficiencia del uso del presupuesto: $CPI = EV / AC$. Un $CPI < 1.0$ indica sobre costo; $CPI > 1.0$ indica ahorro respecto al presupuesto planificado (PMI, 2021).

Earned Schedule (ES). Cronograma Ganado. Métrica que convierte el EV acumulado en unidades de tiempo, estableciendo en qué momento del cronograma original debería haberse alcanzado el nivel de avance actual. Corrige el sesgo del SPI convencional en las etapas finales del proyecto, donde el SPI converge artificialmente hacia 1.0 (Lipke, 2003).

Earned Value (EV). Valor Ganado. Costo presupuestado del trabajo efectivamente realizado hasta la fecha de corte. En el sistema integrado propuesto, se calcula como $EV = PPC \times PV$ (Novinsky et al., 2018), vinculando directamente la confiabilidad operativa del LPS con la métrica financiera del EVM.

Earned Value Management (EVM). Sistema de control de proyectos que integra el alcance, el costo y el cronograma en un conjunto de métricas cuantitativas para evaluar el desempeño acumulado y proyectar el resultado al cierre del proyecto. Estándar internacional reconocido por el PMI y la AACE International (PMI, 2021; AACE International, 2020).

Last Planner System (LPS). Sistema de planificación y control de producción basado en los principios de Lean Construction. Organiza la planificación en cuatro niveles (Should–Can–Will–Did) y mide la confiabilidad operativa del equipo a través del PPC, el CCI y las RNC. Desarrollado por Ballard (2000).

Lookahead. Nivel de planificación intermedia del LPS con un horizonte de 4 a 6 semanas que identifica las restricciones que impedirían ejecutar las actividades programadas y gestiona su remoción anticipada. Es el nivel donde opera el CCI como indicador de efectividad del proceso de make-ready.

Make-ready. Proceso del LPS mediante el cual el equipo de planificación identifica, analiza y remueve las restricciones que impiden que una tarea esté lista para ejecutarse en la semana en que está programada. Es la actividad central del Lookahead y el mecanismo que el CCI mide cuantitativamente.

Percent Plan Complete (PPC). Porcentaje de Plan Completado. Indicador central del LPS que mide la confiabilidad de los compromisos semanales: $PPC = (\text{tareas completadas} / \text{tareas comprometidas}) \times 100$. Proyectos exitosos presentan PPC promedio $\geq 75\%$ (Lagos et al., 2020).

Planned Value (PV). Valor Planificado. Costo presupuestado del trabajo que debería haberse completado hasta la fecha de corte según el cronograma de referencia. Es la línea base temporal del EVM (PMI, 2021).

Razones de No Cumplimiento (RNC). Clasificación de las causas por las cuales una tarea comprometida en el WWP no fue completada en la semana correspondiente. Se dividen en internas (atribuibles al equipo del proyecto) y externas (ajenas al control directo del equipo).

Su análisis sistemático permite identificar patrones de falla operativa y cuantificar su impacto en el cronograma (Lagos et al., 2020).

Schedule Performance Index (SPI). Índice de Desempeño del Cronograma. Mide la eficiencia del avance respecto al plan: $SPI = EV / PV$. Un $SPI < 1.0$ indica retraso; $SPI < 0.80$ es señal de crisis de cronograma según el PMI (2021).

Tablero de control preventivo. Sistema de visualización integrada que presenta simultáneamente indicadores de EVM y LPS en paneles complementarios, con semáforos automáticos fundamentados en umbrales empíricos, para emitir alertas con 2 a 5 semanas de anticipación al deterioro del SPI y el CPI. Entregable principal y contribución central del presente trabajo de grado.

To-Complete Performance Index (TCPI). Índice de Rendimiento del Trabajo por Completar. Indica la eficiencia que el equipo debe sostener desde el momento del corte hasta el cierre para terminar exactamente en el presupuesto original: $TCPI = (BAC - EV) / (BAC - AC)$. Valores superiores a 1.25 son considerados prácticamente inalcanzables sin replanificación total (PMI, 2021).

Weekly Work Plan (WWP). Plan de Trabajo Semanal del LPS. Contiene los compromisos específicos y medibles que el equipo se compromete a cumplir en los próximos siete días. Solo entra al WWP el trabajo con todas sus restricciones removidas. Es el nivel donde se mide el PPC al finalizar cada semana.