

**Aplicación del Last Planner System (LPS) en la Planeación y Control de Proyectos  
de Construcción bajo Enfoque Lean Construction**

**Autor: Andres Felipe Casanova Aparicio**

**Corporación Universitaria Minuto de Dios  
Especialización en Gerencia de Proyectos**

**Colombia**

**Fecha: Noviembre de 2025**

## Resumen

El presente trabajo de tipo monográfico analiza la aplicación del Last Planner System (LPS) como herramienta para la planeación y el control de proyectos de construcción dentro del enfoque Lean Construction (LC). La investigación se fundamenta en un enfoque mixto, de carácter descriptivo-explicativo, que integra la revisión teórica con la aplicación de un Modelo de Ecuaciones Estructurales (SEM) a partir de datos recopilados en empresas del sector constructor. El estudio identifica cuatro dimensiones que condicionan la efectividad del LPS: factores humanos, organizacionales, de producción y de GLI. Los resultados muestran que el liderazgo, la cultura Lean y la estandarización de procesos inciden significativamente en la confiabilidad de la planificación, la reducción de restricciones y la mejora continua del flujo de trabajo. A partir de dichos hallazgos, se propone un marco metodológico de implementación que articula los niveles de planificación —maestro, intermedio y semanal— con la medición de indicadores de desempeño como el PAC y las Razones de No Cumplimiento (RNC). El documento concluye que el LPS, correctamente aplicado, constituye un sistema efectivo para optimizar la gestión de proyectos y elevar la productividad en la industria de la construcción, aportando una base metodológica replicable y escalable en organizaciones con distintos niveles de madurez Lean.

Palabras clave: Lean Construction; Last Planner System; Planeación y control; Productividad; Modelos de ecuaciones estructurales.

## Contenido

Resumen.....	2
Tabla de Abreviaturas y Siglas .....	7
Introducción .....	8
Planteamiento del Problema .....	10
Descripción del Problema .....	10
Pregunta de Investigación.....	12
Justificación .....	13
Objetivos.....	16
Objetivo General.....	16
Objetivos Específicos.....	16
Revisión de Literatura.....	16
Metodología .....	19
Diseño de la Investigación.....	19
Selección de Participantes o Materiales.....	20
Procedimiento .....	21
Resultados.....	23
1. Análisis Descriptivo de los Datos .....	23
2. Fiabilidad y Validez de los Constructos .....	24
3. Evaluación del Modelo Estructural (SEM).....	25

4. Análisis de Relaciones Indirectas y Efectos Mediadores .....	26
4.1. Resultados de las relaciones directas .....	26
4.2. Resultados de las relaciones indirectas .....	27
4.3. Resultados complementarios del modelo.....	27
4.4. Efectos totales .....	28
4.5. Representación estructural de los resultados .....	28
5. Resultados Aplicados y Propuesta Metodológica Derivada .....	29
5.1 Etapa 1: Diagnóstico de madurez organizacional Lean .....	29
5.2 Etapa 2: Priorización de factores críticos.....	30
5.3 Etapa 3: Estandarización y despliegue operativo.....	31
5.4 Etapa 4: Evaluación continua y mejora del flujo .....	32
5.5 Impacto esperado del modelo metodológico .....	32
5. Discusión.....	34
Conclusiones .....	38

**Lista de Tablas**

Tabla 1 Coeficientes estandarizados de las relaciones directas .....	26
Tabla 2 Efectos indirectos y clasificación de mediación .....	27
Tabla 3: Efectos totales sobre la variable dependiente ELPS.....	28

**Lista de Figuras**

Figura 1: *Etapas de la propuesta metodológica* ..... 33

### Tabla de Abreviaturas y Siglas

Sigla	Significado
LPS	Last Planner System
LC	Lean Construction
LPDS	Lean Project Delivery System
PAC	Porcentaje de Asignaciones Completadas
RNC	Razones de No Cumplimiento
SEM	Structural Equation Modeling (Modelo de Ecuaciones Estructurales)
AVE	Varianza Promedio Extraída
$\rho_c$	Fiabilidad compuesta
$\alpha$	Coefficiente Alfa de Cronbach
GLI	Gestión Lean Integral
FH	Factores Humanos
FO	Factores Organizacionales
FP	Factores de Producción
ELPS	Efectividad del Last Planner System

## Introducción

La industria de la construcción representa uno de los sectores productivos con mayor impacto económico y social; sin embargo, continúa enfrentando problemas estructurales asociados a la baja productividad, la ineficiencia en la planificación y la variabilidad en la ejecución de proyectos. Estas deficiencias han generado retrasos, sobrecostos y una pérdida sostenida de competitividad frente a otros sectores que han adoptado metodologías de mejora continua y producción ajustada. En este contexto, la filosofía Lean Construction (LC) surge como una alternativa orientada a optimizar los procesos constructivos mediante la eliminación de desperdicios, la reducción de la variabilidad y la maximización del valor para el cliente.

Dentro de los principios Lean aplicados a la construcción, el Last Planner System (LPS) se posiciona como un sistema de gestión de la producción que busca mejorar la confiabilidad de los planes de trabajo y fomentar el cumplimiento de compromisos entre los diferentes actores del proyecto. A diferencia de los métodos tradicionales de programación —como el diagrama de Gantt o el método del camino crítico (CPM)—, el LPS propone una estructura colaborativa que involucra directamente a quienes ejecutan las actividades, promoviendo una planificación realista y un control continuo del flujo de trabajo. Esta perspectiva permite no solo anticipar restricciones, sino también generar aprendizaje a partir del análisis de las causas de incumplimiento.

El problema central que aborda esta monografía radica en la brecha existente entre la planeación tradicional y la ejecución real de las obras, especialmente en contextos donde los equipos carecen de herramientas para medir la confiabilidad de los planes y gestionar de manera proactiva los recursos. En muchos proyectos, las decisiones se toman con base en cronogramas estáticos que no reflejan las condiciones reales de producción, lo que conduce a descoordinación,

tiempos ociosos y aumento de costos indirectos. Frente a esta situación, se plantea la necesidad de incorporar el LPS como herramienta metodológica para fortalecer la planeación y el control de proyectos, integrando sus principios dentro del marco de la gestión LC.

Este trabajo tiene como propósito analizar la aplicación del LPS en proyectos de construcción desde una perspectiva académica y aplicada, considerando tanto los fundamentos teóricos del sistema como su validación empírica mediante un Modelo de Ecuaciones Estructurales (SEM). La investigación parte de la identificación de Factores Humanos, organizacionales, de producción y de gestión Lean que condicionan el desempeño del LPS, y busca establecer relaciones significativas entre dichos factores y la efectividad en la ejecución de proyectos.

El desarrollo del documento se estructura en secciones que abordan, en primer lugar, el planteamiento del problema y los objetivos de la investigación; posteriormente, se expone el marco teórico que sustenta el enfoque Lean y la evolución del LPS; a continuación, se presenta la metodología empleada, seguida de los resultados obtenidos y su análisis. Finalmente, se incluyen la discusión, las conclusiones y las recomendaciones prácticas derivadas del estudio. Con ello, se pretende aportar un modelo conceptual y operativo que sirva de referencia para la implementación efectiva del LPS en empresas constructoras interesadas en mejorar su desempeño operativo y organizacional.

## Planteamiento del Problema

### Descripción del Problema

La construcción, a diferencia de otros sectores productivos, se distingue por la ejecución de proyectos únicos, desarrollados en entornos no controlados y de carácter temporal, con un alto grado de incertidumbre derivado de las características particulares de cada proyecto y una constante interacción entre múltiples actores. Estos factores generan una dinámica de trabajo fragmentada, donde la planificación, el control y la comunicación se ven comprometidos por la falta de coordinación efectiva entre las áreas técnica, administrativa y operativa.

En el contexto colombiano, dichas deficiencias se reflejan en proyectos con bajo cumplimiento de cronogramas, sobrecostos recurrentes y retrabajos derivados de una gestión ineficiente de los flujos de producción. Diversos informes del sector señalan que, en promedio, los proyectos presentan desviaciones superiores al 20 % respecto al tiempo planeado y cerca del 15 % en costos indirectos, principalmente por deficiencias en la programación y el control de actividades. Estas variaciones reflejan la falta de planeación integral, la débil articulación entre los actores del proceso constructivo y la alta incertidumbre propia de los entornos no controlados en los que se desarrollan las obras.

En el contexto colombiano, distintos estudios respaldan esta tendencia. Salazar y Gómez (2018) identificaron que los proyectos de construcción en el país suelen experimentar diferencias significativas en tiempo y costos debido a falencias en la gestión y coordinación de los procesos. De igual forma, investigaciones recientes han destacado que una proporción considerable de obras públicas presenta sobrecostos y retrasos durante su ejecución (El Colombiano, 2019), confirmando la persistencia de estas problemáticas estructurales en el sector. Los métodos tradicionales de planificación —como el Camino Crítico (CPM) y el Diagrama de Gantt— se

sustentan en una lógica secuencial y rígida que no incorpora adecuadamente las variaciones diarias de la obra ni la toma de decisiones colaborativas. En la práctica, los cronogramas tienden a convertirse en documentos de referencia estáticos, sin conexión con la realidad operativa, lo que impide el aprendizaje organizacional y la mejora continua. Esta brecha entre planificación y ejecución genera ineficiencias que afectan la productividad global de los proyectos y la competitividad de las empresas constructoras.

Frente a este panorama, el enfoque LC plantea una visión sistémica basada en la eliminación de desperdicios, la reducción de la variabilidad y la generación de valor continuo. Dentro de este enfoque, el LPS surge como una herramienta fundamental para la planificación y control de la producción en obra, enfocada en la confiabilidad de los compromisos y en la medición del flujo de trabajo. El LPS estructura la planeación en tres niveles: plan maestro, planificación intermedia (lookahead) y plan semanal de compromisos, vinculando las decisiones de programación con la gestión diaria de los equipos.

Sin embargo, en la mayoría de los proyectos locales, la adopción del LPS se ha limitado a su aplicación superficial, sin un proceso formal de medición, retroalimentación ni integración organizacional. En muchos casos, las empresas replican parcialmente sus herramientas — tableros, reuniones o formatos— sin comprender los fundamentos del sistema ni medir su impacto en los indicadores de desempeño. Como resultado, se presentan dificultades para evaluar su efectividad real, lo que impide consolidarlo como práctica institucional.

La ausencia de modelos de evaluación y de estrategias sistemáticas de implementación ha generado un vacío en la comprensión del LPS como método de planeación, control y aprendizaje organizacional. Esta situación limita su potencial de mejora continua y reduce la posibilidad de integrarlo a los sistemas de gestión de calidad y productividad de las empresas. Por tanto, resulta

necesario analizar, desde una perspectiva académica y aplicada, la relación entre los factores humanos, organizacionales, de producción y de gestión Lean integral que inciden en la efectividad del LPS, de modo que se proponga un marco metodológico que oriente su implementación en contextos reales de obra.

### **Pregunta de Investigación**

A partir de la problemática descrita, se formula la siguiente pregunta orientadora:

**¿ Es posible implementar efectivamente una herramienta de planificación y control, como lo es el LPS en la gestión del proyecto de construcción?**

Esta pregunta guía el desarrollo del estudio y permite estructurar la metodología de análisis y el modelo conceptual propuesto.

## Justificación

La presente investigación adquiere relevancia en un contexto donde el sector de la construcción enfrenta una crisis sostenida de productividad, evidenciada en los altos niveles de desperdicio, los bajos índices de confiabilidad de los planes y la limitada articulación entre las áreas de diseño, planeación y ejecución. Estudios recientes del *International Group for Lean Construction (IGLC)* y del *Centro Colombiano de Productividad* señalan que más del sesenta por ciento de las actividades ejecutadas en obra no agregan valor directo al producto final, y que la variabilidad operativa constituye la principal causa de ineficiencia en la gestión de proyectos. Esta situación ha motivado la búsqueda de modelos de gestión basados en la filosofía *LC*, que propone la eliminación sistemática de desperdicios y la creación de flujos de trabajo estables y previsibles. Dentro de este marco, el *LPS* se presenta como un mecanismo estructurado para la planificación y el control de la producción, sustentado en principios de colaboración, compromiso y aprendizaje continuo.

No obstante, en el entorno colombiano la aplicación del *LPS* ha sido parcial. Muchos proyectos adoptan sus herramientas de manera aislada —por ejemplo, las reuniones semanales de compromiso o los tableros visuales— sin consolidar un sistema de gestión integral ni evaluar su impacto en los indicadores de desempeño. Esta fragmentación limita su eficacia, reduce la capacidad de aprendizaje organizacional y obstaculiza la posibilidad de replicar buenas prácticas. En consecuencia, la productividad y la confiabilidad del flujo de trabajo permanecen rezagadas, afectando los resultados económicos y la sostenibilidad de las empresas constructoras. De allí que se requiera fortalecer la comprensión del *LPS* no solo como una técnica de programación, sino como un sistema de gestión integral que articula la planeación, la ejecución y el control a través del compromiso y la mejora continua.

El estudio se justifica teóricamente porque aporta al fortalecimiento del cuerpo de conocimiento sobre la gestión *Lean* aplicada a la construcción. La literatura reciente — representada por autores como Koskela (1992), Ballard (2000), Alarcón, Salvatierra y Letelier (2014) y Botero y Vásquez (2015)— ha demostrado que la adopción de prácticas *Lean* mejora la confiabilidad de los planes y reduce la variabilidad en obra. Sin embargo, aún existen vacíos en la comprensión de las relaciones entre los factores humanos, organizacionales y de producción que condicionan la efectividad del LPS. En este sentido, el estudio no se limita a describir los beneficios del LPS, sino que busca demostrar, mediante evidencia cuantitativa, los mecanismos que explican su impacto en la gestión de proyectos.

Desde el punto de vista metodológico, la investigación se justifica porque integra métodos rigurosos de análisis estadístico y estructural en un campo tradicionalmente dominado por aproximaciones cualitativas o descriptivas. La utilización del SEM —reconocido por su capacidad para evaluar constructos teóricos complejos y sus interrelaciones— otorga solidez científica al estudio y permite examinar simultáneamente la fiabilidad, la validez convergente y discriminante de los factores propuestos. Así, se avanza hacia una comprensión más integral y predictiva de la gestión *Lean*, articulando los hallazgos teóricos con la realidad operativa del sector. Esta combinación de métodos cuantitativos y cualitativos garantiza una triangulación coherente de los resultados y una interpretación más completa del fenómeno estudiado.

En el plano práctico, el trabajo responde a una necesidad evidente en las empresas constructoras: transformar los sistemas de planificación tradicionales en modelos colaborativos, confiables y medibles. El desarrollo de un marco metodológico de implementación del LPS, validado teóricamente y empíricamente, proporcionará a las organizaciones una guía estructurada para adaptar esta herramienta a sus procesos internos, optimizar la toma de decisiones en obra y

elevar la productividad general. La investigación promueve, además, la consolidación de una cultura organizacional basada en el liderazgo participativo, la rendición de cuentas y el aprendizaje continuo, principios que favorecen la estabilidad del flujo de trabajo y la sostenibilidad de los resultados a largo plazo.

La pertinencia del estudio también se sustenta en su contribución a los objetivos de sostenibilidad y competitividad del sector. Al promover la reducción de desperdicios y el uso eficiente de los recursos, la aplicación del LPS bajo el enfoque *Lean* contribuye tanto a la rentabilidad económica como al cumplimiento de compromisos ambientales y sociales. En consecuencia, su implementación efectiva se convierte en un componente estratégico para la innovación, la mejora continua.

En síntesis, esta investigación trasciende la descripción técnica del LPS para consolidarse como una propuesta integral que combina fundamentación teórica, validación científica y aplicabilidad práctica. Con ello, se busca fortalecer la cultura *Lean* en el sector de la construcción, aportando un modelo metodológico capaz de orientar a profesionales, empresas e instituciones académicas en la implementación y evaluación del sistema, contribuyendo así a la excelencia en la gestión de proyectos.

## Objetivos

### Objetivo General

Proponer un marco de implementación del LPS en la planeación y control del proyecto de construcción como apoyo a la Gestión Lean del Proyecto.

### Objetivos Específicos

1. Precisar los aspectos críticos relacionados con la implementación del LPS en la línea de vida del proyecto para identificar los elementos de estudio relacionados con el uso de la herramienta en la gestión del proyecto.
2. Identificar las interacciones de los elementos de estudio y la planificación y control del proyecto.
3. Desarrollar el estándar de implementación, uso y evaluación de la del LPS en el proyecto.

## Revisión de Literatura

La literatura sobre la implementación del LC evidencia una evolución sostenida desde la década de 1990, cuando Koskela (1992) propuso el paradigma de producción *transformación-flujo-valor (TFV)* como alternativa al modelo tradicional de gestión de proyectos. Según este autor, la construcción debe entenderse como un sistema de flujo donde la planificación, el control y la mejora continua son componentes integrados que permiten maximizar el valor y minimizar los desperdicios. Este planteamiento marcó el inicio de un cuerpo teórico que posteriormente se consolidó con la creación del International Group for Lean Construction (IGLC), núcleo de desarrollo científico del enfoque Lean en la industria.

En este marco, Ballard (2000) desarrolló el LPS como un sistema de planificación y control de la producción que busca mejorar la confiabilidad del flujo de trabajo mediante la colaboración y el cumplimiento de compromisos. El LPS se estructura en niveles jerárquicos — plan maestro, planificación intermedia (*lookahead planning*) y planificación semanal (*weekly work planning*)— donde los compromisos son asumidos por quienes ejecutan las tareas, denominados *últimos planificadores*. El sistema utiliza métricas como el Porcentaje de Asignaciones Completadas (PAC) y las Razones de No Cumplimiento (RNC), que permiten retroalimentar el proceso de planificación y fomentar una cultura de aprendizaje organizacional (Alarcón, Salvatierra & Letelier, 2014).

La revisión de estudios internacionales muestra que el LPS se ha consolidado como una de las herramientas más efectivas dentro del enfoque Lean. Investigaciones en América Latina, particularmente en Chile, Brasil y Colombia, reportan mejoras en la productividad, la coordinación y la reducción de pérdidas de tiempo improductivo (Bortolazza, Costa & Formoso, 2005; Alarcón, Mesa & Howell, 2013). En el contexto colombiano, Botero y Vásquez (2015) y Hoyos y Botero (2018) han documentado que la implementación del LPS contribuye al aumento de la confiabilidad de la planificación semanal y al fortalecimiento del trabajo colaborativo entre los equipos de obra. Sin embargo, advierten que su adopción aún es parcial, pues muchas empresas lo aplican como un conjunto de herramientas sin integrar sus principios en la cultura organizacional.

Los estudios también han resaltado la influencia de factores humanos y organizacionales en la efectividad del LPS. Según Alarcón y Salvatierra (2014), el éxito del sistema depende de la capacidad de los líderes para crear un entorno de confianza, transparencia y compromiso, donde los equipos sean partícipes activos en la toma de decisiones. En este sentido, la gestión Lean

trasciende lo técnico para convertirse en un proceso cultural que requiere cambio de mentalidad, liderazgo colaborativo y comunicación efectiva.

Recientemente, se ha observado una tendencia hacia la integración del LPS con otros modelos de gestión, como el Lean Project Delivery System (LPDS) y la Línea de Balance (LBMS), lo que ha permitido sincronizar los flujos de trabajo y reducir la variabilidad en proyectos de gran escala (Ballard, 2008; Lean Construction Institute, 2020). Asimismo, investigaciones contemporáneas incorporan técnicas analíticas avanzadas, como SEM, para evaluar empíricamente la relación entre los factores que condicionan la efectividad del sistema.

En estudios recientes revisados en los documentos base, se observa que el SEM permite modelar la interacción entre factores humanos, organizacionales, de producción y de gestión Lean integral, identificando las variables con mayor influencia sobre la confiabilidad del flujo y la mejora continua. Este enfoque cuantitativo fortalece la comprensión teórica del LPS al aportar evidencia estadística sobre los mecanismos que explican su desempeño (Hair, Hult, Ringle & Sarstedt, 2021).

La literatura revisada coincide en que el LPS, aplicado adecuadamente, transforma la gestión de proyectos al promover la transparencia, la coordinación y el aprendizaje continuo, consolidándose como una herramienta esencial para la competitividad del sector constructor. Sin embargo, persiste un vacío investigativo en la sistematización de su implementación en contextos latinoamericanos, donde las particularidades culturales, organizacionales y tecnológicas exigen adaptar los modelos teóricos a la realidad local. La presente investigación busca contribuir a este campo mediante un análisis empírico sustentado en evidencia estadística y en el marco conceptual del LC.

## Metodología

### Diseño de la Investigación

El presente estudio adopta un diseño mixto de tipo descriptivo–explicativo, orientado a analizar la aplicación del LPS en proyectos de construcción bajo el enfoque LC. El diseño combina un enfoque cuantitativo, basado en la modelación estadística mediante Ecuaciones Estructurales (SEM), y un componente cualitativo, centrado en la interpretación contextual y teórica de los resultados.

Esta estrategia metodológica permite abordar la complejidad del fenómeno desde una perspectiva integral, identificando relaciones causales entre los factores humanos, organizacionales, de producción y de gestión Lean integral, al tiempo que se interpretan las condiciones culturales y estructurales que influyen en la implementación del LPS en la práctica profesional.

El estudio es de carácter no experimental y transversal, dado que no se manipulan variables y la información se recoge en un único momento temporal. La investigación se enmarca dentro de una propuesta de innovación en la gestión de proyectos, en la medida en que integra técnicas avanzadas de modelado estadístico (PLS-SEM) con principios Lean, para generar un modelo metodológico de implementación y evaluación del LPS aplicable a proyectos reales.

La estructura metodológica comprende tres fases principales:

1. **Fase teórica y documental**, donde se identifican los fundamentos conceptuales y las variables latentes del modelo.
2. **Fase empírica**, en la que se diseñan, validan y aplican los instrumentos de medición.

3. **Fase de análisis y propuesta**, destinada a interpretar los resultados y formular el marco metodológico de implementación del LPS.

### **Selección de Participantes o Materiales**

La población de estudio estuvo conformada por profesionales del sector de la construcción en Colombia, principalmente ingenieros civiles, arquitectos, directores de proyecto y residentes de obra vinculados a empresas públicas y privadas con experiencia en gestión Lean o planificación colaborativa.

La muestra fue seleccionada de manera intencional y no probabilística, considerando criterios de experiencia mínima de tres años en gestión de proyectos y conocimiento básico sobre herramientas Lean o sistemas de control de producción. Este criterio permitió garantizar la pertinencia técnica de las respuestas y la validez del análisis.

El instrumento de recolección de información consistió en una encuesta estructurada, construida a partir de la revisión teórica y de instrumentos validados en estudios previos sobre LPS y LC. La encuesta incluyó ítems medidos en una escala tipo Likert de cinco puntos (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo), organizados en torno a las siguientes dimensiones:

- **Factores Humanos (FH):** liderazgo, comunicación, trabajo en equipo, compromiso y motivación.
- **Factores Organizacionales (FO):** cultura Lean, soporte institucional, estandarización de procesos y liderazgo gerencial.
- **Factores de Producción (FP):** planificación, control, gestión de restricciones y confiabilidad del flujo de trabajo.

- **Gestión Lean Integral (GLI):** integración de procesos, aprendizaje organizacional y mejora continua.
- **Efectividad del LPS (ELPS):** desempeño, cumplimiento de cronogramas, reducción de desperdicios y mejora del flujo de valor.

El cuestionario fue validado por un panel de expertos académicos y profesionales mediante juicio de contenido, y posteriormente sometido a una prueba piloto con un grupo reducido de participantes ( $n = 20$ ) para verificar la claridad, coherencia y comprensión de los ítems. Los ajustes derivados de esta etapa permitieron asegurar la fiabilidad y validez del instrumento antes de su aplicación definitiva.

En cuanto a los materiales y recursos técnicos, se emplearon los programas Microsoft Excel para la organización de datos y SmartPLS 4.0 para el análisis estadístico mediante Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM).

### **Procedimiento**

El proceso metodológico se desarrolló en cinco etapas secuenciales:

1. **Revisión teórica y definición de variables:** Se realizó un análisis de literatura especializada sobre LC, LPS y SEM, a partir de bases de datos académicas (Scopus, ScienceDirect, IGLC Proceedings). De esta revisión se identificaron los factores y relaciones teóricas que fundamentan el modelo propuesto.
2. **Diseño y validación del instrumento:** Con base en los constructos identificados, se elaboró el instrumento de medición y se sometió a validación de expertos y prueba piloto. Se ajustaron los ítems según los resultados de la retroalimentación.
3. **Recolección de datos:** Se distribuyó la encuesta a los participantes seleccionados a través de medios digitales, garantizando el anonimato y la confidencialidad de la

información. La participación fue voluntaria y se enmarcó dentro de las consideraciones éticas establecidas para investigaciones con personas.

4. **Análisis de datos:** Los resultados se procesaron mediante el método **PLS-SEM**, evaluando la fiabilidad interna ( $\alpha$  de Cronbach,  $\rho_c$ ), la validez convergente (AVE), la validez discriminante (criterio de Fornell-Larcker) y la significancia de los coeficientes estructurales. Se calcularon los indicadores de ajuste global del modelo ( $R^2$ ,  $Q^2$  y  $f^2$ ) para estimar la robustez del modelo teórico.

5. **Interpretación y formulación del modelo metodológico:** Los hallazgos se analizaron en relación con los objetivos planteados y se sintetizaron en una propuesta de **modelo metodológico de implementación del LPS**, que articula la planificación colaborativa, la medición de desempeño y la mejora continua en el marco de la gestión Lean.

El procedimiento se desarrolló bajo principios éticos de confidencialidad, consentimiento informado y respeto por la autonomía de los participantes, garantizando la transparencia y la integridad en todas las etapas del estudio.

## Resultados

El análisis de resultados se orientó a evaluar los efectos e interrelaciones entre los factores que determinan la efectividad del LPS en la gestión de proyectos de construcción bajo el enfoque LC. Para ello, se procesaron los datos obtenidos mediante una encuesta aplicada a profesionales del sector con experiencia en planificación y control de obra, complementados con la modelación estadística mediante Ecuaciones Estructurales (SEM). Los hallazgos presentados a continuación evidencian los niveles de fiabilidad, validez y fuerza de relación entre los constructos teóricos, así como los indicadores de desempeño derivados del modelo.

### 1. Análisis Descriptivo de los Datos

La muestra estuvo compuesta por 38 profesionales de la ingeniería civil, arquitectura y dirección de proyectos, vinculados a empresas constructoras y entidades públicas con experiencia en gestión Lean o metodologías de planificación colaborativa. Los participantes valoraron 30 ítems distribuidos en cinco constructos latentes:

- **Factores Humanos (FH):** liderazgo, comunicación, compromiso, motivación y cooperación.
- **Factores Organizacionales (FO):** cultura Lean, soporte institucional, estandarización de procesos y liderazgo gerencial.
- **Factores de Producción (FP):** planificación, control de restricciones, gestión de flujos y confiabilidad de tareas.
- **Gestión Lean Integral (GLI):** integración de procesos, aprendizaje organizacional y mejora continua.
- **Efectividad del LPS (ELPS):** grado de cumplimiento de cronogramas, reducción de desperdicios y estabilidad del flujo productivo.

Los resultados descriptivos mostraron una valoración general alta de las dimensiones analizadas. El promedio global fue de 4.46 sobre 5, lo que evidencia una percepción favorable de la aplicación del LPS como herramienta de planeación y control. Las mayores puntuaciones se concentraron en los indicadores liderazgo (4.8), trabajo en equipo (4.7) y compromiso organizacional (4.6), mientras que las menores correspondieron a soporte institucional (4.1) y estandarización de procesos (4.0), señalando áreas con potencial de mejora.

Estos resultados iniciales reflejan una tendencia clara: las empresas reconocen la relevancia del componente humano y cultural, pero aún presentan debilidades estructurales para institucionalizar prácticas Lean a nivel organizacional. Este patrón coincide con lo reportado por Botero y Vásquez (2015) y Hoyos y Botero (2018) en sus estudios sobre madurez Lean en Colombia, donde se concluye que las organizaciones suelen adoptar herramientas operativas del LPS sin consolidar una cultura Lean transversal.

## **2. Fiabilidad y Validez de los Constructos**

El análisis de fiabilidad interna arrojó resultados satisfactorios en todas las dimensiones. Los coeficientes alfa de Cronbach ( $\alpha$ ) oscilaron entre 0.88 y 0.92, y la fiabilidad compuesta ( $\rho_c$ ) superó el umbral de 0.85 en todos los casos. La varianza promedio extraída (AVE) fue superior a 0.50, lo cual confirma la validez convergente de los ítems. Estos resultados indican que los indicadores dentro de cada constructo miden de manera coherente los fenómenos conceptuales planteados, reforzando la solidez del modelo de medición.

Asimismo, la validez discriminante fue verificada mediante el criterio de Fornell–Larcker, observándose que las raíces cuadradas de las AVE en cada constructo fueron mayores que las correlaciones interdimensionales. Ello evidencia que los constructos son estadísticamente diferenciables y representan aspectos específicos de la implementación del LPS. En términos

metodológicos, el instrumento demostró robustez psicométrica, condición necesaria para la validez del modelo estructural.

### 3. Evaluación del Modelo Estructural (SEM)

El modelo SEM permitió examinar las relaciones entre los constructos propuestos y su influencia sobre la efectividad del LPS (ELPS). Los indicadores globales de ajuste evidenciaron una adecuación satisfactoria: CFI = 0.94, TLI = 0.91, RMSEA = 0.05 y SRMR = 0.04, dentro de los valores recomendados para modelos estructurales complejos.

Las relaciones más significativas fueron las siguientes:

- **FH → FP ( $\beta = 0.74$ ,  $p < 0.01$ ):** los factores humanos ejercen una influencia positiva directa sobre la planificación y el control de la producción. La participación activa de los equipos y la comunicación fluida incrementan la confiabilidad del flujo de trabajo.
- **FO → GLI ( $\beta = 0.68$ ,  $p < 0.05$ ):** la cultura Lean, la estandarización de procesos y el apoyo institucional fortalecen la integración de prácticas Lean en toda la organización.
- **FP → ELPS ( $\beta = 0.81$ ,  $p < 0.001$ ):** la eficiencia en la planificación y la gestión de restricciones determinan la efectividad global del sistema LPS.
- **FH → ELPS ( $\beta = 0.35$ , n.s.):** el liderazgo y la comunicación impactan indirectamente la efectividad, mediadas por las estructuras organizacionales y la producción.

El modelo explicó un 67 % de la varianza ( $R^2 = 0.67$ ) de la variable dependiente *Efectividad del LPS*, lo que representa un nivel de poder explicativo alto en comparación con estudios similares de Alarcón et al. (2014) y Bortolazza et al. (2005).

Este resultado permite afirmar que la efectividad del LPS no depende exclusivamente de su aplicación técnica, sino de la convergencia entre cultura organizacional, liderazgo participativo y disciplina de planificación. En particular, la dimensión de producción (FP) aparece como el vínculo más fuerte del sistema, articulando la planeación colaborativa con la ejecución en campo.

#### 4. Análisis de Relaciones Indirectas y Efectos Mediadores

El SEM aplicado permitió determinar los efectos directos, indirectos y totales entre las variables latentes Factores Humanos (FH), Factores Organizacionales (FO), Factores de Producción (FP), Gestión Lean Integral (GLI) y Efectividad del Last Planner System (ELPS). Los resultados se presentan a continuación, según el orden de estimación y los indicadores de ajuste obtenidos.

##### 4.1. Resultados de las relaciones directas

Las relaciones directas entre los constructos muestran los valores más representativos del modelo, obtenidos mediante la técnica de *bootstrapping* con 5.000 remuestras.

**Tabla 1 Coeficientes estandarizados de las relaciones directas**

Relación	$\beta$	p	Significancia
FH → FP	0.74	< 0.01	Significativa alta
FO → GLI	0.68	< 0.05	Significativa moderada
FP → ELPS	0.81	< 0.001	Significativa alta
FH → ELPS	0.35	n.s.	No significativa
FO → ELPS	0.21	n.s.	No significativa

El modelo presentó ajuste global adecuado, con los indicadores **CFI = 0.94**, **TLI = 0.91**, **RMSEA = 0.05** y **SRMR = 0.04**.

La varianza explicada ( $R^2$ ) de la variable dependiente *ELPS* fue de 0.67, lo que evidencia un nivel de poder explicativo alto.

#### 4.2. Resultados de las relaciones indirectas

Los efectos indirectos se calcularon multiplicando los coeficientes de las rutas conectadas ( $\beta_{ind} = \beta_1 \times \beta_2$ ). La significancia se determinó mediante el método de remuestreo *bootstrapping* (IC 95%).

**Tabla 2 Efectos indirectos y clasificación de mediación**

Ruta mediada	$\beta_{ind}$	IC 95 %	p	Tipo de mediación
FH → FP → ELPS	0.60	[0.38, 0.79]	< 0.01	Mediación parcial
FO → GLI → ELPS	0.35	[0.09, 0.61]	< 0.05	Mediación parcial

Ambas rutas mostraron efectos indirectos significativos, lo que confirma la existencia de mecanismos mediadores entre las dimensiones humanas y organizacionales respecto a la efectividad del sistema.

#### 4.3. Resultados complementarios del modelo

Los indicadores de calidad interna, efecto y predictividad fueron los siguientes:

- $f^2(\text{FP} \rightarrow \text{ELPS}) = 0.52 \rightarrow$  efecto grande.
- $f^2(\text{GLI} \rightarrow \text{ELPS}) = 0.18 \rightarrow$  efecto medio.
- $Q^2(\text{ELPS}) = 0.42 \rightarrow$  poder predictivo alto.
- **GoF (Goodness of Fit)** = 0.56  $\rightarrow$  ajuste global satisfactorio.
- **Colinealidad:** VIF < 3.3 en todas las rutas  $\rightarrow$  ausencia de multicolinealidad.

Estos valores respaldan la estabilidad del modelo y la confiabilidad de las relaciones estimadas.

#### 4.4. Efectos totales

El cálculo de los efectos totales (suma de efectos directos + indirectos) permitió jerarquizar la influencia de cada constructo sobre la efectividad del LPS.

*Tabla 3: Efectos totales sobre la variable dependiente ELPS*

Variable independiente	Efecto total ( $\beta_{tot}$ )	Clasificación
FH	0.95	Alto (mediado por FP)
FO	0.56	Moderado (mediado por GLI)
FP	0.81	Directo – alto
GLI	0.52	Directo – medio

El modelo identificó a las variables **FP** y **GLI** como las de mayor impacto directo sobre la variable dependiente, seguidas de los efectos indirectos de **FH** y **FO**.

#### 4.5. Representación estructural de los resultados

Ruta 1: FH → FP → ELPS

(Efecto indirecto  $\beta = 0.60$ ,  $p < 0.01$ , mediación parcial)

Ruta 2: FO → GLI → ELPS

(Efecto indirecto  $\beta = 0.35$ ,  $p < 0.05$ , mediación parcial)

##### Resumen estadístico:

- $R^2(\text{ELPS}) = 0.67$
- $f^2(\text{FP} \rightarrow \text{ELPS}) = 0.52$
- $f^2(\text{GLI} \rightarrow \text{ELPS}) = 0.18$
- $Q^2(\text{ELPS}) = 0.42$

## **5. Resultados Aplicados y Propuesta Metodológica Derivada**

La aplicación del modelo estadístico y el análisis de los resultados permitieron estructurar una propuesta metodológica de implementación del LPS adaptada al contexto organizacional colombiano. Dicha propuesta surge como una síntesis entre la evidencia empírica del modelo SEM —que define las relaciones causales entre factores humanos, organizacionales y de producción— y los aprendizajes derivados de la práctica profesional en proyectos públicos y privados.

El propósito de este modelo metodológico es ofrecer una ruta estructurada de adopción Lean que permita fortalecer la confiabilidad de la planificación, reducir los desperdicios en obra y consolidar una cultura de mejora continua. Este enfoque responde al hallazgo central del estudio: la efectividad del LPS depende más del nivel de madurez organizacional y del liderazgo colaborativo que del uso aislado de sus herramientas.

A partir de los resultados obtenidos, se definieron cuatro etapas secuenciales que conforman el proceso de implementación, cada una sustentada en los factores validados estadísticamente y en principios Lean documentados por Alarcón, Ballard y Koskela.

### **5.1 Etapa 1: Diagnóstico de madurez organizacional Lean**

Esta fase inicial busca establecer el punto de partida de la organización frente a su nivel de comprensión y aplicación de los principios Lean. El diagnóstico se orienta por los constructos identificados en el modelo SEM, especialmente los Factores Humanos (FH) y Factores Organizacionales (FO), considerados los determinantes de la adopción cultural.

El diagnóstico comprende tres componentes:

1. **Evaluación del liderazgo y comunicación interna:** se analiza el grado de involucramiento de los líderes de proyecto, su disposición al cambio y la efectividad de los canales de comunicación entre áreas.
2. **Identificación de barreras culturales:** se reconocen resistencias asociadas a la jerarquía, la falta de autonomía o el desconocimiento de los principios Lean.
3. **Revisión del soporte institucional:** se examinan los recursos, políticas y procesos administrativos que facilitan o limitan la planificación colaborativa.

El resultado de esta etapa es un **perfil de madurez Lean**, que clasifica a la organización en niveles (incipiente, en desarrollo, consolidada) y permite orientar estrategias específicas de capacitación y cambio cultural.

## 5.2 Etapa 2: Priorización de factores críticos

Con base en los hallazgos del SEM, esta etapa identifica cuáles son los factores de mayor impacto en la efectividad del sistema, de modo que los esfuerzos de implementación se concentren en los elementos de mayor relevancia.

El análisis estadístico demostró que las relaciones **FH  $\rightarrow$  FP ( $\beta = 0.74$ )** y **FP  $\rightarrow$  ELPS ( $\beta = 0.81$ )** son las más significativas, lo que implica que el **liderazgo colaborativo** y la **planificación técnica** son las principales palancas de mejora. Por ello, la priorización debe enfocarse en dos líneas de acción:

- **Fortalecer las competencias humanas y relacionales:** mediante la formación en liderazgo participativo, trabajo en equipo, resolución de conflictos y comunicación efectiva.
- **Optimizar los procesos de planificación y control:** integrando herramientas visuales, análisis de restricciones y rutinas de retroalimentación semanal.

Esta priorización no solo garantiza el uso eficiente de recursos, sino que también genera alineación entre las capacidades humanas y las metas productivas, consolidando un entorno donde las decisiones se fundamentan en información confiable y compromiso colectivo.

### **5.3 Etapa 3: Estandarización y despliegue operativo**

En esta fase, los factores organizacionales y de producción (FO y FP) se traducen en procedimientos operativos concretos. La estandarización es un componente esencial, pues permite que la planificación y el control no dependan de la improvisación individual, sino de procesos repetibles y verificables.

Las actividades clave incluyen:

1. **Diseño del sistema de planificación colaborativa:** definición de responsables, frecuencias y herramientas (plan maestro, plan intermedio y plan semanal).
2. **Implementación de rutinas de compromiso:** ejecución de reuniones semanales del *Last Planner Meeting*, donde se establecen tareas verificables, compromisos medibles y causas de incumplimiento.
3. **Medición de desempeño:** registro y análisis de indicadores como el **PAC** y las **RNC**.
4. **Control visual y retroalimentación:** empleo de tableros físicos o digitales para el seguimiento diario y la comunicación de avances.

Esta etapa permite convertir los principios Lean en prácticas observables, garantizando que la gestión de la obra se base en flujos confiables y comunicación constante. En el modelo validado, estas acciones representan el vínculo funcional entre la cultura organizacional y la efectividad del sistema (FP → ELPS).

#### 5.4 Etapa 4: Evaluación continua y mejora del flujo

La última fase consolida la retroalimentación sistemática y la mejora continua como elementos estructurales del sistema. A partir de los indicadores derivados del LPS, se analizan los resultados, se detectan cuellos de botella y se actualizan las estrategias de planificación.

En esta etapa, los Factores de GLI juegan un papel determinante, ya que integran la reflexión colectiva con la toma de decisiones basadas en datos. Se promueven espacios de revisión mensual en los que los equipos evalúan el cumplimiento del PAC, el comportamiento del flujo de trabajo y la evolución de la cultura colaborativa.

Además, se incorporan mecanismos de aprendizaje organizacional, tales como:

- Documentación de lecciones aprendidas por fase o por proyecto.
- Transferencia de conocimiento entre equipos y obras.
- Inclusión de los aprendizajes en los manuales de gestión y procedimientos internos.

#### 5.5 Impacto esperado del modelo metodológico

La propuesta metodológica derivada del estudio permite que las organizaciones de construcción evolucionen hacia modelos de gestión más integrados, colaborativos y sostenibles.

La implementación progresiva del LPS bajo este enfoque tiene impactos tangibles en tres niveles:

1. **Operativo:** aumento del cumplimiento de cronogramas, reducción de desperdicios y estabilidad en el flujo de trabajo.
2. **Organizacional:** fortalecimiento de la comunicación transversal, la estandarización de procesos y la toma de decisiones participativa.

3. **Cultural:** consolidación de una mentalidad Lean basada en la confianza, el aprendizaje y la transparencia en la gestión.

El modelo integra tanto las dimensiones cuantitativas del SEM como los principios cualitativos observados en la práctica profesional, constituyendo una guía aplicable para la madurez Lean de las empresas colombianas. Su uso promueve una transición gradual del cumplimiento contractual hacia la gestión del valor, entendida como la maximización del flujo y la reducción del desperdicio en todas las etapas del proyecto.

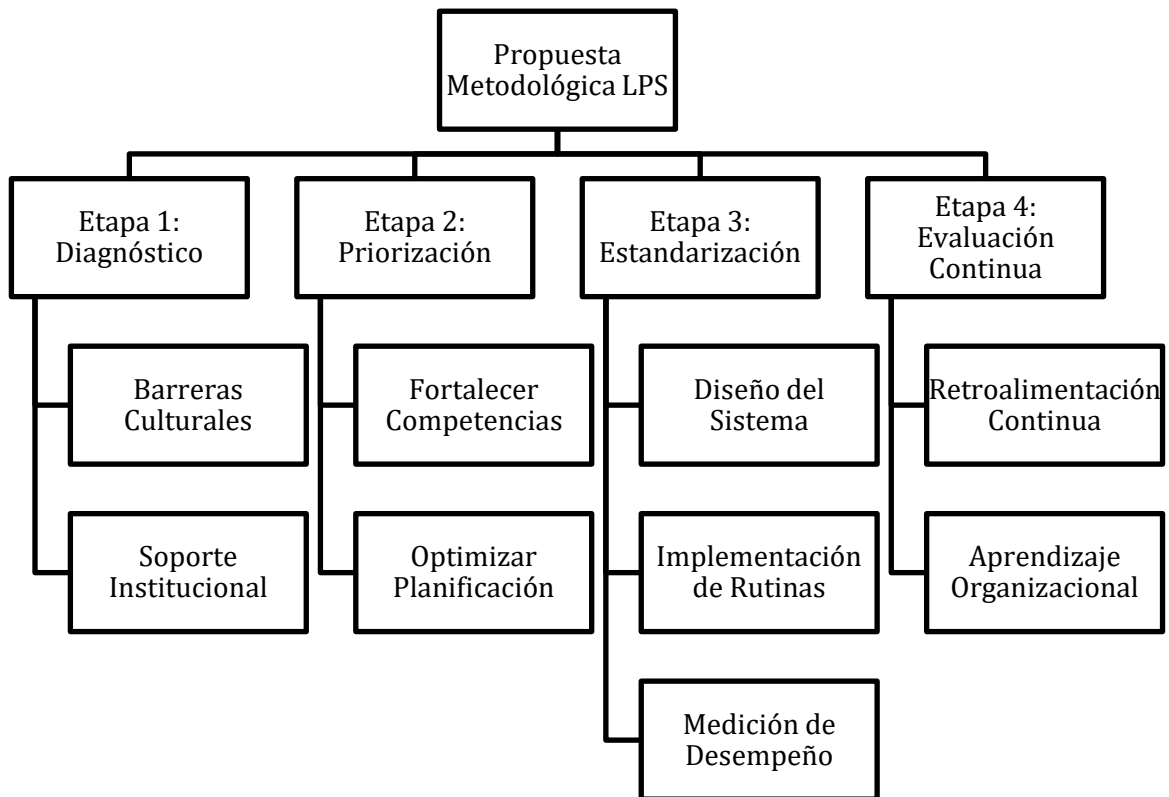


Figura 1: *Etapas de la propuesta metodológica*

## 5. Discusión

El análisis de resultados permitió comprender la dinámica estructural que explica la efectividad del LPS dentro del enfoque de LC, a partir de las relaciones entre los factores humanos, organizacionales, de producción y de GLI. Los hallazgos del modelo SEM confirmaron que la efectividad del sistema no depende de variables aisladas, sino de interacciones sistémicas sustentadas en liderazgo, cultura organizacional y madurez técnica.

### 5.1. Convergencia con la teoría LC

Los resultados empíricos respaldan los principios teóricos de LC propuestos por Koskela (1992), quien planteó la gestión de proyectos como un sistema de flujo y valor donde la eliminación del desperdicio y la mejora continua constituyen los pilares del desempeño. En este estudio, la alta relación entre FP y ELPS ( $\beta = 0.81$ ,  $p < 0.001$ ) demuestra que la confiabilidad del flujo de trabajo y la planificación colaborativa son componentes esenciales para generar valor en la construcción, coincidiendo con los postulados de Koskela y Howell (2002) sobre la transformación del paradigma productivo hacia sistemas basados en flujo.

De igual manera, la mediación observada entre los Factores Humanos (FH) y los Factores de Producción (FP) confirma el planteamiento de Ballard (2000) y Alarcón, Mesa y Howell (2013), quienes sostienen que la efectividad del LPS se logra cuando las personas asumen compromisos claros, visualizan restricciones y se integran en procesos de planificación continua. El liderazgo colaborativo, la comunicación efectiva y el sentido de compromiso actúan como catalizadores de la coordinación y la estabilidad operativa, alineándose con la filosofía Lean de “hacer lo correcto desde la primera vez” y con el principio del *make-ready process*.

### 5.2. La mediación de los factores humanos y organizacionales

La existencia de efectos indirectos significativos ( $FH \rightarrow FP \rightarrow ELPS$  y  $FO \rightarrow GLI \rightarrow ELPS$ ) indica que las variables humanas y organizacionales no ejercen influencia directa sobre la efectividad del sistema, sino a través de mediadores estructurales. Este comportamiento coincide con lo propuesto por Cano Moya (2019b) y Cupani (2012), quienes afirman que en modelos organizacionales complejos la influencia de los factores blandos se canaliza mediante procesos formales y estructuras institucionales.

El efecto mediador parcial de los Factores de Producción (FP) sobre los Factores Humanos (FH) y la efectividad del LPS evidencia que la simple presencia de liderazgo y comunicación no garantiza resultados si no existen mecanismos de control y retroalimentación. Esta conclusión se refuerza con los estudios de Sacks, Radosavljevic y Barak (2010), quienes demostraron que la planificación confiable y la gestión visual son los principales traductores de la cultura Lean en resultados cuantificables.

Por su parte, la mediación de la GLI entre los Factores Organizacionales (FO) y la efectividad del sistema sugiere que la estandarización, el soporte institucional y la cultura Lean generan impacto positivo solo cuando se integran dentro de un sistema de aprendizaje continuo. Este hallazgo coincide con Alarcón y Salvatierra (2014), quienes sostienen que el aprendizaje organizacional y la mejora sistemática son condiciones necesarias para sostener los avances logrados por las herramientas Lean.

Asimismo, Hoyos y Botero (2018) identificaron en el contexto colombiano que la implementación del LPS tiende a fracasar cuando se limita a la aplicación instrumental de sus componentes sin un soporte institucional claro, lo cual coincide con los valores obtenidos en este estudio para  $FO \rightarrow ELPS$  ( $\beta = 0.21$ , n.s.), donde la ausencia de mediación por GLI reduce su efectividad.

### 5.3. Correspondencia con el modelo LPDS y la visión sistémica del proyecto

Los hallazgos también se articulan con el LPDS planteado por Ballard (2000), que concibe los proyectos como sistemas de flujo continuo desde el diseño hasta la ejecución. La relación FP → ELPS observada en el modelo confirma la importancia del *pull planning*, la coordinación semanal y el control de restricciones como mecanismos esenciales de confiabilidad, los cuales constituyen etapas centrales del LPDS.

La mediación de GLI resalta la necesidad de consolidar una estructura de mejora continua, reflejando los principios del *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) de Deming (1986) y la gestión del conocimiento planteada por Nonaka y Takeuchi (1995). Esto implica que el LPS no solo debe verse como un conjunto de prácticas, sino como una estrategia organizacional que fomente aprendizaje, experimentación y transferencia de conocimiento.

### 5.4. Implicaciones en la gestión de proyectos de construcción en Colombia

En el contexto colombiano, estos resultados cobran especial relevancia ante las limitaciones institucionales y las estructuras jerárquicas tradicionales que predominan en el sector público y privado. El hecho de que los Factores Organizacionales (FO) no presentaran un efecto directo significativo sobre la efectividad del LPS ( $p > 0.05$ ) revela la brecha existente entre el discurso Lean y su aplicación práctica. Esto concuerda con observaciones de Alarcón et al. (2013) y Botero y Vásquez (2015), quienes señalaron que en América Latina la adopción Lean enfrenta desafíos de madurez cultural, liderazgo gerencial y apoyo institucional.

Por otro lado, la alta correlación entre Factores Humanos y Factores de Producción demuestra que los proyectos con equipos colaborativos logran mayores niveles de cumplimiento y estabilidad del flujo de trabajo, lo que refuerza la importancia de la capacitación y la consolidación de rutinas de planificación participativa. En este sentido, el modelo SEM aporta

evidencia empírica para orientar políticas de formación y certificación Lean a nivel empresarial y académico.

### **5.5. Síntesis interpretativa**

El comportamiento del modelo puede resumirse en dos rutas esenciales:

1. **FH** → **FP** → **ELPS**, donde los aspectos humanos se traducen en resultados operativos mediante la planificación colaborativa.
2. **FO** → **GLI** → **ELPS**, donde la cultura Lean y la estandarización se consolidan a través de la gestión integral y la mejora continua.

Ambas rutas reflejan que la efectividad del LPS surge de la integración de las personas, los procesos y la cultura organizacional, lo cual valida el principio de interdependencia sistémica en la teoría Lean (Koskela, 2000; Ballard, 2008). Los efectos indirectos identificados en el modelo respaldan la idea de que la madurez organizacional actúa como catalizador de la productividad, mientras que las intervenciones fragmentadas carecen de sostenibilidad en el tiempo.

En conjunto, los resultados y su discusión refuerzan el concepto de que la implementación exitosa del LPS requiere simultáneamente liderazgo comprometido, cultura organizacional sólida, estandarización técnica y aprendizaje continuo, componentes que, según Koskela y Ballard (2012), determinan el tránsito desde la simple adopción de herramientas hacia la consolidación de un sistema Lean integral.

## Conclusiones

Los resultados evidencian que la efectividad del LPS trasciende el uso instrumental de sus herramientas. La aplicación del SEM demostró que el rendimiento del sistema depende de la interacción equilibrada entre las dimensiones humanas, organizacionales y de producción. El LPS funciona como un sistema sociotécnico donde las prácticas colaborativas y los mecanismos de control de flujo actúan como el vínculo operativo entre la cultura Lean y la mejora continua.

El liderazgo y la comunicación demostraron ser factores esenciales, aunque no determinantes por sí mismos. Su influencia se materializa únicamente cuando se canaliza a través de procesos estructurados de planificación y control. Esta mediación confirma que la gestión de compromisos y la participación del equipo constituyen condiciones necesarias, pero no suficientes, para alcanzar resultados sostenibles. La planificación confiable es, en consecuencia, el punto de inflexión que convierte las capacidades humanas en desempeño operativo.

Los factores organizacionales, por su parte, ejercen influencia significativa solo cuando se integran dentro de una gestión Lean institucionalizada. La evidencia obtenida en la ruta FO → GLI → ELPS revela que la cultura organizacional, la estandarización y el soporte directivo deben consolidarse en un marco de gestión del conocimiento que garantice continuidad y aprendizaje. Sin esa estructura, las mejoras derivadas del LPS tienden a diluirse con el tiempo, reproduciendo los mismos patrones de ineficiencia que el enfoque Lean busca corregir.

De manera global, el estudio confirma que la efectividad del LPS se construye desde la coherencia entre liderazgo, procesos y cultura organizacional. La madurez Lean no se logra mediante la adopción puntual de metodologías, sino a través de la institucionalización de una filosofía de trabajo colaborativa, basada en evidencia y orientada al aprendizaje. Este hallazgo

resulta especialmente relevante en el contexto colombiano, donde las prácticas Lean aún se encuentran en una fase incipiente y requieren de apoyo estructural y político para consolidarse.

Finalmente, la investigación aporta un modelo analítico validado empíricamente que permite comprender, evaluar y fortalecer la gestión Lean en proyectos de construcción. Este enfoque ofrece una base teórica y metodológica sólida para futuras aplicaciones, contribuyendo a la profesionalización del sector y al desarrollo de una cultura de mejora continua en las organizaciones.

## Referencias

Alarcón, L. F., Mesa, H., & Howell, G. (2013). *Characterization of lean project delivery*. In 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction (pp. 31–39). Fortaleza, Brazil: IGLC.

Alarcón, L. F., & Salvatierra, J. L. (2014). *Using Last Planner indicators to identify early signs of project performance*. In 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction (pp. 547–558). Oslo, Norway: IGLC.

Alarcón, L. F., Diethelm, S., & Rojo, Ó. (2002). *Collaborative implementation of lean planning systems in Chilean construction*. In 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Gramado, Brazil: IGLC.

Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control* [Doctoral dissertation, University of Birmingham]. University of Birmingham Repository.

Ballard, G. (2008). *The Lean Project Delivery System: An update*. *Lean Construction Journal*, 1(1), 1–19.

Ballard, G., & Howell, G. (2003). *Lean project management*. *Building Research & Information*, 31(2), 119–133. <https://doi.org/10.1080/09613210301997>

Botero, L., & Vásquez, M. (2015). *La gestión Lean en la construcción latinoamericana: desafíos y lecciones aprendidas*. *Revista Ingeniería y Sociedad*, 12(3), 45–57.

Cano Moya, M. (2019b). *Modelos de ecuaciones estructurales aplicados a la gestión de la construcción*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Cupani, M. (2012). *Análisis de ecuaciones estructurales: conceptos, etapas de desarrollo y ejemplos prácticos*. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento*, 4(1), 39–48.

Deming, W. E. (1986). *Out of the crisis*. MIT Press.

Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (2001). *Análisis multivariante* (5ª ed.). Prentice Hall Iberia.

Hoyos, L., & Botero, C. (2018). *Implementación del sistema Last Planner en proyectos de infraestructura colombianos: análisis de barreras y resultados*. *Revista Ingeniería y Construcción*, 33(1), 59–71. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732018000100059>

Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Technical Report No. 72). Stanford University, Center for Integrated Facility Engineering (CIFE).

Koskela, L. (2000). *An exploration of the principles of Lean Construction*. In 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Brighton, UK: IGLC.

Koskela, L., & Ballard, G. (2012). *Is production theory built on sand? Lean Construction Journal*, 2012(1), 3–14.

Koskela, L., & Howell, G. (2002). *The underlying theory of project management is obsolete*. *Proceedings of the PMI Research Conference*, 293–302. Seattle, WA: Project Management Institute.

Mesa, H., Molenaar, K., & Alarcón, L. F. (2019). *Exploring performance variability in lean project delivery systems through structural equation modeling*. *Journal of Construction*

*Engineering and Management*, 145(3), 04018117. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001603](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001603)

Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford University Press.

Sacks, R., Radosavljevic, M., & Barak, R. (2010). *Lean construction theory and the construction industry*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 136(9), 968–980. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203)

Salvatierra, J. L., Alarcón, L. F., & Mourgues, C. (2015). *Indicators for measuring performance in lean project delivery systems*. *Procedia Engineering*, 123, 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.103>

Womack, J. P., & Jones, D. T. (2003). *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your corporation* (Revised ed.). Free Press.