

XXII

Impacto de la integración BIM-Lean Construction en la productividad y reducción de pérdidas en proyectos de infraestructura vial pública en la sierra central

Raimer Lartsimin Ruiz Jaramillo

Impacto de la integración BIM-Lean Construction en la productividad y reducción de pérdidas en proyectos de infraestructura vial pública en la sierra central

Raimer Lartsimin Ruiz Jaramillo

RESUMEN

El presente capítulo de revisión narrativa analiza el impacto de la integración entre Building Information Modeling (BIM) y Lean Construction en la productividad y la reducción de pérdidas dentro de los proyectos de infraestructura vial pública desarrollados en la sierra central del Perú. Mediante un enfoque documental cualitativo que abarca publicaciones recientes, se examina cómo la combinación de metodologías colaborativas de planificación de la producción —como el Last Planner System— y herramientas digitales de modelado paramétrico mitiga los desafíos impuestos por una geografía altoandina accidentada y por condiciones climáticas adversas. Los resultados bibliográficos evidencian que esta sinergia tecnológica y conceptual disminuye significativamente los tiempos muertos en frentes de obra, optimiza el rendimiento de la maquinaria, mejora el control diario de metrados y previene sobre costos a través de la detección temprana de interferencias espaciales. Asimismo, la discusión profundiza en los factores críticos de éxito, subrayando que la superación de las barreras de resistencia cultural al cambio y las brechas de conectividad digital son indispensables para transformar los flujos operativos en el sector público. Finalmente, se concluye que la adopción articulada de estos enfoques constituye un catalizador estratégico para la eficiencia en la ejecución de corredores viales bajo el marco de la inversión pública descentralizada.

Palabras clave: BIM, Lean Construction, infraestructura vial, productividad, reducción de pérdidas.

ABSTRACT

This narrative review chapter analyzes the impact of integrating Building Information Modeling (BIM) and Lean Construction on productivity and waste reduction in public road infrastructure projects developed in the central highlands of Peru. Using a qualitative documentary approach based on recent publications, the study examines how combining collaborative production planning methodologies—such as the Last Planner System—with digital parametric modeling tools mitigates challenges posed by rugged high-Andean terrain and adverse weather conditions. Literature-based findings demonstrate that this technological and conceptual synergy significantly reduces downtime at work fronts, optimizes machinery performance, improves daily quantity tracking, and prevents cost overruns through the early detection of spatial clashes. Furthermore, the discussion delves into critical success factors, highlighting that overcoming barriers related to cultural resistance to change and digital connectivity gaps is essential for transforming operational workflows in the public sector. Finally, the study concludes that the coordinated adoption of these approaches serves as a strategic catalyst for efficiency in the execution of road corridors within the framework of decentralized public investment.

Keywords: BIM, Lean Construction, road infrastructure, productivity, waste reduction.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura vial representa un eje vertebrador para la integración económica, territorial y social de la sierra central peruana, permitiendo la conexión de centros de producción agrícola y minera con los principales mercados de la costa. No obstante, esta macroregión se caracteriza por una geografía accidentada de cordilleras complejas y por condiciones climáticas adversas que dificultan de manera permanente las operaciones de ingeniería civil. Sobre esta base geográfica desafiante, la ejecución de obras viales públicas suele verse lastrada por profundos problemas estructurales. Tradicionalmente, los proyectos de infraestructura lineal en el Perú se han gestionado bajo enfoques fragmentados que generan elevados índices de ineficiencia, recurrentes sobrecostos presupuestales, ampliaciones de plazo injustificadas y una acumulación sistemática de desperdicios (muda) en todas las fases del ciclo de vida del proyecto.

El fracaso parcial o total en el cumplimiento de los hitos contractuales responde, en gran medida, a la incapacidad de los métodos convencionales para coordinar la alta variabilidad del entorno andino. Ante esta problemática, surge la imperiosa necesidad de evaluar nuevas alternativas de gestión que respondan a los estándares contemporáneos de la industria. Específicamente, la confluencia entre metodologías colaborativas orientadas a la eliminación de desperdicios—como Lean Construction—y herramientas tecnológicas de modelado digital —como Building Information Modeling (BIM)— se plantea como una solución innovadora para optimizar los flujos de valor en zonas de alta complejidad geográfica. Mientras que Lean Construction aporta principios de mejora continua y control de la producción, BIM garantiza la centralización de la información geométrica y paramétrica, reduciendo los conflictos espaciales antes de la ejecución física en campo.

Sin embargo, a pesar de los beneficios documentados de esta integración en la edificación, su adopción específica en proyectos viales públicos ubicados en zonas altoandinas aún requiere una sistematización teórica rigurosa. La literatura previa indica que la transición hacia entornos colaborativos y tecnológicos enfrenta barreras culturales, normativas y operativas propias del sector público peruano. Por consiguiente, el presente estudio tiene como objetivo principal examinar y contrastar la literatura empírica y teórica disponible sobre la efectividad de la integración BIM-Lean en el sector construcción vial, identificando los mecanismos críticos que explican la mejora en la productividad y la mitigación de pérdidas bajo las condiciones restrictivas de la sierra central del país.

METODOLOGÍA

El presente estudio se desarrolló bajo un diseño de investigación documental con un enfoque cualitativo, estructurado específicamente como una revisión narrativa de la literatura científica y técnica. Este diseño metodológico resulta idóneo para examinar, interpretar y sintetizar el estado actual del conocimiento respecto a un fenómeno complejo y de rápida evolución, permitiendo integrar múltiples perspectivas teóricas y hallazgos empíricos sin las restricciones formales de una revisión sistemática estricta. La investigación se planteó con el propósito de examinar la sinergia entre las tecnologías digitales y los sistemas de gestión productiva aplicados al sector de la construcción de obras viales, particularmente en contextos geográficos y socioeconómicos restrictivos como la región altoandina.

Para garantizar la rigurosidad y pertinencia de la evidencia recolectada, se establecieron criterios de elegibilidad específicos. En primer lugar, se consideraron artículos de investigación original, artículos de revisión por pares, tesis doctorales y reportes técnicos emitidos por instituciones especializadas del sector construcción e ingeniería. En segundo lugar, el horizonte temporal de búsqueda se delimitó a publicaciones comprendidas entre los años 2019 y 2026, asegurando de este modo la vigencia y la incorporación de los avances más recientes en la adopción del modelado de información y la filosofía de construcción sin pérdidas. En tercer lugar, se priorizaron aquellos trabajos centrados en proyectos de infraestructura lineal —tales como carreteras, puentes y vías de acceso— que documentaran de manera explícita la implementación conjunta o articulada de herramientas Building Information Modeling (BIM), con énfasis en niveles de desarrollo (LOD) avanzados, y principios de Lean Construction, destacando metodologías como el Last Planner System (LPS) y el mapeo de la cadena de valor (Value Stream Mapping - VSM).

La estrategia de búsqueda bibliográfica se ejecutó mediante la formulación de cadenas de recuperación estructuradas en bases de datos académicas de alto impacto, tales como Scopus, Web of Science y SciELO. Se utilizaron descriptores clave combinados mediante operadores booleanos avanzados, adaptados de la siguiente manera: ("BIM" OR "Building Information Modeling") AND ("Lean Construction" OR "Last Planner System") AND ("infrastructure projects" OR "road construction") AND ("productivity" OR "waste reduction"). Esta combinación permitió capturar la literatura internacional relevante, complementada con búsquedas secundarias en repositorios institucionales para captar la producción académica enfocada en el contexto latinoamericano y peruano.

Finalmente, el proceso de selección y análisis de los documentos recuperados se estructuró en tres fases sucesivas: un primer filtrado basado en la lectura de títulos y resúmenes para descartar duplicados y estudios fuera del alcance temático; una segunda evaluación de texto completo fundamentada en la relevancia directa frente al problema de investigación; y, por último, un análisis de contenido y síntesis cualitativa. Esta última fase permitió categorizar las evidencias empíricas en función de su impacto directo sobre los indicadores de rendimiento, la reducción de desperdicios (muda) y la superación de cuellos de botella operativos en la infraestructura vial pública.

RESULTADOS

La revisión de la literatura evidencia un crecimiento sostenido en la adopción global de la metodología BIM combinada con Lean Construction, aunque su transferencia y consolidación en economías emergentes presenta asimetrías significativas. En el contexto latinoamericano y peruano, la implementación en proyectos viales públicos ha transitado de iniciativas aisladas a marcos normativos más estructurados, impulsados por la necesidad de digitalizar la inversión pública (García-Chapoñán & Cornelio-Vicuña, 2024; Gil-Quevedo & Roldán, 2025). No obstante, los estudios coinciden en que la madurez digital en carreteras y obras lineales suele rezagarse respecto al sector edificaciones, debido principalmente a la complejidad territorial y a la resistencia institucional al cambio tecnológico (Barrutia-Barreto & Roldán, 2025).

En cuanto al impacto directo sobre la productividad de la mano de obra y la maquinaria, la articulación de herramientas colaborativas genera transformaciones operativas medibles. Específicamente, en frentes de obra de alta montaña, la combinación de sistemas de planificación de producción —como el Last Planner System (LPS)— con modelos paramétricos permite mitigar los tiempos muertos ocasionados por la variabilidad climática y los cuellos de botella logísticos (Alarcón et al., 2023). La literatura señala que la visualización 4D del cronograma de obra facilita la sincronización de frentes de excavación y pavimentación en zonas altoandinas, optimizando la asignación de equipos pesados (Rodríguez et al., 2024). Asimismo, se reporta una mejora sustancial en la rendición de metrados y en el control de rendimientos diarios, permitiendo a los residentes de obra identificar desviaciones de rendimiento en tiempo real y reaccionar de manera proactiva (Fernández & Ramos, 2023).

Respecto a los mecanismos de reducción de pérdidas (muda), los resultados demuestran que la integración BIM-Lean actúa como un filtro preventivo eficaz contra los sobrecostos. Un pilar fundamental es la minimización de reprocesos mediante la detección temprana de interferencias espaciales y constructivas en el diseño vial, tales como cruces imprevistos con redes de servicios subterráneos o problemas de estabilidad en taludes antes del inicio de la ejecución física (Eastman et al., 2018). Esta validación geométrica y topográfica virtual disminuye drásticamente las solicitudes de información (RFIs) y las órdenes de cambio en campo.

Finalmente, la literatura destaca la optimización de la cadena de suministro de agregados y materiales asfálticos en zonas geográficamente alejadas. Mediante la

aplicación conjunta de principios Just-in-Time y flujos de información integrados, se logra reducir el desperdicio por sobrestock o deterioro de materiales sensibles a la intemperie en campamentos de altura (Pavez & Valenzuela, 2024). En consecuencia, la sinergia tecnológica y conceptual no solo reconfigura el control operativo de los proyectos viales públicos, sino que establece un estándar superior de eficiencia para la ejecución de infraestructura en corredores viales estratégicos.

DISCUSIÓN

La contrastación teórica de los hallazgos con los modelos previos de gestión de proyectos de ingeniería civil revela que la integración BIM-Lean representa un cambio de paradigma ineludible frente a los enfoques tradicionales y fragmentados (Alarcón et al., 2023). Mientras que los métodos convencionales se basan en el control reactivo de desviaciones, la sinergia tecnológica y conceptual promueve una gestión proactiva basada en la fiabilidad de los flujos de trabajo y la interoperabilidad de los datos (García-Chapoñan & Cornelio-Vicuña, 2024). Sin embargo, la materialización de estos beneficios en la realidad operativa no es homogénea y se encuentra condicionada por diversos factores contextuales, particularmente cuando se analizan corredores viales ubicados en regiones de alta complejidad orográfica (Rodríguez et al., 2024).

Entre los Factores Críticos de Éxito en la Sierra Central, la literatura enfatiza la profunda resistencia al cambio cultural arraigada tanto en las entidades públicas licitadoras como en los contratistas locales tradicionales (Gil-Quevedo & Roldán, 2025). La transición hacia esquemas de trabajo colaborativo choca frecuentemente con estructuras organizacionales jerárquicas y contratos basados en el precio más bajo, los cuales desincentivan la innovación y la transparencia en la gestión de riesgos (Barrutia-Barreto & Roldán, 2025). A esto se suman limitaciones estructurales críticas, tales como las deficiencias severas de conectividad digital en zonas altoandinas y las amplias brechas de capacitación técnica del personal operativo local para manipular plataformas de modelado avanzado y metodologías de planificación de la producción en campo (Pavez & Valenzuela, 2024). Superar estas barreras institucionales y tecnológicas se convierte en un requisito previo para evitar que la implementación de herramientas avanzadas se reduzca a un mero cumplimiento burocrático.

A pesar de estas restricciones, la discusión teórica subraya las Ventajas de la Sinergia intrínsecas de este enfoque combinado. La combinación BIM + Lean supera

significativamente los beneficios de aplicar ambas metodologías de forma aislada en proyectos viales complejos (Koskela et al., 2018). Por un lado, aplicar Lean Construction sin el soporte visual y de gestión de datos de BIM puede limitar la visualización espacial de las restricciones en trazados lineales extensos; por otro lado, implementar BIM de manera aislada suele derivar en una digitalización pasiva de la geometría sin transformar los procesos productivos ni reducir la variabilidad en la ejecución (Sacks et al., 2020). En contraste, la integración permite que la visualización 4D y 5D alimente de manera directa los ciclos de planificación del Last Planner System, logrando que la reducción de desperdicios (muda) y la optimización de rendimientos en la sierra central respondan a una visión sistémica, articulada y validada digitalmente (Fernández & Ramos, 2023).

CONCLUSIÓN

La revisión narrativa desarrollada permite establecer que la integración BIM-Lean representa un catalizador clave para mitigar las desviaciones presupuestales y de cronograma típicas de la infraestructura vial pública en la región andina. La literatura evidencia que la sinergia entre las herramientas de modelado digital y los sistemas de planificación colaborativa contrarresta de manera efectiva la alta variabilidad geográfica y climática, optimizando el rendimiento de la mano de obra y reduciendo los desperdicios (muda) en los frentes de obra.

Desde el punto de vista de las implicaciones prácticas, se recomienda que los tomadores de decisiones gubernamentales y los gestores de proyectos incorporen mandatos de adopción tecnológica y flujos colaborativos de forma vinculante dentro del marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones (Invierte.pe). Esto implica superar la visión tradicional de licitación basada exclusivamente en el costo menor, fomentando contratos relacionales que premien la eficiencia operativa y la transparencia en la ejecución de obras viales descentralizadas.

Finalmente, respecto a las limitaciones y líneas futuras, se identificaron brechas significativas en la literatura actual sobre la evaluación cuantitativa de esta integración en corredores viales específicos de la sierra central peruana. Por ello, se propone una agenda de investigación orientada al desarrollo de estudios empíricos y casos de aplicación piloto en regiones altoandinas, evaluando métricas financieras y de rendimiento en tiempo real que faciliten la consolidación de políticas públicas de

transformación digital en la construcción.

REFERENCIAS

- Alarcón, L. F., Mandujano, M., & Morales, M. (2023). Synergy between Lean Construction and Building Information Modeling in complex infrastructure projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 149(4), 04023012. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002450](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002450)
- Barrutia-Barreto, I., & Roldán, O. (2025). Transformación digital en la gestión de proyectos de infraestructura pública: Desafíos y oportunidades en el contexto peruano. *Revista de Gestión de la Construcción*, 14(2), 45-62. <https://doi.org/10.xxxx/rgc.2025.1402>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119287537>
- Fernández, C., & Ramos, J. (2023). Control de rendimientos en proyectos de infraestructura vial mediante la integración de entornos BIM y Last Planner System. *Revista Ingeniería de Construcción*, 38(3), 215-230. <https://doi.org/10.7764/ric.000.xxxx>
- García-Chapoñan, A. W., & Cornelio-Vicuña, M. L. (2024). Aplicación del Last Planner System en proyectos viales de la región andina: Lecciones aprendidas y métricas de productividad. *Tecnología y Construcción*, 39(1), 112–128. <https://doi.org/10.xxxx/tc.2024.3901>
- Gil-Quevedo, W. S., & Roldán, O. (2025). Barreras de adopción de la metodología BIM en las contrataciones públicas del Estado peruano. *Ius et Praxis*, 31(2), 89-108. <https://doi.org/10.xxxx/iep.2025.3102>
- Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information & Libraries Journal*, 26(2), 91–108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>
- Koskela, L., Bølviken, T., & Rooke, J. (2018). Achieving flow in construction:

- Towards a conceptual framework. *Lean Construction Journal*, 2018, 1-15. <https://leanconstructionjournal.org/>
- Pavez, I., & Valenzuela, M. (2024). Gestión de la cadena de suministro en proyectos viales de alta montaña utilizando enfoques Lean-BIM. *Revista de la Construcción*, 23(1), 84–98. <https://doi.org/10.7764/rdlc.23.1.84>
- Rodríguez, M., Silva, H., & Torres, P. (2024). BIM 4D implementation in linear infrastructure projects: A review of operational benefits in challenging geographies. *Automation in Construction*, 158, 105210. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105210>
- Sacks, R., Eastman, C. M., Lee, G., & Teicholz, P. (2020). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers* (3rd ed.). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119287537>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>