

Proyectos preliminares relacionados con LC, BIM e IA en la industria de construcción

Preliminary Projects Related to LC, BIM and AI in the Construction Industry

Gisselle N. Gómez-Rodríguez¹ Andrés F. Álvarez-Sanabria¹ Jorge A. Sarmiento-Rojas¹

¹ Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja (Colombia).

Resumen

Introducción: la adopción de Lean Construction (LC), Modelado de Información para la Construcción (BIM) e Inteligencia Artificial (IA) está transformando significativamente la gestión de la construcción. Sin embargo, la investigación sobre la integración de estos tres enfoques en el sector es aún limitada, lo que restringe el avance de la modernización en la industria de la construcción.

Objetivo: este artículo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de 186 documentos sobre la adopción de LC, BIM e IA en proyectos de construcción. La investigación analiza la literatura existente, identifica patrones y mejores prácticas, y ofrece recomendaciones para integrar estos enfoques en la industria.

Metodología: se utilizó la metodología PRISMA, una guía estructurada para realizar revisiones sistemáticas y meta-análisis, que permitió llevar a cabo cuatro etapas principales: identificación, selección, evaluación de elegibilidad e inclusión. Esta metodología garantiza la transparencia y reproducibilidad del proceso de revisión. La revisión se realizó usando la base de datos Scopus, y se evaluaron herramientas, técnicas y estrategias implementadas en proyectos de construcción, destacando tanto las características específicas de los proyectos como las transversales.

Resultados: la revisión destacó las sinergias entre LC, BIM e IA, mostrando cómo la combinación de estas tecnologías optimiza la eficiencia operativa y reduce el desperdicio en los proyectos de construcción. Además, se subrayó la mejora continua, la toma de decisiones más informadas y la colaboración efectiva entre los actores del proyecto a lo largo de su ciclo de vida.

Conclusiones: se concluye que la adopción de LC, BIM e IA tiene el potencial de transformar el sector de la construcción al optimizar procesos, mejorar la sostenibilidad y permitir una mejor integración de los actores involucrados en los proyectos. Se enfatiza la necesidad de una mayor adopción de estas tecnologías para acelerar la modernización del sector.

Palabras clave: Construcción Lean (LC); Modelado de información de construcción (BIM); Inteligencia Artificial (IA), Revisión Sistemática.

Abstract

Introduction: the adoption of Lean Construction (LC), Building Information Modeling (BIM), and Artificial Intelligence (AI) is significantly transforming construction management. However, research on the integration of these three approaches in the industry is still limited, which restricts the advancement of modernization in the construction sector.

Objective: this paper aims to systematically review 186 documents on the adoption of LC, BIM, and AI in construction projects. The research analyzes existing literature, identifies patterns and best practices, and provides recommendations for integrating these approaches into the industry.

Methodology: the PRISMA methodology was used, a structured guide for conducting systematic reviews and meta-analyses, which involved four main stages: identification, selection, eligibility assessment, and inclusion. This methodology ensures transparency and reproducibility of the review process. The review was conducted using the Scopus database, and tools, techniques, and strategies implemented in construction projects were evaluated, highlighting both project-specific and transversal characteristics.

Results: the review highlighted the synergies between LC, BIM, and AI, demonstrating how the combination of these technologies optimizes operational efficiency and reduces waste in construction projects. Furthermore, continuous improvement, more informed decision-making, and effective collaboration among project stakeholders throughout the project lifecycle were emphasized.

Conclusions: It is concluded that the adoption of LC, BIM, and AI has the potential to transform the construction sector by optimizing processes, improving sustainability, and allowing better integration of the stakeholders involved in projects. The need for greater adoption of these technologies to accelerate the modernization of the sector is emphasized.

Keywords: Lean Construction (LC); Building Information Modeling (BIM); Artificial Intelligence (AI), Systematic Re-view.

¿Cómo citar?

Gómez-Rodríguez, G.N., Álvarez-Sanabria, A.F., Sarmiento-Rojas, J.A. Proyectos preliminares relacionados con LC, BIM e IA en la industria de construcción. Ingeniería y Competitividad, 2025, 27(1)e-30414401

<https://doi.org/10.25100/iyc.v27i1.14401>

Recibido: 29-08-24

Evaluado: 29-10-24

Aceptado: 11-02-25

Online: 26-02-25

Correspondencia

gisselle.gomez@uptc.edu.co



Contribución a la literatura

¿Por qué se realizó?

La industria de la construcción se enfrenta a una creciente complejidad, lo que requiere una gestión eficiente de herramientas, metodologías y filosofías para cumplir con los requisitos del proyecto. A pesar de los beneficios comprobados de la Construcción Lean (LC), el Modelado de Información de la Construcción (BIM) y la Inteligencia Artificial (IA) para mejorar los procesos y la toma de decisiones, su integración sigue siendo un desafío. Muchas empresas, especialmente las pymes, cuentan con recursos financieros, tecnológicos y de gestión limitados, lo que dificulta la adopción de estos enfoques avanzados.

¿Cuáles fueron los resultados más relevantes?

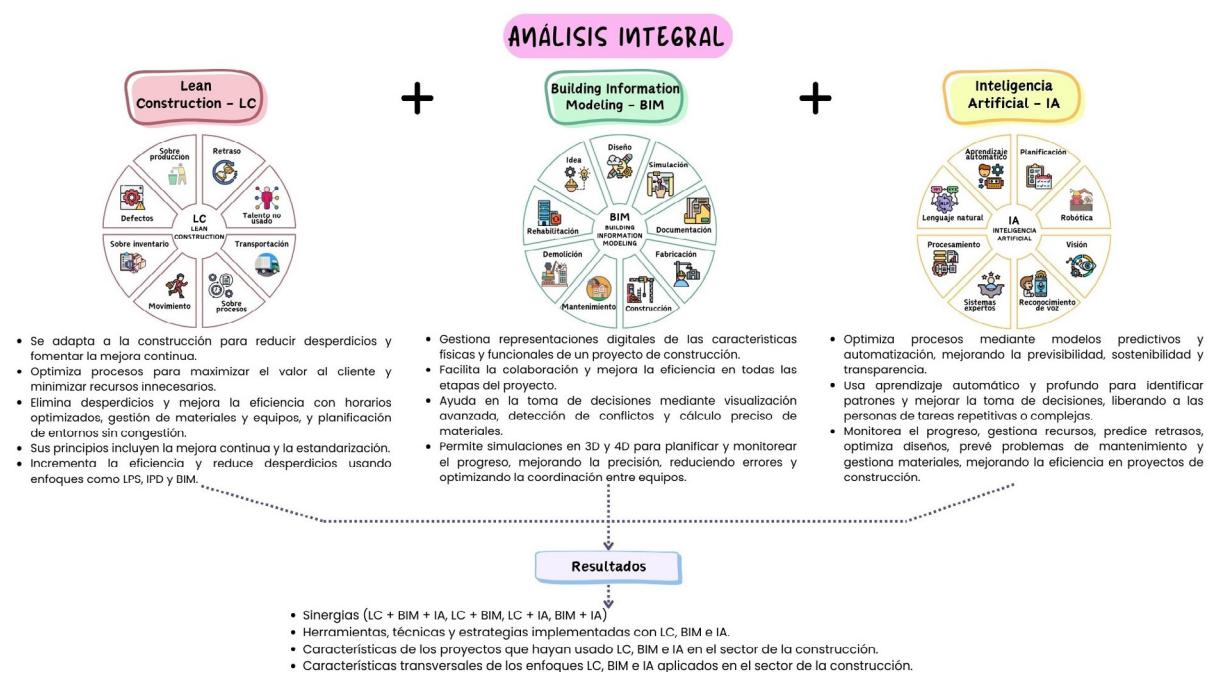
El estudio destaca que la Construcción Lean (LC), el Modelado de Información de la Construcción (BIM) y la Inteligencia Artificial (IA) ofrecen ventajas significativas en la gestión de proyectos de construcción. Además, esta investigación demuestra que la combinación de estos enfoques puede proporcionar beneficios que superan las ventajas individuales, optimizando la eficiencia operativa y reduciendo el desperdicio. La LC elimina actividades que no aportan valor, el BIM facilita la visualización y coordinación de proyectos, y la IA analiza grandes volúmenes de datos y automatiza los procesos para una ejecución más eficiente.

La combinación de BIM e IA proporciona herramientas poderosas para una toma de decisiones informada. BIM visualiza todos los aspectos del proyecto, mientras que la IA analiza estos datos para identificar patrones, predecir problemas y sugerir soluciones. Esto permite a los gestores de proyectos tomar decisiones basadas en datos concretos y simulaciones precisas, mejorando la calidad y los resultados.

¿Qué aportan estos resultados?

La implementación de LC, BIM e IA fomenta una cultura de innovación y mejora continua en la construcción. LC establece una base sólida para la mejora constante de los procesos, BIM ofrece una plataforma para implementar estas mejoras de forma visual y práctica, y la IA añade inteligencia que permite el aprendizaje automático y la adaptación continua. Esta integración contribuye significativamente a la sostenibilidad y la gestión eficiente de los recursos en los proyectos de construcción, reduciendo costes y minimizando el impacto ambiental, lo cual es crucial para cumplir con los estándares de responsabilidad ambiental y social.

La evidencia teórica y los casos prácticos revisados demuestran que la integración de LC, BIM e IA mejora la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad de los proyectos de construcción. La convergencia de LC, BIM e IA representa el futuro de la gestión de proyectos de construcción, ofreciendo un enfoque holístico y eficiente que optimiza todos los aspectos del ciclo de vida del proyecto. La adopción de estas tecnologías no sólo es una ventaja competitiva sino una necesidad para abordar los desafíos actuales y futuros de la industria.



Introducción

Los proyectos de construcción son cada vez más complejos, lo que requiere la gestión eficiente de herramientas, metodologías y filosofías integradas sinérgicamente. Una gestión eficaz es crucial para alcanzar los objetivos y satisfacer los requisitos cada vez más exigentes de los proyectos, que requieren soluciones innovadoras y un conocimiento profundo (1). La industria de la construcción enfrenta desafíos persistentes relacionados con la eficiencia, la optimización de procesos y la adopción de tecnologías avanzadas. Estos desafíos se ven exacerbados por las limitaciones de recursos y capacidades, lo que afecta la productividad y la competitividad del sector.

La aplicación individual de LC, BIM e IA ha demostrado ser eficaz para mejorar los procesos de construcción y la toma de decisiones (2). Sin embargo, existe la necesidad de abordar la integración de estos enfoques, profundizando en diversas metodologías de gestión de proyectos y herramientas tecnológicas para eliminar las prácticas nocivas resultantes de decisiones incorrectas durante la concepción, planificación y ejecución de los proyectos (3).

El modelo BIM-Lean es una técnica que puede aumentar significativamente la productividad en las empresas constructoras. Esta metodología permite un avance más rápido de los proyectos en Colombia y optimiza la utilización de los recursos (4). La integración de LC y BIM con un enfoque de IA tiene como objetivo optimizar los procesos de construcción. Al combinar sus fortalezas, estas tecnologías pueden mejorar la eficiencia, la calidad, la seguridad y la sostenibilidad de los proyectos de construcción, beneficiando a todos los participantes de la cadena de valor (5).

Muchas empresas se caracterizan por su limitado acceso a recursos financieros, tecnológicos, de innovación y de gestión (6). Estas limitaciones pueden complicar la adopción de enfoques avanzados que exigen inversiones considerables en capacitación y tecnología. Además, operan en entornos altamente competitivos con márgenes de beneficio ajustados, lo que hace que las inversiones en estas metodologías parezcan arriesgadas.

Aunque algunas empresas gestionan sus proyectos con relativa eficacia, sigue habiendo un amplio margen de mejora en la calidad de la gestión y la planificación in situ, lo que puede dar lugar a importantes aumentos de la eficiencia (7). La industria de la construcción continúa enfrentando inefficiencias y desafíos en la gestión de proyectos debido a limitaciones financieras y técnicas, lo que dificulta la adopción de tecnologías avanzadas y metodologías eficientes.

Las empresas a menudo luchan con la ejecución eficiente de los proyectos de construcción, encontrando procesos lentos, ineficientes y propensos a errores. Sin embargo, la implementación de tecnologías digitales puede reducir los costos operativos entre un 20% y un 25% (8). Por ejemplo, los proyectos recientes que utilizan herramientas como el Internet de las cosas (IoT) y los sistemas de gestión automatizados han optimizado la logística, reducido el tiempo de inactividad de la maquinaria y mejorado la precisión de la entrega de materiales. Este enfoque ha reducido significativamente los costos al tiempo que ha aumentado la productividad y la seguridad. Un ejemplo notable es Caterpillar, que utilizó sensores de IoT para conectar y monitorear equipos en tiempo real. Esta optimización en el mantenimiento y la programación dio como resultado una

reducción del 22% en los costos operativos para un proyecto de infraestructura a gran escala (8). Sin embargo, la falta de acceso a datos precisos y en tiempo real en algunas empresas dificulta la toma de decisiones durante la ejecución, lo que afecta a la eficiencia, la calidad y la competitividad de los proyectos. Si no se abordan estos problemas subyacentes, se podrían generar dificultades competitivas, despilfarro de recursos, retrasos, sobrecostos y una capacidad limitada de innovación y adaptación, especialmente para las mipymes.

LC es un enfoque de gestión de la producción que transforma el diseño y la construcción de edificios e infraestructuras. Busca maximizar el valor y minimizar el desperdicio mediante la implementación de técnicas específicas a lo largo del proceso del proyecto (9), mejorando la eficiencia y reduciendo los costos al eliminar actividades innecesarias y optimizar la gestión de recursos.

BIM es un proceso que utiliza herramientas de modelado digital 3D para generar y gestionar datos de un edificio o proyecto antes, durante y después de su ejecución, logrando un importante ahorro en tiempo, diseño y recursos (10). BIM aumenta la eficiencia y mejora la gestión de datos en todas las etapas de un proyecto de construcción, facilitando la coordinación y gestión integral de la información.

La IA es un sistema que simula el razonamiento humano utilizando las matemáticas y la lógica, lo que le permite ejecutar tareas y tomar decisiones basadas en la información recopilada (10). La IA es una tecnología diseñada para complementar y aumentar las capacidades humanas, y ha demostrado ser beneficiosa en múltiples sectores. Su aplicación en la construcción ofrece importantes beneficios en eficiencia, seguridad y calidad, lo que convierte a la IA en una inversión estratégica para la industria.

Esto subraya la necesidad de una revisión sistemática y exhaustiva de la literatura sobre el uso de LC, BIM e IA en proyectos de construcción. Dicha revisión tiene como objetivo identificar patrones y buenas prácticas de estudios de casos exitosos, describir características transversales y prácticas efectivas, y proporcionar recomendaciones basadas en los hallazgos y conclusiones del estudio. Esto abordará cómo las prácticas avanzadas de LC, BIM e IA pueden mejorar la eficiencia operativa, la toma de decisiones informadas y la calidad en los proyectos de construcción.

Metodología

Se realizó una revisión sistemática para identificar y evaluar investigaciones previas sobre la implementación de Lean Construction (LC), Building Information Modeling (BIM) e Inteligencia Artificial (IA) en la industria de la construcción. La metodología PRISMA (11) fue seleccionada por su rigurosidad en la identificación y síntesis de la evidencia empírica, ya que contribuye a la claridad de la recolección, sistematización e interpretación de los datos, y garantiza la transparencia en la publicación de artículos científicos (12). Esta revisión nos permitió caracterizar las tendencias, prácticas y resultados de la aplicación de estas metodologías en los proyectos de construcción.

La metodología PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) es un enfoque que describe un conjunto mínimo de ítems basados en la evidencia que deben

incluirse al informar sobre una revisión sistemática y un metaanálisis (13) en diversas disciplinas. En el presente estudio, PRISMA sirvió como una herramienta clave para recopilar, analizar y sintetizar información relevante sobre la integración de LC, BIM e IA en el sector de la construcción.

Identificación de bases de datos

La base de datos Scopus fue seleccionada para la revisión sistemática debido a su amplio alcance y cobertura en ingeniería y construcción. Scopus es una base de datos bibliográfica completa que abarca varias disciplinas, incluidas las ciencias de la salud, sociales y naturales, la ingeniería, la tecnología y las ciencias de la vida (14). Fue elegida por su amplia cobertura de fuentes científicas, métricas de impacto confiables y herramientas analíticas avanzadas que facilitan la búsqueda, el análisis y la colaboración en la investigación (15). Scopus ofrece opciones de búsqueda avanzadas y métricas valiosas para evaluar el impacto y la relevancia de las publicaciones, proporcionando una perspectiva global más amplia en comparación con otras bases de datos como Web of Science y ScienceDirect.

Estrategia de búsqueda

En Scopus se diseñó una estrategia de búsqueda utilizando una combinación de términos clave para asegurar que los artículos seleccionados incluyeran al menos dos palabras clave. Esta estrategia permitió la identificación de artículos científicos, revisiones sistemáticas, metaanálisis y reportes de eventos relevantes. Se identificaron ciento ochenta y seis publicaciones aplicando los criterios de inclusión y exclusión detallados en Tabla 1. Durante el análisis de los artículos, se descartaron aquellos que no cumplían con los requisitos establecidos.

Tabla 1. Criterios de búsqueda y selección

Criterio	Valor
Fuente de información	Base de datos Scopus.
Periodo	2019 - 2024.
Tipos de publicación	Artículos científicos, revisiones sistemáticas, metaanálisis relevantes, conferencias o informes de eventos.
Idiomas	Español e inglés.
Cadena de búsqueda	<p>Título del artículo, resumen, palabras clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> – "Construcción Esbelta" Y "Building Information Modeling" E "Inteligencia Artificial". – "Construcción Esbelta" Y "Building Information Modeling". – "Construcción Lean" E "Inteligencia Artificial". – "Building Information Modeling" E "Inteligencia Artificial".
Inclusión	<ul style="list-style-type: none"> – Publicaciones que contengan al menos dos de las palabras clave especificadas. – Publicaciones disponibles en acceso abierto. – Publicaciones en inglés o español.
Exclusión	<ul style="list-style-type: none"> – Publicaciones no revisadas por pares. – Publicaciones no disponibles en texto completo. – Publicaciones fuera del ámbito de la construcción. – Publicaciones que, aunque incluyan las palabras clave en sus títulos, resúmenes o palabras clave, no se centren específicamente en LC, BIM e IA en la construcción.

Proceso de selección y extracción de datos

El proceso de selección de los artículos se llevó a cabo en dos etapas. En primer lugar, se revisaron los títulos y resúmenes para evaluar su pertinencia inicial. A continuación, se analizaron los textos completos de los artículos finalistas para determinar su inclusión final en la revisión. De los artículos finales se extrajeron datos esenciales, incluyendo el título, autor(es), año de publicación, revista, metodologías utilizadas y principales hallazgos.

Análisis de datos

Los datos extraídos se analizaron cualitativamente mediante el análisis de contenido documental para identificar tendencias y patrones relacionados con la integración de LC, BIM e IA en la construcción. Se utilizaron herramientas como VOSviewer para visualizar y analizar redes de términos clave. El análisis bibliométrico evaluó la actividad científica (16), centrándose en las fechas de publicación, los tipos de publicaciones, los orígenes geográficos, los medios de comunicación y los autores principales. El análisis de contenido (16) se concentró en los métodos de investigación, los temas de estudio y los patrones de contenido, proporcionando una interpretación cualitativa del significado y contexto de los textos analizados.

Validación y fiabilidad

Para garantizar la validez y confiabilidad del proceso de revisión, se implementó una revisión por pares. En este proceso, un segundo revisor evaluó de forma independiente una muestra aleatoria de los artículos seleccionados, comprobando la consistencia en la selección y extracción de los datos. Además, se realizó una revisión para eliminar duplicados entre las diferentes búsquedas en la base de datos.

Limitaciones

El método de investigación seleccionado tiene dos limitaciones principales. En primer lugar, aunque se incluyeron libros en la discusión, la revisión sistemática excluye la literatura gris y las fuentes no revisadas por pares, como blogs, sitios web y redes sociales (17), que son populares entre los profesionales y ofrecen información valiosa sobre la aplicación actual de LC, BIM e IA en la construcción. En segundo lugar, existe la posibilidad de omitir artículos relevantes que no especifiquen explícitamente su relación con la aplicación o integración de LC, BIM e IA en el sector en sus títulos, resúmenes o palabras clave.

Revisión sistemática

El método utilizado es una revisión sistemática de la literatura de proyectos preliminares que implementan LC, BIM e IA en la construcción. Este método permite la localización, evaluación y síntesis de la evidencia existente (18). Los investigadores que realizan revisiones sistemáticas aplican métodos explícitos y sistemáticos diseñados para minimizar el sesgo, generando resultados confiables que apoyan la toma de decisiones (19). Las revisiones sistemáticas son esenciales para sintetizar y evaluar la evidencia, contribuyendo significativamente al avance del conocimiento y la toma de decisiones informadas en diversos campos, particularmente en la construcción.

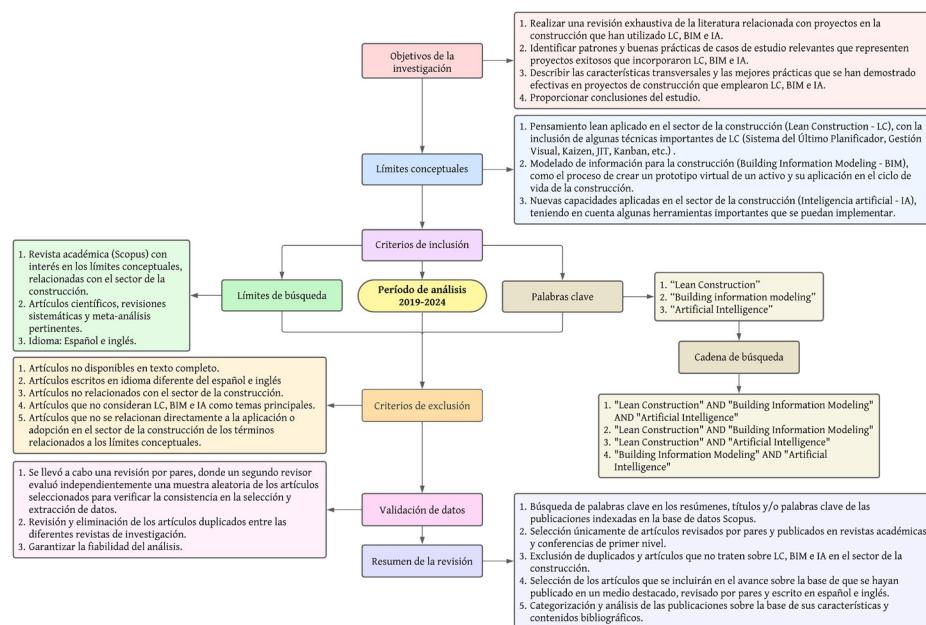


Figura 1. Detalles de la revisión sistemática de la literatura sobre LC, BIM e IA en el sector de la construcción.

La revisión abarca la literatura publicada entre 2019 y 2024, período elegido debido al crecimiento exponencial en el desarrollo y adopción de LC, BIM e IA en la industria de la construcción a partir de 2019. Durante este tiempo, se han observado avances significativos en estas tecnologías, especialmente en proyectos a gran escala donde el intercambio de datos entre disciplinas plantea desafíos complejos. Este reto ha fomentado la creación de innovaciones colaborativas para minimizar la fragmentación de la información, consolidando la integración de estas herramientas en proyectos de diversas escalas (20). Así, este intervalo permite un análisis preciso de los desarrollos más recientes y representativos en estas áreas, así como evaluar los avances más relevantes y actuales. Además, esta revisión se centra en las fases clave de la investigación, el desarrollo de herramientas y la implementación de estos enfoques. La revisión se estructura en cinco pasos principales (17), como se detalla en la sección de metodología Figura 1.

Resultados y discusión

A continuación se presenta un conjunto de publicaciones clasificadas según diferentes criterios para mostrar los resultados del análisis. Para una mejor comprensión del documento, los números correspondientes a la cantidad se incluirán entre paréntesis y precedidos de la abreviatura “q.”, que indica “cantidad”. Por ejemplo, (q. 10) significa que la cantidad correspondiente de la clasificación respectiva es 10.

Al revisar y clasificar las publicaciones según su fecha y tipo, se observó un aumento en el número de publicaciones y en el interés por aplicar LC, BIM e IA en la industria de la construcción (Figura 2). El número total de publicaciones sobre la integración de BIM e IA (q. 124) supera a las centradas en LC y BIM (q. 55) y LC e IA (q. 5) (Mesa 2). Se concluye que el creciente interés por implementar

estos conceptos en la construcción, especialmente desde 2021, ha sido impulsado principalmente por la integración de BIM e IA, coincidiendo con el mayor interés por BIM en el sector. La mayoría de las publicaciones en este campo son artículos (q. 147).

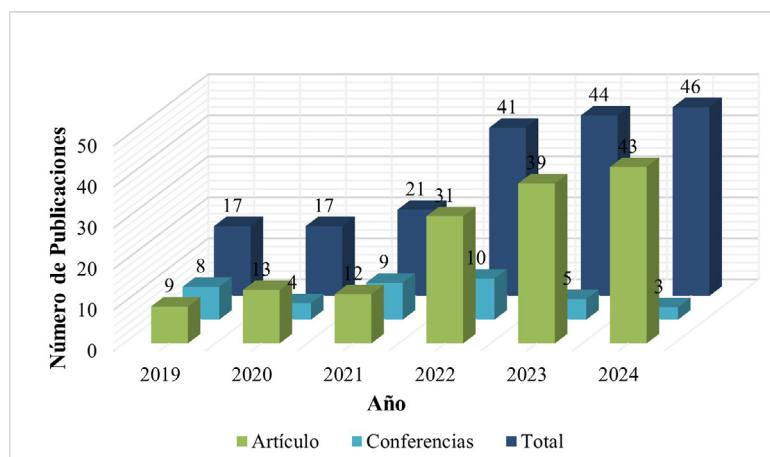


Figura 2. Cantidad y tipo de publicación por año.

Según Figura 3, las instituciones académicas del Reino Unido han liderado el camino con el mayor número de publicaciones desde 2019 (q. 27). Italia le sigue con (q. 22), China (q. 16), Australia (q. 9), Alemania (q. 9), Estados Unidos (q. 7) y Corea del Sur (q. 7). El interés por integrar algunos de estos enfoques conceptuales es notable en algunos países. Por ejemplo, instituciones académicas de Corea del Sur, Hungría y Austria han publicado trabajos centrados en BIM e IA, lo que no se observa en publicaciones que consideran enfoques de LC e IA.

Tabla 2. Publicaciones por año, tipo y enfoque

Año	Tipo de publicación	Enfoque de la publicación				
		Art	Conf	LC	BIM	IA
2019	Artículo	0	5	0	4	9
	Conferencias	0	7	0	1	8
2020	Artículo	1	7	0	5	13
	Conferencias	0	2	0	2	4
2021	Artículo	0	3	0	9	12
	Conferencias	0	5	1	3	9
2022	Artículo	0	4	1	26	31
	Conferencias	0	5	2	3	10
2023	Artículo	1	10	0	28	39
	Conferencias	0	2	0	3	5
2024	Artículo	0	5	1	37	43
	Conferencias	0	0	0	3	3
Total		3	2	55	5	124
						147
						39

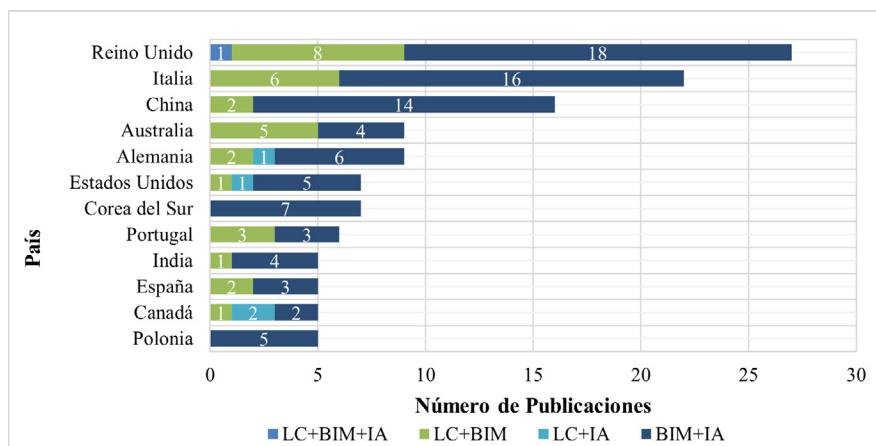


Figura 3. Publicaciones por país y enfoque.

Según Figura 4 Las palabras clave más comunes entre las 186 publicaciones analizadas son "building information modeling", "inteligencia artificial", "lean construction", "industria de la construcción", "BIM" y "gestión de proyectos". Los países con más publicaciones son Reino Unido, Italia, China, Australia, Alemania, Estados Unidos, Corea del Sur, Portugal, India, España, Canadá y Polonia, coincidiendo con Figura 3. Los autores con más documentos publicados son Di Giuda, Giuseppe Martino; Locatelli, Mirko; Koskela, Lauri; Tezel, Algan; Kassem, Mohamad; Matt, Dominik T; Schimanski, Christoph Paul; Brilakis, Ioannis; Sacks, Rafael; Drogemuller, Robin; Omrani, Sara; y Rashidian, Sara.

En cuanto a los medios de publicación, las revistas "Data Centric Engineering" y "Developments in the Built Environment" son las únicas que han publicado artículos centrados en LC, BIM e IA (q. 2). La revista "Buildings" ha sido el medio con más publicaciones sobre LC y BIM (q. 9). Para LC y AI, la 30^a Conferencia Anual del Grupo Internacional para la Construcción Lean IGLC 2022 ha sido el medio principal (q. 2). La revista "Buildings" también ha liderado en publicaciones sobre BIM e IA (q. 24). El Cuadro 3. presenta una clasificación detallada de los principales medios de publicación, cabe destacar que la mayoría de las publicaciones se encuentran en la categoría "Otros", debido a la diversidad de revistas en las que se publican.

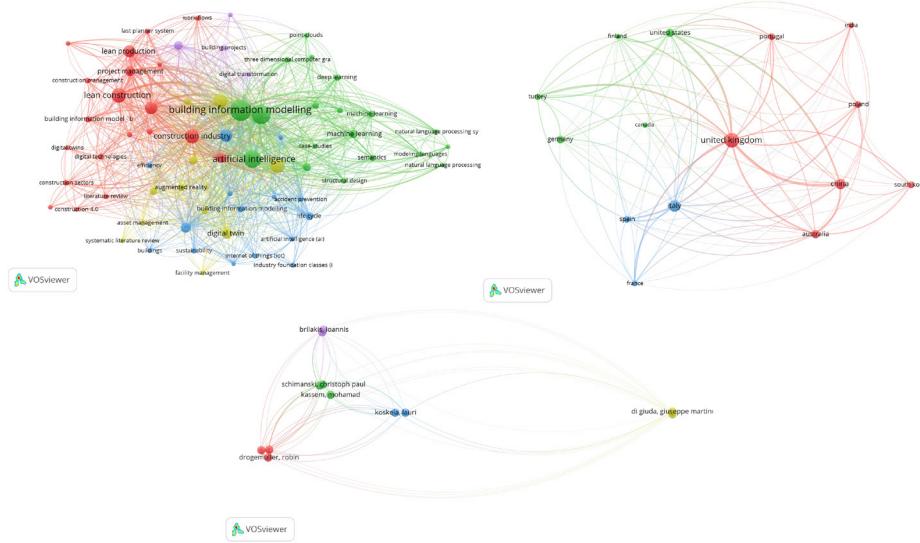


Figura 4. Co-ocurrencia de Palabras Clave, Países y Autores con los Documentos Más Publicados.

Tabla 3. Publicaciones por Medio y Enfoque

Revista o conferencia	Enfoque de la publicación		
	LC+IA		
Ingeniería centrada en datos	1		
Desarrollos en el entorno construido	1		
Edificios	9	24	
27 ^a Conferencia Anual del Grupo Internacional para la Construcción Lean IGCL 2019	5		
30 ^a Conferencia Anual del Grupo Internacional para la Construcción Lean IGCL 2022	5	2	
IGLC 2021 29 ^a Conferencia Anual del Grupo Internacional para la Construcción Ajustada La Construcción Ajustada en Tiempos de Crisis Respondiendo a los Desafíos de la Industria AEC Post Pandemia	5		
Automatización en la construcción	13		
Ciencias Aplicadas Suiza	7		
Revista de Tecnología de la Información en la Construcción	5		
Acceso IEEE	5		
Otros	31	3	70
Total	2	55	124

Tabla 4. Autores prolíficos por número y foco de publicación

Autor	Enfoque de la publicación			
	LC+BIM+IA	LC+BIM	LC+IA	BIM+IA
Matt, D.T.	4			
Schimanski, C.P.	3			
Rashidian, S.	3			
Omrani, S.	3			
Koskela, L.	3			
Emulador de drogas, R.	3			
Noueihed, K.		2		
Hamzeh, F.		2		
Locatelli, M.			3	
Di Giuda, G.M.			3	
Brilakis, I.			3	
Otros	9	169	21	181
Total	9	188	25	190

Tabla 5. Autores más citados por foco de publicación

Autores	Publicación	Enfoque de la publicación			
		LC+BIM+IA	LC+BIM	LC+IA	BIM+IA
Sacks, R., Brilakis, I., Pikas, E., Xie, H.S., Girolami, M.	(21)		346		
Pal, A., Lin, J.J., Hsieh, S.-H., Golparvar-Fard, M.	(22)		19		
Gbadamosi, A.-Q., Mahamadu, A.-M., Oyedele, L.O., ...	(23)			111	
Mahdjoubi, L., Aigbavboa, C.					
Ratajczak, J., Riedl, M., Matt, D.T.	(24)		87		
Sepasgozar, S.M.E., Hui, F.K.P., Shirowzhan, S., ... Yang,	(25)			84	
L., Ay, L.					
Meng, X.	(26)		70		
Arroyo, P., Schöttle, A., Christensen, R.	(27)			9	
Cisterna, D., Lauble, S., Haghsheno, S., Wolber, J.	(28)			3	
Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., Rezgui, Y.	(29)				719
Baduge, S.K., Thilakarathna, S., Perera, J.S., ... Shringi,	(30)				386
A., Mendis, P.					
Wang, M., Wang, C.C., Sepasgozar, S., Zlatanova, S.	(31)			212	
Forcael, E., Ferrari, I., Opazo-Vega, A., Pulido-Arcas, J.A.	(32)			201	
Shahzad, M., Shafiq, M.T., Douglas, D., Kassem, M.	(33)			171	
Çetin, S., De Wolf, C., Bocken, N.	(34)			168	
Sacks, R., Girolami, M., Brilakis, I.	(35)			161	
Tú, Z., Feng, L.	(36)			143	

Entre los autores más prolíficos, Matt D.T. es el que más artículos sobre LC y BIM (p. 4). Para LC e IA, los autores destacados son Noueihed, K. y Hamzeh, F. (q. 2 cada uno). Locatelli, M., Di Giuda, G.M., y Brilakis, I. son los que más artículos han escrito sobre BIM e IA (q. 3 cada uno). En cuanto a LC, BIM e IA, no hay un autor dominante. Mesa 4 ofrece una clasificación detallada de los autores

más productivos. En cuanto al número de citas en Scopus, Boje C., Guerriero A., Kubicki S. y Rezgui Y. son los autores más citados (719 veces) por sus artículos sobre BIM e IA. Les siguen Baduge S.K., Thilakarathna S., Perera J.S., Shringi A. y Mendis P. con 386 citas por sus artículos sobre el mismo tema. Cuadro 5 proporciona una clasificación detallada de los autores más citados, y Cuadro 6 Presenta una lista de las ocho publicaciones más citadas.

La mayor parte de la investigación en este campo es empírica, abarcando estudios de caso, entrevistas, implementaciones piloto y encuestas (p. 58). En el campo de la LC, BIM e IA, el método de investigación predominante es la presentación de prototipos o modelos (p. 2). Para las publicaciones centradas en LC y BIM, el enfoque más popular es la revisión de la literatura (p. 17), seguido de la presentación de prototipos o modelos (q. 13) y estudios de caso (q. 11). Para los artículos sobre LC e IA, la revisión de la literatura es el método preferido (p. 4). Para BIM e IA, el método más común es también la revisión de la literatura (p. 48), seguido de la presentación de prototipos o modelos (q. 38). Figura 5 muestra una clasificación detallada de las publicaciones de acuerdo con los métodos de investigación y los enfoques preferidos en este campo.

Mesa 6. Publicaciones más citadas

Centro de atención	Publicación	Autores	Año	Contribuciones	Citas
LC+BIM+IA	Construcción con Sistemas de Información Gemelos Digitales	Sacks, R., Brilakis, I., Pikas, E., Xie, H.S., Girolami, M. (21)	2020	La adopción de Lean Construction (LC) mejora la eficiencia y reduce el desperdicio en los proyectos de construcción. Building Information Modeling (BIM) optimiza la planificación y la coordinación, reduciendo los errores. La Inteligencia Artificial (IA) utiliza algoritmos y análisis de datos para mejorar la toma de decisiones y automatizar procesos. Estas metodologías combinadas transforman la industria de la construcción, haciéndola más eficiente y precisa.	346
	Supervisión automatizada del progreso de la construcción basada en la visión en un entorno construido a través de un gemelo digital	Pal, A., Lin, J.J., Hsieh, S.-H., Golparvar-Fard, M. (22)	2023	LC busca flujos de producción fluidos y minimiza el desperdicio de recursos. BIM utiliza la tecnología y los flujos de trabajo para el modelado digital de productos y procesos de construcción. La IA emplea tecnologías de monitorización avanzadas y funciones inteligentes para analizar y optimizar el diseño, la planificación y la producción en curso.	19

Centro de atención	Publicación	Autores	Año	Contribuciones	Citas
	Construcción fuera de obra: desarrollo de un optimizador basado en BIM para el montaje	Gbadamosi, A.-Q., Mahamadu, A.-M., Oyedele, L.O., ... Mahdjoubi, L., Aigbayboa, C. (23)	2019	La integración del Diseño para la Fabricación y el Montaje (DFMA) con LC y BIM permite la evaluación y optimización del diseño a través de métricas de producción. Este sistema tiene en cuenta factores como la facilidad y rapidez de montaje, manipulación y residuos generados durante la construcción.	111
LC+BIM	Aplicación basada en BIM y RA combinada con un sistema de gestión basado en la ubicación para mejorar el rendimiento de la construcción	Ratajczak, J., Riedl, M., Matt, D.T. (24)	2019	La aplicación AR4C ofrece una herramienta única que detecta las desviaciones del cronograma mediante la visualización del progreso de la construcción en realidad aumentada (AR), proporcionando datos diarios de progreso y rendimiento, así como información específica sobre las tareas programadas.	87

Centro de atención	Publicación	Autores	Año	Contribuciones	Citas
LC+IA	El dilema ético y social de los usos de la IA en la industria de la construcción	Arroyo, P., Schöttle, A., Christensen, R. (27)	2021	La adopción de LC ha mejorado la eficiencia, ha reducido el tiempo y los costos, y ha aumentado la calidad y la satisfacción del cliente. La IA en la construcción se utiliza para automatizar tareas, realizar análisis predictivos, optimizar diseños y gestionar riesgos. Los estudios destacan el potencial de la IA para mejorar la toma de decisiones y la eficiencia, aunque también se señalan preocupaciones éticas y sociales.	9
	Sinergias entre Lean Construction e Inteligencia Artificial: Proceso de Mejora Continua Impulsado por IA	Cisterna, D., Lauble, S., Haghsheno, S., Wolber, J. (28)	2022	La combinación de LC e IA ofrece un valor añadido superior, integrando datos estructurados de LC para entrenar modelos de IA y aprovechando la IA para optimizar las técnicas de LC con predicciones y automatizaciones. Las personas son clave para mantener la mejora continua, pero hay que superar retos como la confianza en los modelos y la calidad de los datos.	3

Centro de atención	Publicación	Autores	Año	Contribuciones	Citas
BIM+IA	Hacia un gemelo digital semántico de la construcción: direcciones para futuras investigaciones	Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., Rezgui, Y. (29)	2020	BIM ofrece procedimientos, tecnologías y esquemas de datos para una representación estandarizada de los componentes y sistemas de construcción. La IA se utiliza para el análisis de datos, el aprendizaje automático y la optimización de sistemas. Al combinar BIM e IA, se crean modelos digitales más completos y precisos que reflejan los activos físicos en tiempo real.	719
	Inteligencia Artificial y Visión Inteligente para la Construcción 4.0: Métodos y Aplicaciones de Machine Learning y Deep Learning	Baduge, S.K., Thilakarathna, S., Perera, J.S., ... Shringi, A., Mendis, P. (30)	2022	BIM integra y gestiona los datos a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto, desde la planificación hasta la operación. La IA, incluido el aprendizaje automático (ML) y el aprendizaje profundo (DL), permite que las máquinas aprendan de los datos y realicen tareas complejas.	386

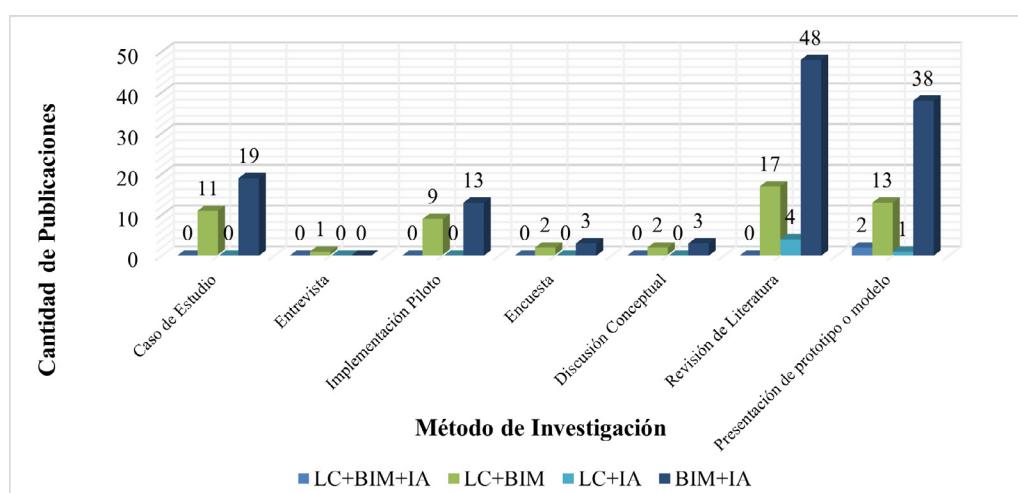


Figura 5. Clasificación de las publicaciones por métodos y enfoque de investigación.

Tabla 7. Publicaciones por Enfoque y Contenido

Enfoque o contenido de la publicación	No. de la Pub.	Ejemplos de la literatura
LC+BIM+IA	2	
Gestión de proyectos	1	Pal, A., Lin, J.J., Hsieh, S.-H., Golparvar-Fard, M. (2023) (22)
Flujo de trabajo	1	Sacks, R., Brilakis, I., Pikas, E., Xie, H.S., Girolami, M. (2020) (21)
LC+BIM	55	
Planificación y control de la producción	4	Haronian, E., Sacks, R. (2020) (37)
Construcción digital	3	Ratajczak, J., Riedl, M., Matt, D.T. (2019) (24)
Flujo de trabajo	2	Schimanski, C.P., Monizza, G.P., Matt, D.T. (2021) (38)
Construcción fuera de obra	2	Marte Gómez, J.A., Daniel, E.I., Fang, Y., Oloke, D., Gyoh, L. (2021) (39)
Dvices digitales	2	Chen, C., Tang, L.C.M., Jin, Y. (2019) (40)
Gestión de proyectos	8	Peltokorpi, A., Seppänen, O. (2022) (41)
Construcción Lean	19	Arayici, Y., Tokdemir, O.B., Kassem, M. (2023) (42)
BIM	15	Ybañez, R.S., De La Cruz, A.R. (2023) (43)
LC+IA	5	
Producción ajustada	3	Cisterna, D., Lauble, S., Haghsheno, S., Wolber, J. (2022) (28)
Toma de decisiones	2	Arroyo, P., Schöttle, A., Christensen, R. (2021) (27)
BIM+IA	124	
Diseño arquitectónico	36	Abouelaziz, I., Jouane, Y. (2024) (44)
Teoría de la información	19	Jang, S., Lee, G. (2024) (45)
Inteligencia artificial	25	Wu, B., Malik, R. (2023) (46)
Gemelo digital	13	Rafsanjani, H.N., Nabizadeh, A.H. (2023) (47)
Automatización	9	Soman, R.K., Whyte, J.K. (2020) (48)
Aprendizaje de Mahcine	11	Erişen, S. (2023) (49)
Realidad virtual	11	Sampaio, A.Z. (2019) (50)
Total	186	

El análisis de los artículos reveló varios grupos de contenido en las publicaciones enfocadas en la industria de la construcción (Mesa 7). En el enfoque de LC, BIM e IA, hay un total de una publicación centrada en la gestión de proyectos y el flujo de trabajo, que aborda la optimización de los procesos en la construcción. En cuanto a LC y BIM, el grupo con más publicaciones (q. 19) se ocupa de la aplicación de LC, seguido de los artículos sobre procesos y factores BIM (q. 15). También se destaca la gestión de proyectos que implementa LC y BIM (p. 8). Para la LC y la IA, la producción Lean y la toma de decisiones tienen respectivamente (q. 3) y (q. 2) publicaciones, que describen la aplicación de técnicas de LC en la construcción con IA para la toma de decisiones. En los artículos sobre BIM e IA, el grupo con más publicaciones (q. 36) es el de diseño arquitectónico, mostrando cómo BIM facilita la aplicación de la IA en la construcción. Le siguen publicaciones que destacan la importancia de la IA en el sector de la construcción (p. 25).

Esta revisión sistemática ha hecho una contribución significativa al campo de la gestión de proyectos de construcción a través de la implementación de LC, BIM e IA. La investigación proporciona una visión general completa y un análisis detallado de cómo la combinación de estas tecnologías y metodologías puede mejorar la eficiencia operativa, la toma de decisiones, la colaboración y la sostenibilidad en los proyectos de construcción.

LC+BIM+IA

La revisión sistemática demuestra que la integración de LC, BIM e IA representa un avance significativo en la gestión de proyectos de construcción. Esta integración permite monitorizar e informar de los avances en tiempo real, gracias a la recopilación y el análisis de datos (22). Este método ha evolucionado debido a los avances tecnológicos y a la necesidad de una mayor eficiencia y precisión en el seguimiento de los proyectos. La sinergia entre LC, BIM e IA optimiza los procesos de diseño y construcción, mejorando la eficiencia y reduciendo el desperdicio a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

La combinación de LC, BIM e IA facilita la identificación temprana de problemas y la implementación de soluciones eficientes. Las herramientas digitales automatizan el seguimiento del progreso de la construcción, ofreciendo métodos precisos para supervisar los proyectos y abordar las preocupaciones (22). Los algoritmos de IA en modelos BIM detectan conflictos y optimizan las rutas de trabajo, permitiendo medidas correctivas (22) y optimizando el uso de recursos. La capacidad de la IA para analizar grandes volúmenes de datos y generar información valiosa complementa las prácticas de LC y las capacidades visuales de BIM, lo que da como resultado decisiones más informadas y precisas respaldadas por datos en tiempo real y simulaciones predictivas, lo que en última instancia mejora la planificación y ejecución de proyectos (21).

La implementación de LC fomenta una cultura de mejora continua, que, cuando se combina con BIM e IA, se fortalece aún más con el análisis de datos y la retroalimentación constante. Las lecciones aprendidas se integran rápidamente en futuros proyectos, optimizando procesos y resultados. Esta colaboración requiere la participación de diseñadores, consultores, contratistas, proveedores y organismos públicos. Los proyectos finalizados permiten utilizar la información existente y facilitar el aprendizaje para mejorar la planificación, estimación y gestión de proyectos futuros (21).

LC+BIM

La combinación de LC y BIM mejora la eficiencia y reduce los costes en los proyectos de construcción. Numerosos estudios confirman que su integración aumenta la productividad y reduce las pérdidas (51). BIM facilita la colaboración entre equipos y disciplinas, mientras que LC se centra en eliminar el desperdicio y mejorar los procesos. La importancia de los entornos colaborativos y la comunicación abierta en BIM mejora la coordinación y reduce los errores, lo que da como resultado proyectos más coherentes y mejor ejecutados (52).

La metodología Lean mejora la precisión de la planificación y la programación al eliminar las actividades que no agregan valor, buscando maximizar la producción (53). BIM permite la

evaluación visual del impacto de los cambios de diseño, que es compleja con los planos 2D tradicionales. El modelado y la animación de secuencias de construcción en BIM 4D ofrecen una visualización única de los procesos y el progreso, identifican conflictos de recursos, resuelven problemas de constructibilidad, optimizan el proceso y mejoran la eficiencia y la seguridad (20). La capacidad de BIM para visualizar y simular diferentes escenarios complementa la planificación detallada de LC, lo que permite ajustes rápidos y precisos a los cambios del proyecto.

La integración de LC y BIM permite un control de calidad más riguroso mediante la identificación temprana de problemas potenciales y la aplicación de soluciones preventivas. El principio fundamental de Lean es reducir o eliminar los residuos, y BIM aborda estos aspectos tanto en la fase de diseño como en la de construcción. Con el desarrollo del diseño, los equipos pueden tomar decisiones para evitar la acumulación de residuos en el sitio. Las revisiones tradicionales del proceso de construcción sin BIM requieren mucho tiempo y son costosas (54). Esta integración reduce significativamente el desperdicio y garantiza un uso más eficiente de los recursos.

La integración de LC con la tecnología BIM es una estrategia clave para optimizar los procesos en los proyectos de construcción. Esta sinergia permite certificar el pedido en producción, lograr una adecuada coordinación de recursos en cada fase del proyecto y reducir significativamente el desperdicio, tanto en tiempo como en recursos. La adopción de este enfoque garantiza que el producto final cumpla con las expectativas y necesidades del cliente, al tiempo que maximiza el rendimiento para los inversores al minimizar el desperdicio y aumentar la eficiencia operativa (55). Esta combinación transforma la gestión de proyectos, alineando la productividad con la sostenibilidad y la satisfacción del cliente.

La integración de las metodologías BIM y LC en los proyectos de construcción es fundamental para evitar retrasos en los plazos. BIM facilita una gestión de proyectos más eficiente, mejorando el diseño y el análisis de ingeniería, mientras que Lean se centra en reducir el desperdicio y fomentar la colaboración entre los miembros del equipo. Al aplicar estas metodologías, se minimizan los factores que impactan negativamente en la construcción, se optimizan los procesos y se aumenta la eficiencia y rentabilidad en los proyectos residenciales (56). La adopción de estas metodologías innovadoras representa un cambio de paradigma en la industria de la construcción, posicionando a las empresas que las implementan a la vanguardia de la competitividad y la sostenibilidad.

LC+IA

La integración de la LC con la IA ofrece un enfoque innovador para optimizar la gestión de los proyectos de construcción. Se utilizan varios algoritmos de IA para optimizar el diseño y los proyectos (27). La IA complementa las prácticas de LC centradas en la eficiencia y la reducción de residuos mediante el análisis de grandes volúmenes de datos y la generación de recomendaciones basadas en patrones y tendencias. En la construcción, la IA ofrece beneficios como respaldar mejores decisiones, optimizar los horarios y reducir el impacto ambiental (27).

La IA automatiza los procesos rutinarios y optimiza los flujos de trabajo, alineándose con los principios de Lean para eliminar las actividades que no aportan valor. Las sinergias incluyen la

calidad a prueba de fallos, la metodología de las 5S, el aumento de la visualización y las reuniones de reunión (28), la mejora de la calidad del producto, la promoción de una cultura de limpieza y organización, la facilitación de la toma de decisiones y la mejora de la comunicación y la eficacia de las reuniones. Además, el análisis de datos en tiempo real con IA puede identificar cuellos de botella y proponer soluciones para mejorar la eficiencia operativa.

En el Last Planner® System (LPS), la IA puede simular rápidamente múltiples escenarios para ayudar en la planificación de proyectos, aprender de datos históricos sobre problemas comunes y emitir alertas tempranas. También utiliza información de proyectos anteriores para transmitir conocimientos y mejores prácticas, evitando la pérdida de información (28).

Los análisis predictivos impulsados por IA permiten anticipar problemas antes de que ocurran, lo cual es crucial para mejorar la LC, incluido el mantenimiento predictivo de equipos y maquinaria, reducir el tiempo de inactividad y mejorar la disponibilidad de recursos. La mejora continua es esencial para el rendimiento de los proyectos de construcción, y LC refuerza su posición en el sector centrándose en la optimización de los recursos (57).

La IA optimiza la asignación de recursos mediante el análisis de datos históricos y condiciones actuales, mejorando la planificación y el uso de materiales y mano de obra. En la planificación y el control de Tatt, la IA puede estimar los valores y las cadencias de la carga de trabajo en función de datos históricos y parámetros ambientales, armonizando los ciclos de trabajo de las máquinas y los humanos (28). Así, la IA y la LC permiten la definición de procesos y paquetes de trabajo, la optimización automática de las secuencias de zonas y la duración real del proyecto, lo que se traduce en una planificación óptima, una reducción de costes y un aumento de la eficiencia.

La transición a la digitalización ofrece múltiples beneficios, incluido el aumento de la productividad, la seguridad y la calidad. Estas tecnologías empoderan a los profesionales y fortalecen a las organizaciones, impulsándolas hacia el éxito cuando se implementan adecuadamente. Sin embargo, el uso irresponsable o la implementación disruptiva pueden tener efectos adversos, dejando consecuencias permanentes que podrían dañar aún más a la industria (58). Por lo tanto, es esencial adoptar un enfoque consciente y estratégico para la implementación de las tecnologías digitales, asegurando que se integren armoniosamente con los procesos existentes y que su adopción esté respaldada por una capacitación adecuada. Solo así será posible maximizar su potencial, mitigando riesgos y promoviendo un desarrollo sostenible que beneficie tanto a las organizaciones como a la industria.

BIM+IA

La combinación de BIM e IA ofrece un enfoque poderoso para digitalizar y optimizar los proyectos de construcción. BIM permite la toma de decisiones colaborativa y proporciona una plataforma unificada para que arquitectos, ingenieros y profesionales de la construcción integren y comparten datos de proyectos, mejorando la productividad, la calidad y la seguridad. La IA, que ha surgido en la última década como una herramienta poderosa, automatiza técnicas y procedimientos en los procesos de construcción convencionales (59), ofreciendo beneficios significativos en términos

de precisión, eficiencia y capacidad de respuesta. El modelado predictivo y la simulación pueden anticipar tendencias y evaluar posibles resultados en proyectos de construcción (60). La capacidad de BIM para crear representaciones digitales precisas se ve reforzada por la IA, que analiza estos modelos para detectar problemas y optimizar los diseños, lo que permite simulaciones avanzadas que mejoran la toma de decisiones.

La IA ofrece capacidades avanzadas de análisis de datos que extraen información valiosa de los modelos BIM. El creciente uso de técnicas de IA demuestra la alta precisión y la capacidad de los modelos de IA para aprender, predecir y detectar niveles de riesgo en tiempo real. La realidad virtual y aumentada proporcionan fidelidad, inmersión, interacción y visualización en la gestión de instalaciones (61). Esto incluye la predicción de los tiempos de construcción, los costos y los problemas potenciales, lo que ayuda a los equipos de proyecto a tomar decisiones más informadas y mitigar los riesgos.

La integración de BIM con la IA en la gestión de proyectos de construcción representa un avance significativo (62). La combinación de la IA con el BIM permite el seguimiento en tiempo real de los proyectos de construcción a través de sensores y dispositivos IoT que recopilan datos de forma continua. El análisis predictivo utiliza datos, algoritmos estadísticos y técnicas de aprendizaje automático para predecir resultados futuros basados en datos históricos. En el sector de la construcción, la captura de datos en tiempo real y su conversión en información útil para la predicción se ha convertido en una revolución (63). Estos datos se analizan con algoritmos de IA para ofrecer información actualizada y recomendaciones instantáneas, mejorando la capacidad de respuesta y la eficiencia operativa.

La sinergia entre tecnologías como la IA y el BIM está revolucionando el diseño arquitectónico y fomentando la colaboración interdisciplinaria. Arquitectos, ingenieros y científicos ambientales convergen en plataformas digitales comunes para optimizar cada etapa del proyecto, desde la concepción hasta la ejecución. Esta alianza tecnológica reduce el impacto ambiental de los edificios e impulsa la innovación y la eficiencia, posicionando a diferentes profesionales como líderes en la construcción de un entorno urbano más sostenible y resiliente (64). Gracias a esta sinergia tecnológica, los usuarios finales se benefician de espacios más saludables, energéticamente eficientes y adaptados a sus necesidades.

Durante la última década, la industria de la construcción se ha transformado significativamente mediante la adopción de nuevas tecnologías y metodologías. En concreto, el Lean Construction (LC), el BIM y la IA se han convertido en herramientas cruciales para mejorar la eficiencia, reducir los costes y aumentar la calidad de los proyectos de construcción. Figura 6 resume la revisión sistemática de la adopción de LC, BIM e IA en la construcción. Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10 y Figura 11, recopilar herramientas, técnicas y estrategias esenciales, analizar las características de los proyectos que han implementado estas metodologías y establecer las características transversales más relevantes. La adopción de LC, BIM e IA ha sido crucial para modernizar y mejorar los procesos de construcción. Este documento proporciona una base sólida para comprender la implementación efectiva de estas metodologías en diversos proyectos, mejorando la

competitividad de las empresas del sector y contribuyendo al desarrollo sostenible y la innovación en la construcción.

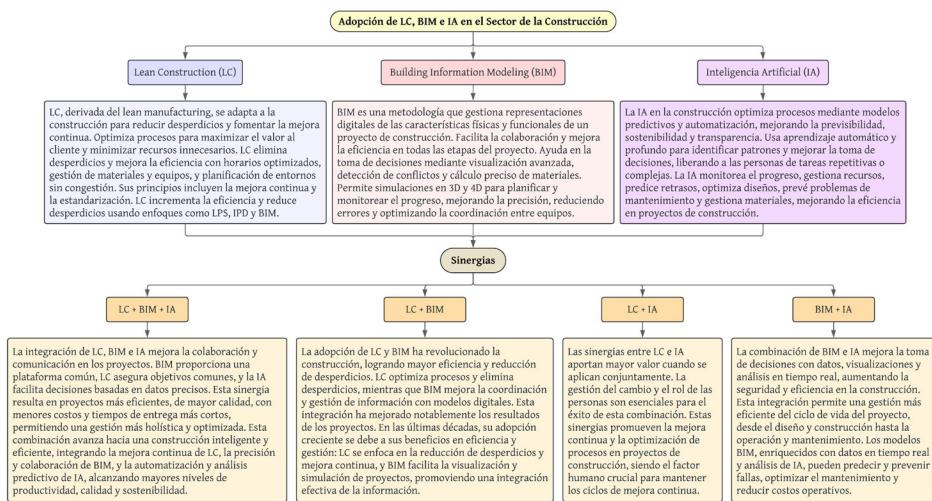


Figura 6. Adopción de LC, BIM e IA en el sector de la construcción.

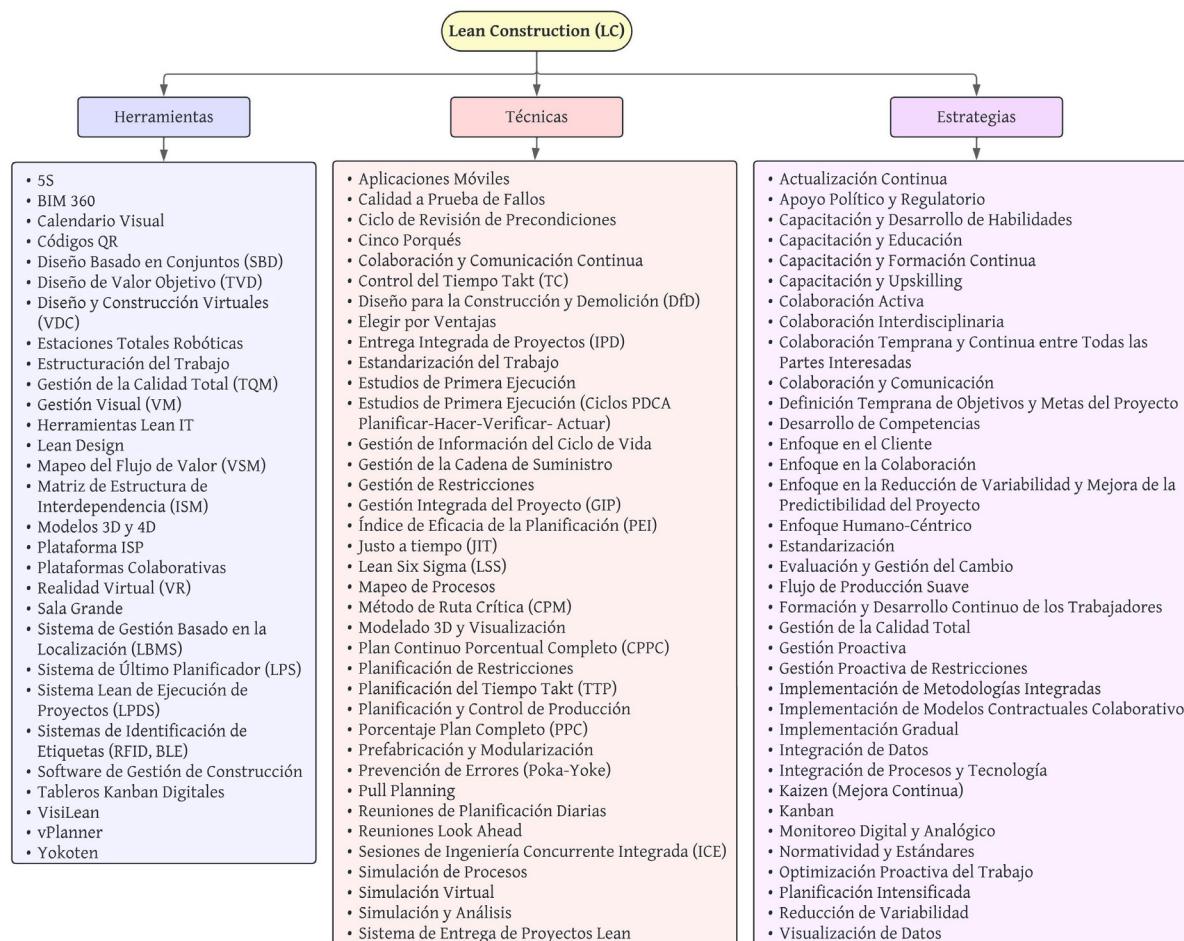


Figura 7. Herramientas, Técnicas y Estrategias Implementadas con LC.

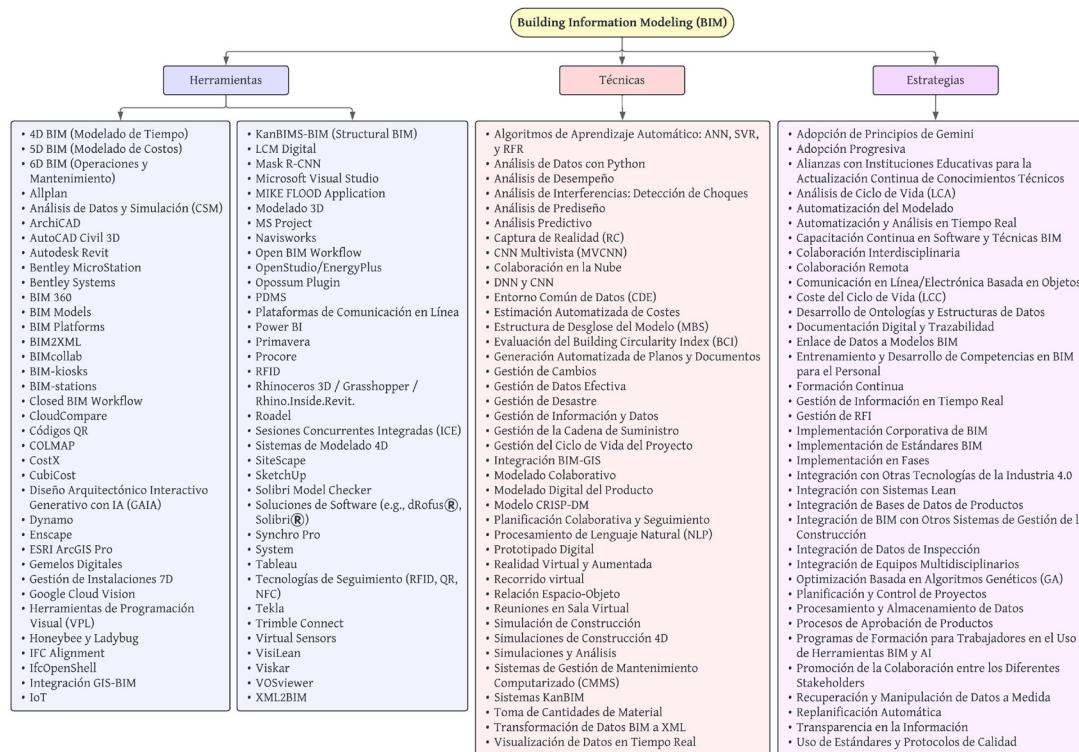


Figura 8. Herramientas, Técnicas y Estrategias Implementadas con BIM.

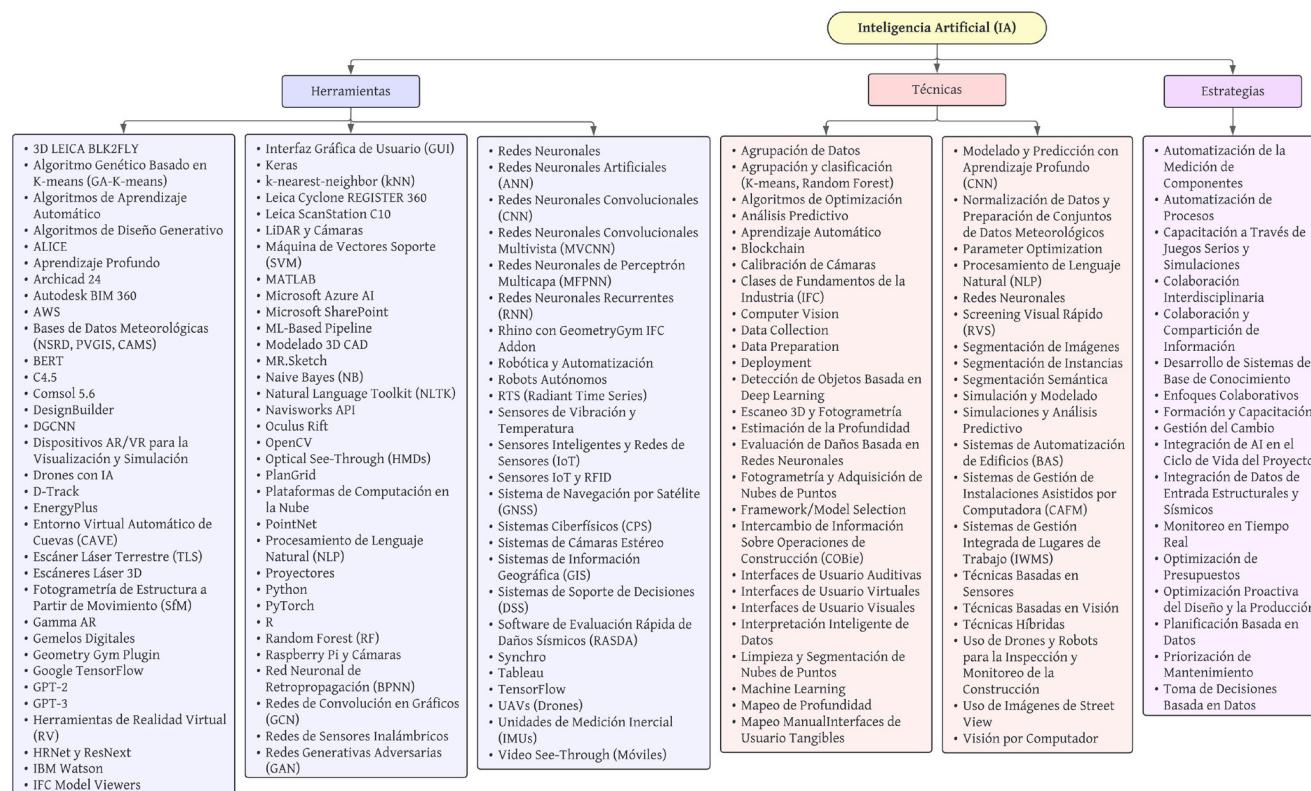


Figura 9. Herramientas, técnicas y estrategias implementadas con IA.

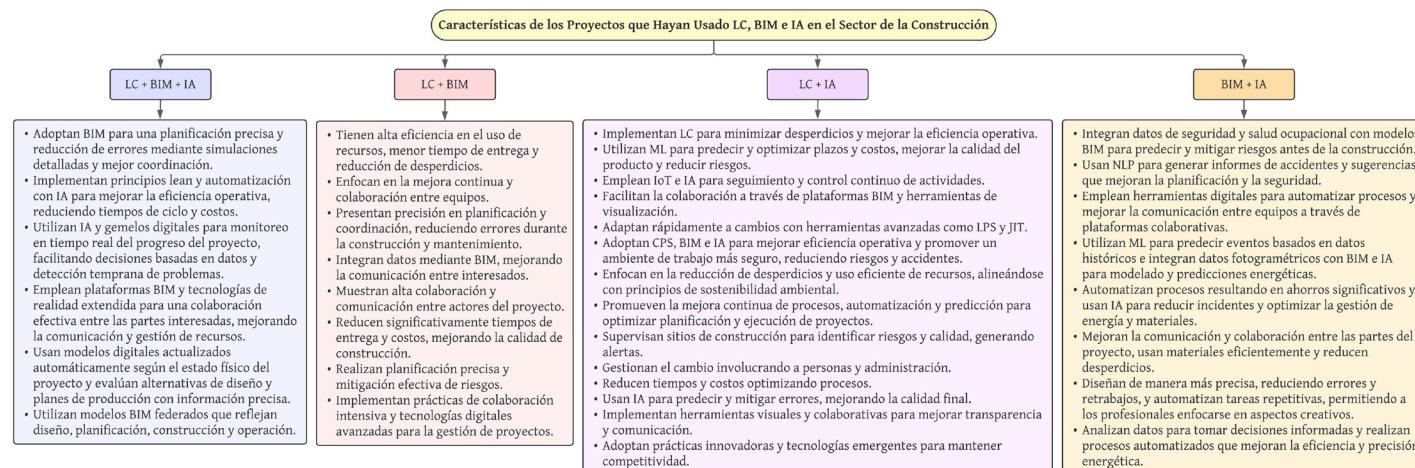


Figura 10. Características de los proyectos que han utilizado LC, BIM e IA en el sector de la construcción.

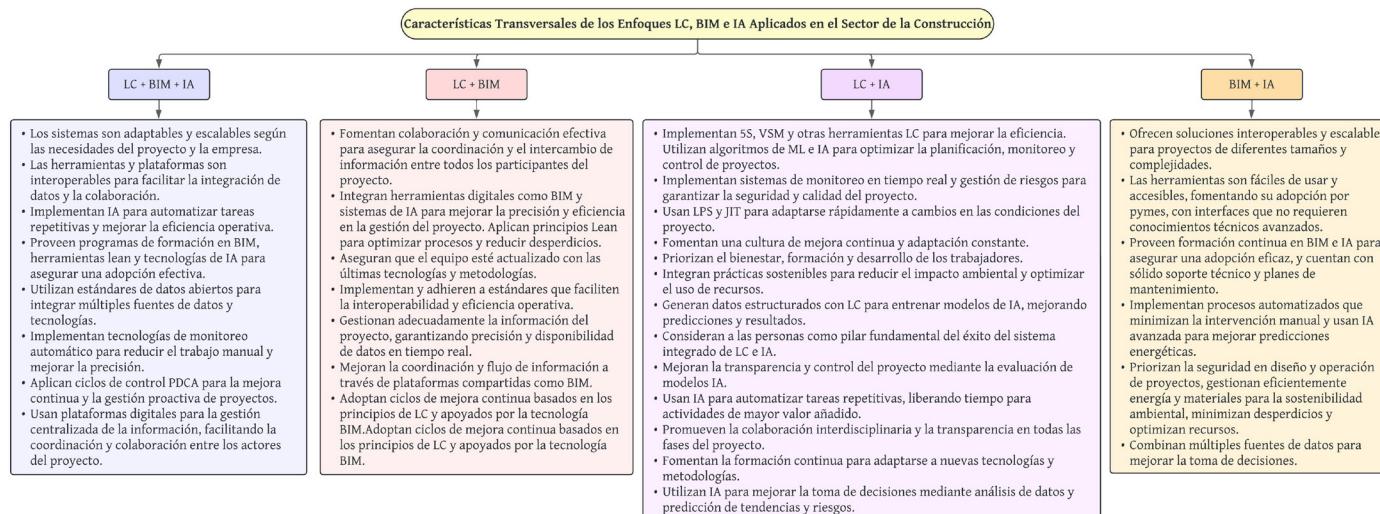


Figura 11. Características transversales de los enfoques LC, BIM e IA aplicados en el sector de la construcción.

Conclusiones

La integración de Lean Construction (LC), Building Information Modeling (BIM) e Inteligencia Artificial (IA) en la gestión de proyectos de construcción marca una evolución significativa en la industria. A través de una revisión sistemática de 186 documentos, esta investigación demuestra que la combinación de estos enfoques puede proporcionar beneficios que superan las ventajas individuales, optimizando la eficiencia operativa y reduciendo el desperdicio. LC elimina actividades

que no aportan valor, BIM facilita la visualización y coordinación de proyectos, y la IA analiza grandes volúmenes de datos y automatiza procesos para una ejecución más eficiente.

La combinación de BIM e IA proporciona herramientas poderosas para la toma de decisiones informadas. BIM visualiza todos los aspectos del proyecto, mientras que la IA analiza estos datos para identificar patrones, predecir problemas y sugerir soluciones. Esto permite a los gestores de proyectos tomar decisiones basadas en datos concretos y simulaciones precisas, mejorando la calidad y los resultados.

LC y BIM mejoran la coordinación y colaboración entre los equipos y disciplinas involucradas en un proyecto. BIM actúa como un lenguaje común, uniendo a las partes interesadas del proyecto, mientras que los principios de LC promueven el trabajo ágil y eficiente. La incorporación de la IA refuerza esta colaboración al automatizar la comunicación y proporcionar información en tiempo real para la toma de decisiones colaborativa.

La implementación de LC, BIM e IA fomenta una cultura de innovación y mejora continua en la construcción. LC establece una base sólida para la mejora constante de los procesos. BIM ofrece una plataforma para implementar estas mejoras de forma visual y práctica, y la IA añade inteligencia que permite el aprendizaje automático y la adaptación continua. Esta integración contribuye significativamente a la sostenibilidad y gestión eficiente de los recursos en los proyectos de construcción, reduciendo costos y minimizando el impacto ambiental, lo cual es crucial para cumplir con los estándares ambientales y de responsabilidad social.

La evidencia teórica y los estudios de caso revisados muestran que la integración de LC, BIM e IA mejora la eficiencia, la calidad y la sostenibilidad de los proyectos de construcción. La convergencia de LC, BIM e IA representa el futuro de la gestión de proyectos de construcción, ofreciendo un enfoque holístico y eficiente que mejora todos los aspectos del ciclo de vida del proyecto. La adopción de estas tecnologías no es solo una ventaja competitiva, sino una necesidad para abordar los desafíos actuales y futuros de la industria.

Se recomienda encarecidamente realizar futuras investigaciones que profundicen en la integración y aplicación de LC, BIM e IA. Esta investigación no solo permitirá validar empíricamente los hallazgos obtenidos en esta investigación teórica, sino que también proporcionará una base sólida para evaluar su impacto en la mejora de los procesos constructivos. Además, ayudará a identificar oportunidades específicas para optimizar la eficiencia, reducir el desperdicio y promover la toma de decisiones basada en datos en la práctica profesional.

References

1. Lara-García AM, Nieto-Vargas JA. Sinergias y Aplicación de las Metodologías y Principios de Lean Construction, BIM y Construcción Sostenible, para la Mejora y Progreso de la Industria de la Construcción [Internet]. [Bogotá D.C.]: Universidad Católica de Colombia; 2021 [cited 2023 Aug 14]. Available from: <https://hdl.handle.net/10983/26938>
2. Latorre Uriz A, Sanz C, Sánchez B. Aplicación de un Modelo Lean-BIM para la Mejora de la Productividad en Redacción de Proyectos de Edificación. Informes de la Construcción [Internet]. 2019 Dec 30 [cited 2024 Jun 19];71(556):1-9. <https://doi.org/10.3989/ic.67222>
3. Borda Zambrano MA. Interacción Lean-BIM para el Diseño de Metodología de Gestión de Proyectos de Construcción en Etapa de Planificación y Ejecución. Gerencia Integral de Proyectos [Internet]. 2022 Nov 5 [cited 2023 Aug 14];1-22. Available from: <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/5fe8e658-67ba-42d3-b5a2-69e885580be0/content>
4. Morán Muñoz V de D, Pinilla Díaz L. Sistema de Gestión Bim - Lean: Efectos de su Aplicación en el Desarrollo de Proyectos de Construcción Civil [Internet]. [Cartagena de Indias, D. T. y C.]: Universidad de Cartagena; 2022 [cited 2023 Aug 14]. Available from: <https://hdl.handle.net/11227/15529>
5. Mendoza JG, Quispe MB, Muñoz SP. Una Revisión Sobre el Rol de la Inteligencia Artificial en la Industria de la Construcción. Ingeniería y Competitividad [Internet]. 2022 Jan 28 [cited 2024 Jun 19];24:1-23. <https://doi.org/10.25100/iyc.v0i00.11727>
6. Sarmiento Rojas JA, Hernández Carrillo CG, Rueda Varón MJ. Factores de Permanencia Empresarial del Sector de la Construcción en Colombia [Internet]. 1st ed. Editorial UPTC, editor. Factores de permanencia empresarial del sector de la construcción en Colombia. Tunja: Editorial UPTC; 2022 [cited 2024 Dec 28]. 1-398 p. <https://doi.org/10.19053/9789586607117>
7. Romano FG. Viabilidad del Despliegue de la Filosofía Lean Construction a Pie de Obra Mediante su Digitalización a Través de una BIM-Station [Internet]. [Barcelona]: Universidad Politécnica de Cataluña UPC; 2023 [cited 2023 Aug 14]. Available from: <http://hdl.handle.net/2117/384728>
8. Rusch Reichhard J. GrupoTusMaquinas. 2023 [cited 2024 Jun 19]. Transformación Digital en la Logística del Sector Construcción. Available from: <https://blog.grupotusmaquinas.com/transformacion-digital-en-la-logistica-del-sector-construccion/>
9. Ayerra Linares M. Integrated Project Delivery, Modelo de Gestión en la Edificación. Claves para la Implantación y el Desarrollo de los Procesos Colaborativos en el Sector de la Construcción en España [Internet]. [Madrid]: Universidad Politécnica de Madrid; 2021 [cited 2023 Sep 16]. Available from: <https://oa.upm.es/66828/>
10. Campos Carballo C. Metaverso y BIM: Entornos Virtuales [Internet]. [Madrid]: Universidad Politécnica de Madrid; 2023 [cited 2023 Aug 14]. Available from: <https://oa.upm.es/id/eprint/72658>
11. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: Una Guía Actualizada para la Publicación de Revisiones Sistemáticas. Rev Esp Cardiol [Internet]. 2021 May 21 [cited 2024 Jun 19];74(9):790-9. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.06.016>
12. Zabalza Navarro V, González Torres A. Estudio del Proceso Indagatorio Inherente A Una Revisión Sistemática Documental Prisma 2020 Con Empleo De Metaanálisis. RIDE Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo [Internet]. 2024 May 9 [cited 2024 Nov 16];14(28):1-24. <https://doi.org/10.23913/ride.v14i28.1904>
13. Universidad de Navarra. Revisiones Sistemáticas: PRISMA 2020: Guías Oficiales Para Informar (Redactar) Una Revisión Sistemática [Internet]. 2024 [cited 2024 Nov 16]. Available from: https://biblioguias.unav.edu/revisionessistematicas/guias_oficiales

14. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Biblioteca Digital - Recursos Electrónicos. 2023 [cited 2024 Apr 27]. Fuentes de Información Confiables - Available from: https://bibliotecas.udistrital.edu.co/ud/bdigital2/subjects/guide.php?subject=fuentes_informacion
15. Codina L. Scopus: El Mejor Navegador Científico de la Web. El Profesional de la Información [Internet]. 2005 Feb [cited 2024 Jun 19];14(1):44-9. <https://doi.org/10.3145/epi.2005.feb.07>
16. Arbeláez Gómez MC, Onrubia Goñi J. Análisis Bibliométrico y de Contenido. Dos Metodologías Complementarias para el Análisis de la Revista Colombiana Educación y Cultura. Revista de Investigaciones [Internet]. 2016 Aug 23 [cited 2024 Jul 5];14(23):14-31. <https://doi.org/10.22383/ri.v14i1.5>
17. Tezel A, Taggart M, Koskela L, Tzortzopoulos P, Hanahoe J, Kelly M. Lean Construction and BIM in Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs) in Construction: A Systematic Literature Review. Canadian Journal of Civil Engineering [Internet]. 2020 Mar 27 [cited 2024 Jul 6];47(2):186-201. <https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0408>
18. Petticrew M. Systematic Reviews from Astronomy to Zoology: Myths and Misconceptions. Br Med J [Internet]. 2001 Jan 13 [cited 2024 Mar 17];322(7278):98-101. <https://doi.org/10.1136/bmj.322.7278.98>
19. Cochrane. Sobre las revisiones Cochrane. 2020 [cited 2024 Mar 17]. ¿Qué es una revisión sistemática? Available from: <https://www.cochranelibrary.com/es/about/about-cochrane-reviews>
20. Rashidian S, Drogemuller R, Omrani S. Building Information Modelling, Integrated Project Delivery, and Lean Construction Maturity Attributes: A Delphi Study. Buildings [Internet]. 2023 Jan 18 [cited 2024 May 30];13(2):1. <https://doi.org/10.3390/buildings13020281>
21. Sacks R, Brilakis I, Pikas E, Xie HS, Girolami M. Construction With Digital Twin Information Systems. Data-Centric Engineering [Internet]. 2020 Nov 27 [cited 2024 May 30];1(e14):1-26. Available from: <https://www.cambridge.org/core/journals/data-centric-engineering/article/construction-with-digital-twin-information-systems/C88A0AE68BBA09517D7534B9DBE24FEE>
22. Pal A, Lin JJ, Hsieh SH, Golparvar-Fard M. Automated Vision-Based Construction Progress Monitoring in Built Environment Through Digital Twin. Developments in the Built Environment [Internet]. 2023 Dec 1 [cited 2024 May 30];16:1. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100247>
23. Gbadamosi AQ, Mahamadu AM, Oyedele LO, Akinade OO, Manu P, Mahdjoubi L, et al. Offsite Construction: Developing a BIM-Based Optimizer for Assembly. J Clean Prod [Internet]. 2019 Apr 1 [cited 2024 Dec 27];215:1180-90. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.113>
24. Ratajczak J, Riedl M, Matt DT. BIM-based and AR Application Combined with Location-Based Management System for the Improvement of the Construction Performance. Buildings [Internet]. 2019 May 9 [cited 2024 Dec 28];9(5):1-17. <https://doi.org/10.3390/buildings9050118>
25. Sepasgozar SME, Hui FKP, Shirowzhan S, Foroozanfar M, Yang L, Aye L. Lean Practices Using Building Information Modeling (BIM) and Digital Twinning for Sustainable Construction. Sustainability (Switzerland) [Internet]. 2020 Dec 25 [cited 2024 Dec 28];13(1):1-22. <https://doi.org/10.3390/su13010161>
26. Meng X. Lean Management in the Context of Construction Supply Chains. Int J Prod Res [Internet]. 2019 Jun 16 [cited 2024 Dec 28];57(11):3784-98. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1566659>
27. Arroyo P, Schöttle A, Christensen R. The Ethical and Social Dilemma of AI Uses in the Construction Industry. In: 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC) [Internet]. Lima: Department of Engineering, Civil Engineering Division, Pontificia Universidad Católica del Perú; 2021 [cited 2024 May 30]. p. 227-36. <https://doi.org/10.24928/2021/0188>

28. Cisterna D, Lauble S, Haghsheno S, Wolber J. Synergies Between Lean Construction and Artificial Intelligence AI Driven Continuous Improvement Process. In: 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC) [Internet]. Alemania: Department of Engineering, Civil Engineering Division, Pontificia Universidad Católica del Perú; 2022 [cited 2024 May 30]. p. 199-210. <https://doi.org/10.24928/2022/0122>
29. Boje C, Guerriero A, Kubicki S, Rezgui Y. Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. Autom Constr [Internet]. 2020 Jun 1 [cited 2024 Dec 28];114:1-16. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580519314785?via%3Dhub>
30. Baduge SK, Thilakarathna S, Perera JS, Arashpour M, Sharafi P, Teodosio B, et al. Artificial Intelligence and Smart Vision for Building and Construction 4.0: Machine and Deep Learning Methods and Applications. Autom Constr [Internet]. 2022 Sep 1 [cited 2024 Dec 27];141:1-26. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104440>
31. Wang M, Wang CC, Sepasgozar S, Zlatanova S. A Systematic Review of Digital Technology Adoption in Off-Site Construction: Current Status and Future Direction Towards Industry 4.0. Buildings [Internet]. 2020 Nov 13 [cited 2024 Dec 28];10(11):1-29. <https://doi.org/10.3390/buildings10110204>
32. Forcael E, Ferrari I, Opazo-Vega A, Pulido-Arcas JA. Construction 4.0: A Literature Review. Sustainability (Switzerland) [Internet]. 2020 Nov 23 [cited 2024 Dec 28];12(22):1-28. <https://doi.org/10.3390/su12229755>
33. Shahzad M, Shafiq MT, Douglas D, Kassem M. Digital Twins in Built Environments: An Investigation of the Characteristics, Applications, and Challenges. Buildings [Internet]. 2022 Jan 25 [cited 2024 Dec 27];12(2):1-19. <https://doi.org/10.3390/buildings12020120>
34. Çetin S, De Wolf C, Bocken N. Circular Digital Built Environment: An Emerging Framework. Sustainability (Switzerland) [Internet]. 2021 Jun 3 [cited 2024 Dec 27];13(11):1-34. <https://doi.org/10.3390/su13116348>
35. Sacks R, Girolami M, Brilakis I. Building Information Modelling, Artificial Intelligence and Construction Tech. Developments in the Built Environment [Internet]. 2020 Nov 1 [cited 2024 Dec 27];4:1-9. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666165920300077?via%3Dhub>
36. You Z, Feng L. Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A Framework of Cyber-Physical System. IEEE Access [Internet]. 2020 Jul 6 [cited 2024 Dec 27];8:122908-22. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007206>
37. Haronian E, Sacks R. Roadmaps: Discrete Information Objects for Production Planning and Control of Road Construction. Journal of Information Technology in Construction [Internet]. 2020 Apr 1 [cited 2024 Dec 27];25:254-71. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2020.015>
38. Schimanski CP, Monizza GP, Matt DT. The Role of Common Data Environments as Enabler for Reliable Digital Lean Construction Management. In: 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC) [Internet]. Lima: Department of Engineering, Civil Engineering Division, Pontificia Universidad Católica del Perú; 2021 [cited 2024 Dec 27]. p. 97-106. <https://doi.org/10.24928/2021/0110>
39. Marte Gómez JA, Daniel EI, Fang Y, Oloke D, Gyoh L. Implementation of BIM and Lean Construction in Offsite Housing Construction: Evidence from the UK. In: 29th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC) [Internet]. Lima: Department of Engineering, Civil Engineering Division, Pontificia Universidad Católica del Perú; 2021 [cited 2024 Dec 27]. p. 955-64 <https://doi.org/10.24928/2021/0122>
40. Chen C, Tang LCM, Jin Y. Development of 5D BIM-Based Management System for Pre-Fabricated Construction in China. In: International Conference on Smart Infrastructure and Construction 2019 (ICSIC) [Internet]. ICE Publishing. <https://doi.org/10.1680/icsic.64669.215>

41. Peltokorpi A, Seppänen O. Managing Product Information for Lean Construction: Use Cases and A Proposed Process. In: 30th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC) [Internet]. Edmonton: Department of Engineering, Civil Engineering Division, Pontificia Universidad Católica del Perú; 2022 [cited 2024 Dec 27]. p. 388-98. <https://doi.org/10.24928/2022/0142>
42. Arayici Y, Tokdemir OB, Kassem M. A Quantitative, Evidence-based Analysis of Correlations Between Lean Construction and Building Information Modelling. Smart and Sustainable Built Environment [Internet]. 2023 Nov 21 [cited 2024 Dec 27];12(5):975-1001. <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2022-0052>
43. Ybañez RS, De La Cruz AR. Related Literature Review 5D Model for Project and Operation/Maintenance Remote Monitoring of Equipment and Piping System. Journal Européen des Systèmes Automatisés [Internet]. 2023 Jun 30 [cited 2024 Dec 27];56(3):355-64. <https://doi.org/10.18280/jesa.560301>
44. Abouelaziz I, Jouane Y. Photogrammetry and Deep Learning for Energy Production Prediction and Building-Integrated Photovoltaics Decarbonization. Build Simul [Internet]. 2023 Dec 7 [cited 2024 Dec 27];17(2):189-205. <https://doi.org/10.1007/s12273-023-1089-y>
45. Jang S, Lee G. Interactive Design by Integrating a Large Pre-Trained Language Model and Building Information Modeling. In: ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering 2023: Visualization, Information Modeling, and Simulation, i3CE 2023 [Internet]. Corvallis: Computing in Civil Engineering 2023 <https://doi.org/10.1061/9780784485231.035>
46. Wu B, Maalek R. Renovation or Redevelopment: The Case of Smart Decision-Support in Aging Buildings. Smart Cities [Internet]. 2023 Aug 10 [cited 2024 Dec 27];6(4):1922-36. <https://doi.org/10.3390/smartcities6040089>
47. Rafsanjani HN, Nabizadeh AH. Towards Digital Architecture, Engineering, and Construction (AEC) Industry Through Virtual Design and Construction (VDC) and Digital Twin. Energy and Built Environment [Internet]. 2023 Apr 1 [cited 2024 Dec 27];4(2):169-78. <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.10.004>
48. Soman RK, Whyte JK. Codification Challenges for Data Science in Construction. J Constr Eng Manag [Internet]. 2020 Apr 27 [cited 2024 Dec 27];146(7):1-47. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001846](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001846)
49. Erişen S. A Systematic Approach to Optimizing Energy-Efficient Automated Systems with Learning Models for Thermal Comfort Control in Indoor Spaces. Buildings [Internet]. 2023 Jul 19 [cited 2024 Dec 27];13(7):1-29. <https://doi.org/10.3390/buildings13071824>
50. Sampaio AZ. BIM Capacities Improved with VR Technology in The Building Project. In: International Conferences Big Data Analytics, Data Mining and Computational Intelligence 2019 [Internet]. Theory and Practice in Modern Computing 2019 https://doi.org/10.33965/tpmc2019_201907C028
51. Uvarova SS, Orlov AK, Kankhva VS. Ensuring Efficient Implementation of Lean Construction Projects Using Building Information Modeling. Buildings [Internet]. 2023 Mar 15 [cited 2024 May 30];13(3):1-24. <https://doi.org/10.3390/buildings13030770>
52. Patching A, Skitmore M, Rusch R, Lester D. Case Study of The Collaborative Design of an Integrated BIM, IPD and Lean University Education Program. International Journal of Construction Management [Internet]. 2024 May 22 [cited 2024 May 30];24(7):799-808. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2215107>
53. Karatas I, Budak A. Investigating the Impact of Lean-BIM Synergy on Labor Productivity in the Construction Execution Phase. Journal of Engineering Research (Kuwait University) [Internet]. 2023 Oct 17 [cited 2024 May 30];11(4):322-33. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.10.021>
54. Garcés G, Peña C. A Review on Lean Construction for Construction Project Management. Revista Ingeniería de Construcción RIC [Internet]. 2023 Apr 2 [cited 2024 May 30];38(1):43-60. <https://doi.org/10.7764/RIC.00051.21>

55. Ngoc NM, Dung NA, Hung TD, Thang TN. Challenges of BIM Technology and Lean Theory in the Construction Industry in Vietnam. *Engineering, Technology and Applied Science Research* [Internet]. 2024 Jun 20 [cited 2024 Dec 25];14(5):17548-54. <https://doi.org/10.48084/etasr.7810>
56. Pérez Y, Ávila J, Sánchez O. Influence of BIM and Lean on Mitigating Delay Factors in Building Projects. *Results in Engineering* [Internet]. 2024 Jun 1 [cited 2024 Dec 27];22:1-18. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102236>
57. Velezmoro-Abanto L, Cuba-Lagos R, Taico-Valverde B, Iparraguirre-Villanueva O, Cabanillas-Carbonell M. Lean Construction Strategies Supported by Artificial Intelligence Techniques for Construction Project Management - A Review. *International Journal of Online and Biomedical Engineering* [Internet]. 2024 Feb 27 [cited 2024 May 30];20(3):99-114. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v20i03.46769>
58. Noueihed K, Hamzeh F. Envisioning a Human Centric Approach to C4.0 Technologies. *Lean Construction Journal* [Internet]. 2022 Nov 16 [cited 2024 Dec 27];2022:156-70. <https://doi.org/10.60164/30b5h6i2c>
59. Khan N, Nadeau S, Xuan-Tan P, Boton C. Exploring Associations Between Accident Types and Activities in Construction Using Natural Language Processing. *Autom Constr* [Internet]. 2024 May 11 [cited 2024 May 30];164:1-15. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105457>
60. Chashyn D, Khurudzhi Y, Daukšys M. Directions for the Formation of «City Intelligent Models» Using Artificial Intelligence for the Post-war Reconstruction of Historical Buildings. *Budownic-two i Architektura* [Internet]. 2024 Mar 29 [cited 2024 May 30];23(1):73-86. <https://doi.org/10.35784/bud-arch.5560>
61. Pedral Sampaio R, Aguiar Costa A, Flores-Colen I. A Systematic Review of Artificial Intelligence Applied to Facility Management in the Building Information Modeling Context and Future Re-search Directions. *Buildings* [Internet]. 2022 Nov 10 [cited 2024 May 30];12(11):1-23. <https://doi.org/10.3390/buildings12111939>
62. Tran T Van, Tran HVV, Nguyen TA. A Review of Challenges and Opportunities in BIM Adop-tion for Construction Project Management. *Engineering Journal* [Internet]. 2024 Aug 31 [cited 2024 Dec 27];28(8):79-98. <https://doi.org/10.4186/ej.2024.28.8.79>
63. Igwe US, Mohamed SF, Dzahir Azwarie MBM, Ugulu RA, Ajayi O. Acceptance of Contempo-rary Technologies for Cost Management of Construction Projects. *Journal of Information Tech-nology in Construction* [Internet]. 2022 Oct [cited 2024 May 30];27:864-83. <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.042>
64. Płoszaj-Mazurek M, Ryńska E. Artificial Intelligence and Digital Tools for Assisting Low-Carbon Architectural Design: Merging the Use of Machine Learning, Large Language Models, and Build-ing Information Modeling for Life Cycle Assessment Tool Development. *Energies (Basel)* [Inter-net]. 2024 Jun 18 [cited 2024 Dec 27];17(12):1-21. <https://doi.org/10.3390/en17122997>