

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Revisión de la implementación de Lean Construction y BIM para la reducción de desperdicios de encofrado

Lean Construction and BIM implementation for the reduction of formwork waste a review

Willian Diaz ¹ * y Manuel Laurencio ² 

RESUMEN

La revisión de la literatura resalta la integración sinérgica de Lean Construction y Building Information Modeling (BIM) como una estrategia integral para incrementar la eficiencia y reducir los desperdicios en la construcción, con especial énfasis en la gestión de encofrados. Los principios Lean enfocados en el valor, el flujo, la atracción y la perfección, combinados con las capacidades de visualización 3D y modelado 4D de BIM, permiten optimizar procesos, fortalecer la colaboración y respaldar decisiones informadas durante todo el ciclo de vida del proyecto. Herramientas como Value Stream Mapping (VSM), Last Planner System (LPS), Kanban y Heijunka contribuyen a mejorar la planificación, reducir actividades no relevantes y elevar la productividad. Asimismo, la incorporación de encofrados innovadores y tecnologías avanzadas refuerza el compromiso con prácticas constructivas sostenibles, disminuyendo tiempos, costes y el impacto ambiental, a la vez que se mejora la calidad. En conjunto, la aplicación coordinada de Lean y BIM no solo responde a los desafíos actuales de la industria, sino que también proyecta un modelo de construcción más eficiente, colaborativo y sostenible.

Palabras clave: Gestión de encofrados, Visualización 3D, VSM, Kanban, Heijunka.

ABSTRACT

The literature review highlights the synergistic integration of Lean Construction and Building Information Modeling (BIM) as a comprehensive strategy to increase efficiency and reduce waste in construction, with a special emphasis on formwork management. Lean principles—focused on value, flow, attraction, and perfection—combined with BIM's 3D visualization and 4D modeling capabilities, enable process optimization, strengthen collaboration, and support informed decisions throughout the project lifecycle. Tools such as Value Stream Mapping (VSM), Last Planner System (LPS), Kanban, and Heijunka contribute to improving planning, reducing irrelevant activities, and increasing productivity. Likewise, the incorporation of innovative formwork and advanced technologies reinforces the commitment to sustainable construction practices, reducing time, costs, and environmental impact, while improving quality. Together, the coordinated application of Lean and BIM not only responds to the current challenges of the industry, but also projects a more efficient, collaborative, and sustainable construction model.

Keywords: Formwork management, 3D visualisation, VSM, Kanban, Heijunka.

* Autor para correspondencia

¹ Universidad Católica sede Sapientiae, Perú. Email: 2016200240@ucss.pe

² Universidad Católica sede Sapientiae, Perú. Email: mLaurencio@ucss.edu.pe

INTRODUCCIÓN

En el sector de la construcción, la eficiencia y la sostenibilidad se han convertido en prioridades fundamentales para enfrentar los desafíos actuales (Tezel et al., 2020). En este contexto, la integración de Lean Construction y Building Information Modeling (BIM) se plantea como una estrategia clave, particularmente en la etapa de encofrado, que demanda un uso considerable de recursos.

Diversos estudios resaltan los beneficios de esta integración. Por ejemplo, Pronk et al. (2022) señalan que la aplicación conjunta de Lean y BIM permite optimizar los procesos y reducir la generación de residuos, aspectos críticos para la gestión eficiente del encofrado. En sintonía, Hoyos y Botero (2018) advierten que una gestión inadecuada de esta fase puede provocar ineficiencias significativas y un aumento del desperdicio de materiales.

La literatura también resalta ciertos desafíos. Mientras Lean Construction se centra en eliminar actividades que no agregan valor y BIM posibilita una planificación precisa y colaborativa, Karaz y Teixeira (2023) sostienen que aún es necesario fortalecer el desarrollo teórico y práctico de su aplicación conjunta para consolidar su aporte a la sostenibilidad. En la misma dirección, Sepasgozar et al. (2021) destacan que la combinación de Lean y BIM, junto con tecnologías emergentes como Digital Twin e IoT, abre nuevas oportunidades para impulsar prácticas sostenibles y reducir desperdicios en la industria.

En este marco, la presente revisión tiene como objetivo analizar cómo la convergencia de Lean Construction y BIM influye en la gestión del encofrado, evaluando su impacto en la reducción de costos, la mejora de la calidad y la promoción de prácticas sostenibles en los proyectos de construcción.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio adoptó un diseño cualitativo de tipo documental, con un enfoque evaluativo orientado a analizar la interrelación entre Lean Construction y Building Information Modeling (BIM) en la industria de la construcción. La primera fase consistió en la planificación y búsqueda sistemática de información en bases de datos especializadas como Scopus y Web of Science, consideradas de alto impacto y calidad, además de repositorios regionales como Dialnet, Redalyc, Scielo, Latindex y Renati, así como repositorios institucionales y sitios web especializados. Para garantizar la actualidad de la información, se incluyeron publicaciones comprendidas entre 2015 y 2025. Se aplicaron criterios de inclusión y exclusión para seleccionar los estudios:

- Criterios de inclusión: investigaciones publicadas en el rango temporal definido; artículos, tesis y documentos con rigor metodológico comprobado; disponibilidad de texto completo; y estudios con un enfoque directo en la integración Lean-BIM.

- Criterios de exclusión: duplicidad de registros en distintas bases de datos; documentos sin relación explícita con el tema; estudios con bajo nivel de calidad metodológica; y publicaciones no arbitradas.

Una vez seleccionados los documentos, se realizó un proceso de lectura crítica e interpretativa, apoyado en una matriz de contenido que permitió organizar la información en categorías temáticas (eficiencia, sostenibilidad, gestión de encofrados, reducción de residuos, entre otros). Para fortalecer el análisis, se utilizó software especializado de análisis cualitativo, lo que facilitó la identificación de patrones y la organización de la información. Con el fin de transparentar el proceso de selección, se elaboró un diagrama de flujo metodológico, que muestra las fases de identificación, filtrado, exclusión y selección final de los estudios. Asimismo, se construyó una tabla de síntesis con el número total de investigaciones analizadas, distribuidas según año de publicación, base de datos y país de origen.

Finalmente, los hallazgos fueron integrados en un manuscrito académico mediante una síntesis crítica sustentada con citas actualizadas y complementada con imágenes de autoría propia, que refuerzan la importancia de los resultados. El período de desarrollo de la investigación se extendió desde el 10 de abril de 2024 hasta el 21 de junio de 2024, considerando literatura publicada hasta el año 2025 para asegurar vigencia y pertinencia de los resultados.

RESULTADOS

Revisión de la literatura

Relevancia en la etapa de encofrado.

Tabla 1.

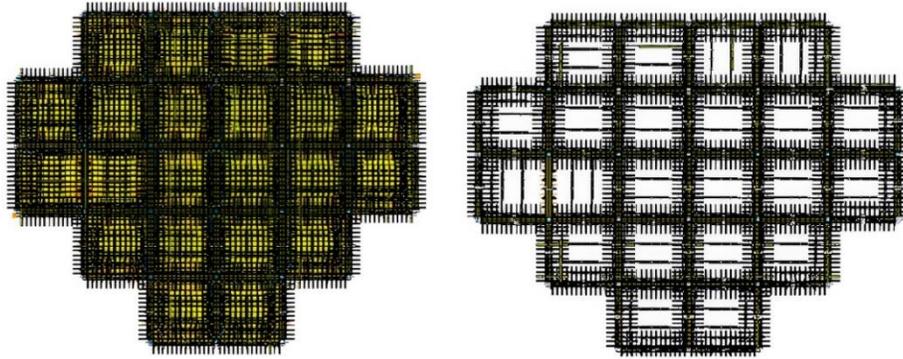
Autores Claves sobre la Importancia del Encofrado en la Construcción

Referencia	Descripción
Fabozzi et al. (2021)	El diseño de encofrados es un desafío complejo debido a la variedad de formas y estructuras no rectilíneas en los edificios. Importancia en la optimización de recursos y costos.
Mizushima et al. (2023)	La planificación adecuada de la disposición de puntales y encofrados (figura 1) puede reducir costos y duración de la construcción, garantizando seguridad estructural. Métodos matemáticos para optimización continua.

Nota: Ambos estudios destacan el impacto del encofrado en la eficiencia y costos; Fabozzi resalta la complejidad técnica, mientras que Mizushima propone optimización mediante métodos matemáticos.

Figura 1.

Representación Visual de la Información de Encofrados en un Modelado



Nota: Adaptado de *A Dynamic Model for Effective and Optimal Planning of Formwork in Construction Projects* (p. 12), por A. Tazikova et al., 2023, *buildings*, 13 (7).

Tabla 2.

Referencias sobre la Selección y Uso de Materiales de Encofrado en la Construcción

Referencia	Descripción
Baskova et al. (2023)	La duración de las etapas constructivas como losas, columnas y vigas depende en gran medida de los materiales de encofrado seleccionados. Importancia crítica en la planificación y velocidad de ejecución del proyecto.
Shrivastava et al. (2021)	Selección de materiales de encofrado que minimicen costes de mantenimiento, permitan reutilización, sean manejables y ligeros. Optimización del proceso constructivo y economía del proyecto.

Nota: Ambos estudios subrayan que la elección del material de encofrado influye directamente en el tiempo, costo y eficiencia del proyecto; Baskova enfatiza el impacto en la velocidad de ejecución, mientras que Shrivastava resalta la economía y reutilización de materiales.

Ineficiencias y generación de residuos en el departamento de encofrado

Tabla 3.

Referencias sobre Costos y Estrategias de Optimización en la Construcción de Encofrados

Referencia	Descripción
Liebringshausen et al. (2023)	La construcción de encofrados puede representar hasta el 50% del costo total en proyectos de hormigón colado en obra, y hasta el 80% en situaciones con formas complejas.
Duan & Li (2016)	Estrategias como la reutilización, optimización de materiales, uso de opciones de bajo costo y gestión eficaz del mantenimiento son cruciales para la sostenibilidad y reducción de costos en la construcción de encofrados.

Nota: Los hallazgos muestran que los encofrados constituyen uno de los componentes de mayor impacto económico en obra, y que la aplicación de estrategias de optimización permite reducir costos sin comprometer la calidad ni la sostenibilidad del proyecto.

Figura 2.

Evaluación de los encuestados sobre la conformidad del sistema de encofrado convencional con el criterio de sostenibilidad

	Elemento Código	Elemento	Min	Max	Media	Desv. Estand
ECO	ECO 1-1	Coste Laboral	2	4	2.45	0.648
	ECO 1-2	Capacidad de Servicio de Encofrado	1	4	2.47	1.077
	ECO 2-1	Costo del Ciclo de Vida	1	3	1.62	0.639
	ECO 2-2	Costo de Instalación	1	3	1.52	0.649
	ECO 3-1	Simplicidad de uso de la Tecnología	1	4	2.12	0.980
	ECO 4-1	Costo de Uso	1	4	2.42	0.814
ENV	ECO 4-2	Costo de Materiales y Equipos	1	4	1.99	0.916
	ENV 1-1	Consumo de Energía y Recursos	1	3	2.18	0.776
	ENV 1-2	Generación de Residuos	1	3	1.97	0.583
	ENV 2-1	Encofrado Reutilizable	1	3	2.1	0.630
	ENV 2-2	Utilizando Materiales Renovables	1	3	1.67	0.738
SOC	ENV 3-1	Impacto en el Medio Ambiente Local	1	3	1.89	0.700
	ENV 3-2	Eficiencia de Residuos	1	4	2.1	1.043
	SOC 1-1	Seguridad contra Incendios	1	3	1.99	0.788
	SOC 1-2	Diseño de Seguridad de Encofrados	1	3	2.17	0.556
	SOC 2-1	Medidas de Seguridad	1	3	1.55	0.697

Nota: Los resultados de la Figura 2 revelan baja satisfacción con el rendimiento de sostenibilidad del encofrado convencional, especialmente en coste de instalación y medidas de seguridad. Esto subraya la necesidad urgente de mejorar la eficiencia y seguridad en las actividades de encofrado para reducir residuos y mejorar la sostenibilidad. Adaptado de *Sostenibilidad del sistema de encofrado tradicional* (p. 5), por T. Al-ashwal et al., 2017, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 271.

Integración Lean y BIM

Tabla 4.

Referencias sobre la Integración de Lean Construction y BIM en la Optimización de Proyectos Constructivos

Referencia	Descripción
Baskova et al. (2023)	La combinación de Lean Construction (LC) con BIM optimiza los periodos de construcción, reduce costes, acorta plazos de ejecución y mejora la eficiencia en proyectos constructivos.
Nguyen & Akhavian (2019)	La colaboración entre Lean, IPD y BIM puede mejorar la eficiencia y calidad en proyectos, aunque los impactos en costos pueden variar.
Miettinen & Paavola (2014)	Lean y BIM buscan optimizar procesos constructivos; Lean facilita la adopción de BIM y mejora la gestión de recursos en la construcción.

Nota: En conjunto, los estudios coinciden en que la integración de Lean y BIM genera beneficios en eficiencia, tiempos y calidad del proyecto, aunque algunos resultados muestran variabilidad en el impacto económico.

Tabla 5.

Principales prácticas lean y ejemplos de aplicación en la construcción

Referencia	Contexto de la aplicación
(Lee et al., 2014)	VSM se utiliza para fortalecer la eficiencia operativa en diversos procesos.
(Gao & Low, 2014)	LPS aplicado para obtener compromisos realistas en la planificación de proyectos.
(Su & Lucko, 2015)	La línea de equilibrio se implementa para sincronizar la producción en la fabricación.
(Kemmer et al., 2016)	Andon se utiliza para mejorar la comunicación y la respuesta en sitios de construcción.
(Kumar et al., 2022)	Diversos tipos de Poka Yoke aplicados en la construcción para evitar errores.
(Nunes Mariz et al., 2013)	Las células de producción se emplean en actividades específicas de construcción.
(Nunes Mariz et al., 2013) y (De Bortoli Saggin et al., 2017)	El trabajo estandarizado se utiliza para mejorar la consistencia y eficiencia en obras.
(Dziuba & Almeder, 2023)	Lotes pequeños implementados en proyectos con características únicas.
(Lin et al., 2013 y Weflen et al., 2022)	Kanban se emplea para mejorar la gestión de materiales y logística en la construcción.
(Fabozzi et al., 2021)	Caja Heijunka utilizada para mantener un flujo constante en la producción de mortero.
(Binninger et al., 2017)	Gestión diaria implementada para mejorar la organización y eficiencia diaria.
(James et al., 2014)	Eventos Kaizen utilizados para impulsar mejoras continuas en procesos constructivos

Nota: En la tabla se presentan los principios y las prácticas Lean descritos por diversos autores, junto con una descripción de un ejemplo en el sector de la construcción.

Tabla 6.

Autores relevantes que mencionan la fusión de metodologías

(Blandín, 2023)	(Nguyen & Akhavian, 2019)	(Miettinen & Paavola, 2014)
<ul style="list-style-type: none"> • Optimizar el tiempo y reducir los costes mediante la construcción ajustada 	<ul style="list-style-type: none"> • Colaboración entre LC, IPD y BIM para lograr eficiencia y calidad en los proyectos de construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Integración de LC y BIM para crear recursos eficientes y mejorar la adopción de BIM.

Nota: La tabla describe el objetivo descriptivo de cada autor respecto de las dos metodologías: Lean Construction y BIM.

Tabla 7.

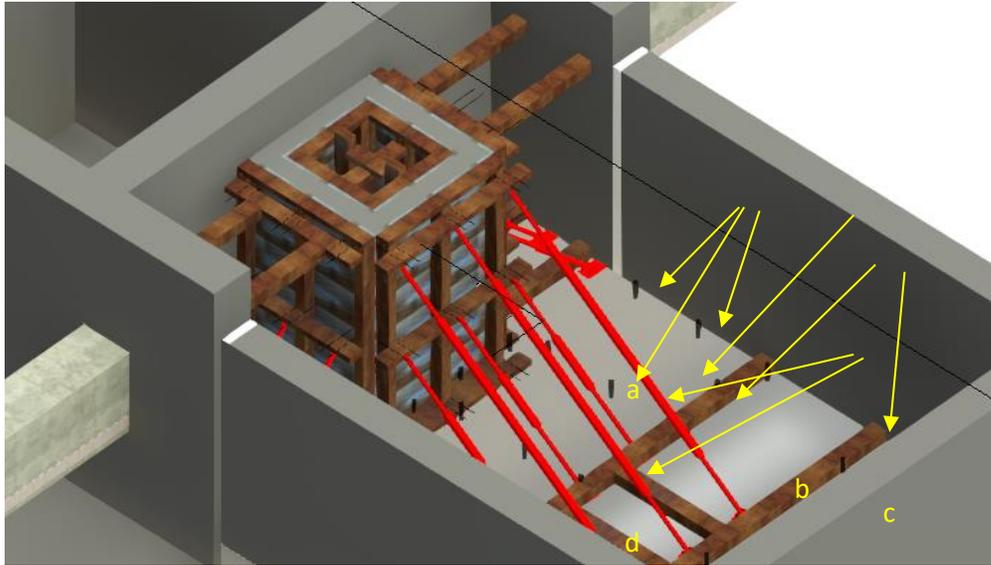
Referencias sobre las Funcionalidades y Aplicaciones de BIM en la Construcción

Referencia	Principales Funcionalidades y Aplicaciones BIM
Garcés & Peña (2023)	Integración de principios Lean y BIM para mejorar la productividad en la construcción.
Nunes et al. (2021)	Uso de principios Lean como base para eliminar desperdicios y mejorar la calidad en proyectos BIM.
De Almeida et al. (2020)	Herramientas digitales de BIM para gestión integral y colaborativa de proyectos de construcción.
Sánchez et al. (2017)	Optimización y coordinación efectiva mediante la combinación de Lean y BIM, reduciendo errores y mejorando la eficiencia constructiva.
Choi et al. (2024)	Visualización 3D integrando datos de escaneo láser en BIM con Dynamo y Python para inspecciones precisas y eficientes.
Sacks et al. (2018)	Modelado 4D que integra el aspecto temporal al 3D para simular el proceso constructivo y planificar paso a paso el avance del proyecto.
Dallasega et al. (2020)	Simulación del proceso constructivo con recursos temporales como grúas, integración con realidad virtual y aumentada para mejorar la eficiencia Lean.
Lu et al. (2016)	Modelado 5D (5D BIM) para automatizar el flujo de caja y análisis financiero en proyectos de construcción.
Yilmaz et al. (2023)	Visualización y evaluación integral de procesos en diseño, construcción y gestión de instalaciones mediante BIM.
Sampaio et al. (2023)	Integración disciplinas de construcción en proyectos colaborativos mediante BIM, mejorando la gestión y coordinación.

Nota: Las investigaciones muestran que BIM ha evolucionado desde funciones básicas de diseño 3D hasta aplicaciones avanzadas como el modelado 4D y 5D, simulaciones con

Figura 3.

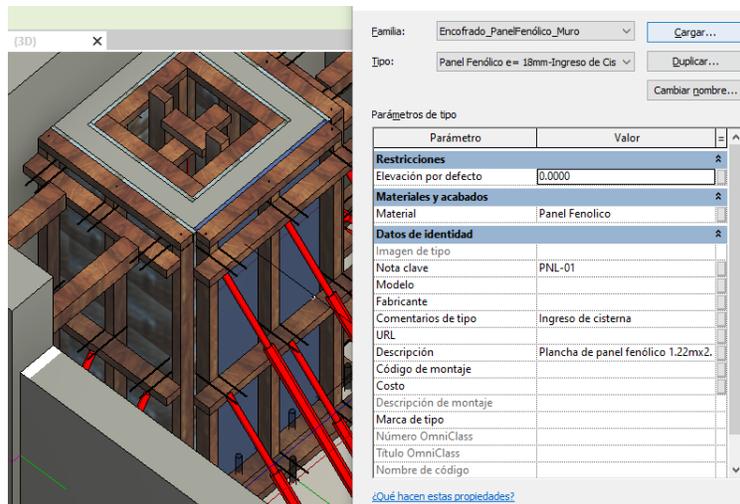
Interferencias que podrían ocurrir en obra, encontradas en el modelado BIM (a) Estacas de acero de 1' ancladas a la estructura (b) Aplomador (c) Muertos (d) Estructura de concreto endurecido.



Nota: Durante el proceso de modelado BIM se pueden identificar y visualizar posibles interferencias que podrían surgir durante la construcción del encofrado. Por ejemplo, cuando se trabaja sobre un elemento que ya ha pasado la fase de llenado de hormigón (d) como se muestra en la figura, es fundamental localizar los puntos donde se anclarán los puntales de acero desde el inicio de la etapa de fraguado (a). De esta forma será posible colocar los muertos (c) para soportar los puntales (b) que sustentan efectivamente la estructura del encofrado.

Figura 4.

Programación de parámetros del componente “Panel Fenólico”.



Nota: La imagen representa la información de los parámetros del tipo de componente: Panel Fenólico e=18mm-IngredodeCisterna, importante para su agrupación y posteriormente para la extracción de datos.

Lean Construction: Eliminación de actividades sin valor añadido

Tabla 8.

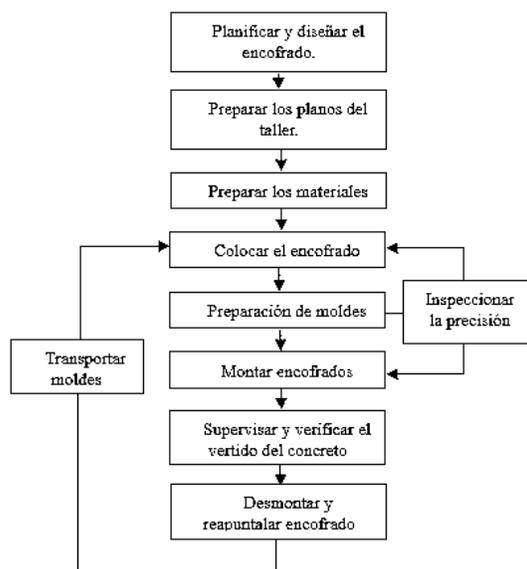
Referencias sobre Hallazgos Clave en la Implementación de Lean Construction en la Construcción

Referencia	Principales Hallazgos
Maraqa et al. (2023)	Adaptación de prácticas lean desde la manufactura a la construcción. Desarrollo de enfoques específicos.
Karatas & Budak (2023)	Objetivos del Lean Construction: reducción de desperdicios, mejora del flujo, adición de valor, mejora continua.
Ko & Kuo (2015)	Problemas en la construcción de encofrados: falta de plan integral, mala coordinación, múltiples residuos.
Schlachter et al. (2022)	Aumento de la productividad del encofrado mediante Lean Construction (37%). Mejora en la toma de decisiones.
Abebe Wondimu et al. (2016)	Importancia de la participación temprana de las partes interesadas para reducir desperdicios en la cadena de suministro.
Terzioglu et al. (2021)	Evaluación de sistemas de coordinación en la construcción de encofrados: beneficios del método VSM y participación temprana del diseñador.

Nota: Los hallazgos evidencian que la implementación de Lean Construction en proyectos de encofrados no solo optimiza la productividad y reduce desperdicios, sino que también mejora la coordinación y la toma de decisiones al integrar de manera temprana a los actores clave del proyecto.

Figura 5.

Flujo operativo del encofrado



Nota: Adaptado de *Mejora del uso de la ingeniería de encofrados* (p. 446), por Ko & Kuo, 2015, Journal of Civil Engineering and Management, 21(4).

BIM: Gestión de proyectos precisa y colaborativa

Según Fabozzi et al. (2021) BIM, o Building Information Modeling, representa una poderosa herramienta para la gestión precisa y colaborativa de proyectos en el campo de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC). De acuerdo a Haronian & Sacks (2020) esta tecnología digital permite una representación detallada de los procesos de construcción y facilita la colaboración entre todos los actores del proyecto.

Beneficios en tiempo, coste y calidad en el elemento de encofrado

Tabla 9.

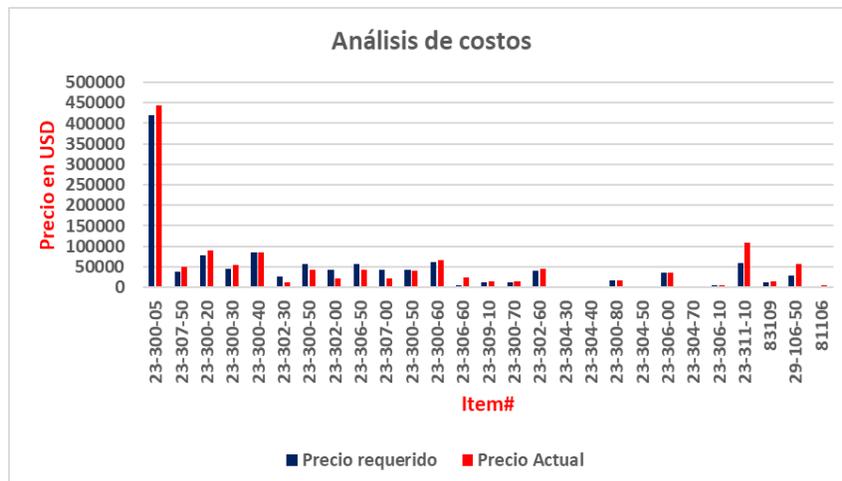
Referencias sobre el Contexto de Aplicación de Encofrados y BIM en la Construcción

Referencia	Contexto de la aplicación
(Ko et al., 2011)	Importancia económica del encofrado en la construcción de hormigón armado.
	Estudio de caso en el Centro de Terapia de Protones, utilizando BIM para mejorar la gestión de recursos de encofrados y comparar datos de modelado con la realidad.
(Mansuri, 2016)	Herramienta específica utilizada en el estudio para crear el modelo BIM del proyecto.
	Proceso de validación y análisis financiero basado en datos reales del proyecto y la lista de proveedores.

Nota: Estas referencias muestran que la aplicación de BIM en encofrados no solo contribuye a la gestión y control económico, sino que también facilita la validación de modelos y la comparación con información real del proyecto.

Figura 6.

Comparación del coste de los materiales de encofrado tal como era realmente frente al coste estimado



Nota: Esta investigación optimiza la gestión del encofrado en proyectos de hormigón, destacando su impacto en tiempo, costos y calidad. La herramienta validada sugiere un ahorro del 13% en costos de encofrado, reduciendo horas de trabajo y movimientos de grúa. Es versátil y aplicable, aunque los ahorros pueden variar según la complejidad del proyecto. Adaptado de *Optimization of Formwork Management Using Building Information Modeling (BIM) and Cascading Tool* (p. 72), por D. Mansuri, 2016, [Master's thesis, University of Cincinnati]. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=ucin1470743739

Promoción de prácticas sostenibles

Tabla 10.

Referencias sobre el Contexto de Aplicación de Prácticas Sostenibles en la Industria de la Construcción

Referencia	Contexto de la aplicación
Liebringshausen et al., 2023	Importancia de abordar la sostenibilidad en la construcción globalmente.
Duan & Li, 2016	Desafíos y enfoques hacia la sostenibilidad en la gestión de residuos de construcción.
Nilimaa et al., 2023	Compromiso con prácticas más ecológicas y su impacto en la industria de la construcción.
Li et al., 2022	Avances tecnológicos en encofrados y su aplicación en la industria de la construcción.
Valle et al., 2011	Beneficios ambientales de prácticas de reciclaje y reutilización en la construcción.

Nota: Estas referencias reflejan cómo la sostenibilidad en la construcción se aborda desde distintos frentes: gestión de residuos, innovación tecnológica, prácticas ecológicas y aprovechamiento de materiales reciclados.

Figura 7.

Lista de detalles de piezas a usar

<Tabla de detalle del Elemento Ingreso de cisterna>					
A	B	C	D	E	F
Tipo	Nota clave	Comentarios de tipo	Longitud total	Ancho	Largo
Alambre_Nº8_INGRESO DE CISTERNA					
Alambre_Nº8	ALMBR-08	Ingreso de cisterna	0.80		
Alambre_Nº8_INGRESO DE CISTERNA: 27					
APLOMADOR_INGRESO DE CISTERNA					
APLOMADOR	APLM-01	Ingreso de cisterna			
APLOMADOR_INGRESO DE CISTERNA: 12					
BARROTE 2"x3.5"- INGRESO DE CISTERNA					
BARROTE	BRRT-01	Ingreso de cisterna		0.09	<varia>
BARROTE 2"x3.5"- INGRESO DE CISTERNA: 21					
Barrote Vertical 4"-INGRESO DE CISTERNA					
Barrote Vertic	BRRT-4	Ingreso de cisterna			0.10
Barrote Vertical 4"-INGRESO DE CISTERNA: 12					
BASTIDOR 2"x3"- INGRESO DE CISTERNA					
BASTIDOR 2"	BAST-01	Ingreso de cisterna		0.08	<varia>
BASTIDOR 2"x3"- INGRESO DE CISTERNA: 6					
Bastidor 2"x3"-Ingreso de Cisterna					
Bastidor 2"x3"	BSTD-1	Ingreso de cisterna		0.05	1.75
Bastidor 2"x3"-Ingreso de Cisterna: 19					
Clavo de 1"-Ingreso de Cisterna					
Clavo de 1"-In	CLV-1	Ingreso de cisterna			
Clavo de 1"-Ingreso de Cisterna: 237					
Clavo de 3"-Ingreso de cisterna					
Clavo de 3"-In	CLV-3	Ingreso de cisterna			
Clavo de 3"-Ingreso de cisterna: 42					
Panel Fenólico e= 18mm-Ingreso de Cisterna					
Panel Fenólico	PNL-01	Ingreso de cisterna		<varia>	1.85
Panel Fenólico e= 18mm-Ingreso de Cisterna: 7					
Total general: 383					

Nota: La imagen presentada sintetiza la cuantificación y los detalles de las medidas de los elementos empleados en la gestión de encofrados mediante una herramienta BIM ubicado en las placas de ingreso de la cisterna de un proyecto Multifamiliar. Al realizar una planificación precisa de estos elementos, se logra una recopilación exacta de la lista de materiales necesarios, facilitando así la minimización de desperdicios derivados de una planificación deficiente. Este enfoque de obtención de datos mediante un modelado con información de cada elemento, resalta la importancia de la organización meticulosa en la fase inicial del proyecto, promoviendo una gestión eficiente de recursos y una ejecución más efectiva.

Tabla 11.

Evaluación de varios sistemas de encofrado

Tipo de encofrado	Coste laboral	Costo material	Velocidad de construcción	Geometría	Calidad de la superficie	Reciclaje y Reutilización de Encofrados
Encofrado de madera	Alto	Medio	Bajo	Se utiliza principalmente en configuraciones regulares (se necesitan disposiciones específicas para formas complejas)	Medio	Sí (restringido a configuraciones similares).

Encofrados Metálicos	Mediano (Rebajado porque es reutilizable)	Alto	Bajo	Principalmente para formas ortogonales.	Alto	Sí (restringido a configuraciones similares). Restringido (normalmente contaminado después de verter el hormigón). Sí (restringido a configuraciones similares).
Encofrado de tela	Medio (reducido al tejer)	Bajo	Alto	Adaptable (determinado por el sistema de soporte).	Alto	Sí (restringido a configuraciones similares).
Espuma de poliestireno fresada con CNC	Bajo	Medio	Medio	Ilimitado	Alto (Con revestimiento)	Sí (restringido a configuraciones similares).
plástico impreso en 3D	Bajo	Alto	Medio (limitado por escala)	Factible para formas no convencionales (con limitaciones en términos de escala).	Bajo (existe la posibilidad de dañar la superficie durante el decapado)	No
molde modular	Medio	Medio	Alto	formas regulares	Medio	No
encofrado de arena	Bajo (con impresión 3D)	Muy bajo	Acondicionad o por el método de fabricación.	Ilimitado	Alto (con agentes desmoldantes)	Sí
Encofrado de hielo	Bajo (con fresado CNC)	Muy bajo	Acondicionad o por el método de fabricación.	Ilimitado	Alto	Sí

Nota: La muestra una comparativa de los diferentes tipos de encofrados, especificando la reutilización de cada uno. Adaptado de *Una revisión de los sistemas de encofrado para la construcción moderna de hormigón* (p. 52), por Wei Li et al. 2022, Estructuras, 38.

DISCUSIÓN

La integración de Lean Construction y BIM en la industria de la construcción, particularmente en la fase de encofrado, evidencia mejoras sustanciales en la planificación y el control de procesos. Los hallazgos confirman la efectividad de los modelos dinámicos de planificación de encofrados (Tazikova et al., 2023) y resaltan la necesidad de un enfoque sistemático para optimizar la eficiencia y la gestión de recursos en proyectos constructivos (Tezel et al., 2020).

Al contrastar los resultados con estudios previos, se reafirma la sinergia entre Lean Construction y BIM en pequeñas y medianas empresas (Algan et al., 2020), lo que respalda la implementación de prácticas lean orientadas a reducir desperdicios y mejorar el flujo de trabajo en la ejecución de encofrados (Chien-Ho y Jiun-De, 2015). Asimismo, el uso del sistema Last Planner se presenta como una oportunidad de mejora, dado su impacto positivo en la disminución de variaciones y retrasos en la producción (Gao y Pheng Low, 2014; Choi et al., 2023).

En términos prácticos, la integración de Lean y BIM se ha consolidado como una estrategia eficaz para reducir desperdicios y optimizar procesos constructivos. Estudios demuestran que su aplicación conjunta

disminuye tiempos de diseño y ejecución, lo que mejora la eficiencia del proyecto (Eldeep, Farag, & Abd El-hafez, 2022). De manera complementaria, Likita, Jelodar, Vishnupriya y Rotimi (2025) proponen lineamientos prácticos que facilitan a los actores del sector la implementación de ambas metodologías de forma integrada.

No obstante, la aplicación de Lean-BIM enfrenta desafíos importantes. Entre ellos destacan la resistencia al cambio organizacional, la necesidad de capacitación técnica especializada y los altos costos iniciales de adopción tecnológica, factores que limitan su implementación en ciertas empresas y contextos. Además, en proyectos de menor escala, la falta de recursos y de infraestructura digital puede dificultar la integración efectiva de estas metodologías.

Este estudio también reconoce algunas limitaciones. Al tratarse de una revisión documental, los resultados dependen de la disponibilidad y calidad de los estudios publicados, lo que podría generar sesgos en el análisis. Asimismo, no se incluyeron estudios empíricos aplicados a todos los tipos de proyectos, lo que restringe la generalización de los hallazgos.

Finalmente, los resultados abren camino para futuras investigaciones, particularmente en torno a la integración de Lean-BIM con tecnologías emergentes como Digital Twin e IoT, que pueden potenciar la sostenibilidad y eficiencia de la construcción. De igual manera, los hallazgos ofrecen insumos relevantes para la toma de decisiones en la gestión de encofrados, fomentando prácticas sostenibles y la reducción de costos en proyectos de diferentes escalas.

CONCLUSIONES

La integración de Lean Construction y Building Information Modeling (BIM) en la fase de encofrados constituye una estrategia efectiva para optimizar la planificación, reducir desperdicios y mejorar la productividad en los proyectos de construcción. Los hallazgos confirman que el uso de principios Lean favorece la eliminación de actividades que no agregan valor, mientras que BIM aporta herramientas de visualización y modelado que permiten una gestión más precisa del inventario y los recursos.

Este estudio contribuye al sector al demostrar que la aplicación conjunta de Lean y BIM no solo incrementa la eficiencia en costos, tiempos y calidad, sino que también fortalece la capacidad de toma de decisiones informadas en la gestión de encofrados. Además, la investigación refuerza la importancia de vincular estas metodologías con prácticas de sostenibilidad, promoviendo la optimización del uso de materiales y la reducción del impacto ambiental.

Finalmente, los resultados tienen aplicabilidad en distintos contextos constructivos, desde proyectos de pequeña y mediana escala hasta obras de mayor complejidad, lo que resalta su potencial como lineamiento estratégico para el futuro de la industria de la construcción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abebe Wondimu, P., Hosseini, A., Lohne, J., Hailemichael, E., & Laedre, O. (2016). Early Contractor Involvement in Public Infrastructure Projects. *24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction - Boston, Massachusetts, USA - 2016*. <https://iglc.net/papers/Details/1282>
- Baskova, R., Tazikova, A., Strukova, Z., Kozlovska, M., & Cabala, J. (2023). A Dynamic Model for Effective and Optimal Planning of Formwork in Construction Projects. *Buildings* 2023, Vol. 13, Page 1794, 13(7), 1794. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS13071794>
- Binninger, M., Dlouhy, J., Schneider, J., & Haghsheno, S. (2017). How Can Lean Construction Improve the Daily Schedule of A Construction Manager? *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 245(6), 062019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/6/062019>
- Blandín, F. (2023). La metodología Lean Construction: una revisión sistemática a la bibliografía (2019-2023). *South Florida Journal of Development*, 4(6), 2413–2431. <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n6-016>
- Choi, M., Kim, S., & Kim, S. (2024). Semi-automated visualization method for visual inspection of buildings on BIM using 3D point cloud. *Journal of Building Engineering*, 81, 108017. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.108017>
- Dallasega, P., Revolti, A., Sauer, P. C., Schulze, F., & Rauch, E. (2020). BIM, Augmented and Virtual Reality empowering Lean Construction Management: a project simulation game. *Procedia Manufacturing*, 45, 49–54. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2020.04.059>
- De Almeida, F., Furtado, L. M., Neves, C. C., Gois, D., & de Melo, R. (2020). Previsão da geração de resíduos na construção civil por meio da modelagem BIM. *Ambiente Construído*, 20(4), 157–176. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212020000400465>
- De Bortoli Saggin, A., Mota, T. R., Brito, F. L., & Mourão, C. A. M. A. (2017). Standardized Work: Practical Examples in a Brazilian Construction Company. *IGLC 2017 - Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 713–720. <https://doi.org/10.24928/2017/0128>
- Duan, H., & Li, J. (2016a). Construction and demolition waste management: China's lessons. *Waste Management and Research*, 34(5), 397–398. <https://doi.org/10.1177/0734242X16647603>
- Dziuba, D., & Almeder, C. (2023). New construction heuristic for capacitated lot sizing problems. *European Journal of Operational Research*, 311(3), 906–920. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2023.06.002>
- Eldeep, A. M., Farag, M. A. M., & Abd El-hafez, L. M. (2022). Using BIM as a lean management tool in construction processes – A case study. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(2), 101556. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.07.009>

- Fabozzi, S., Biancardo, S. A., Veropalumbo, R., & Bilotta, E. (2021a). I-BIM based approach for geotechnical and numerical modelling of a conventional tunnel excavation. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 108, 103723. <https://doi.org/10.1016/J.TUST.2020.103723>
- Gao, S., & Low, S. P. (2014). The Last Planner System in China's construction industry — A SWOT analysis on implementation. *International Journal of Project Management*, 32(7), 1260–1272. <https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2014.01.002>
- Garcés, G., & Peña, C. (2023). A Review on Lean Construction for Construction Project Management. *Revista Ingeniería de Construcción*, 38(1), 43–60. <https://doi.org/10.7764/RIC.00051.21>
- Haronian, E., & Sacks, R. (2020). ROADELS: discrete information objects for production planning and control of road construction. *ITcon Vol. 25, Special Issue EWork and EBusiness in Architecture, Engineering and Construction 2018*, Pg. 254-271, [Http://Www.Itcon.Org/2020/15, 25\(15\), 254–271](Http://Www.Itcon.Org/2020/15,25(15),254-271). <https://doi.org/10.36680/J.ITCON.2020.015>
- Hoyos, M. F., & Botero, L. F. (2018). Evolución e impacto mundial del Last Planner System: una revisión de la literatura. *Ingeniería y Desarrollo*, 36(1), 187–214. <https://doi.org/10.14482/INDE.36.1.10946>
- James, J., Ikuma, L. H., Nahmens, I., & Aghazadeh, F. (2014). The impact of Kaizen on safety in modular home manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 70(1–4), 725–734. <https://doi.org/10.1007/S00170-013-5315-0/METRICS>
- Karaz, M., & Teixeira, J. C. (2023). Waste elimination based on Lean Construction and Building Information Modelling: A systematic literature review. *U.Porto Journal of Engineering*, 9(3), 72–90. https://doi.org/10.24840/2183-6493_009-003_001808
- Karatas, I., & Budak, A. (2023). Investigating the impact of lean-BIM synergy on labor productivity in the construction execution phase. *Journal of Engineering Research*, 11(4), 322–333. <https://doi.org/10.1016/J.JER.2023.10.021>
- Kemmer, S., Biotto, C., Chaves, F., Koskela, L., & Fazenda, P. T. (2016). Implementing Last Planner in the Context of Social *Housing Retrofit*. <https://www.researchgate.net/publication/305680969>
- Ko, C. H., & Kuo, J. De. (2015). Making formwork construction lean. *Journal of Civil Engineering and Management*, 21(4), 444–458. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.890655>
- Ko, C.-H., Wang, W.-C., & Kuo, J.-D. (2011). Improving Formwork Engineering Using the Toyota Way. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 1(1), 13–27. <https://www.researchgate.net/publication/260301829>
- Kumar, R., Chauhan, P. S., Kumar Dwivedi, R., Pratap Singh, A., & Prasad, J. (2022). Design and development of ball dispenser Machine through lean manufacturing tool Poka-Yoke technique in automobile industries. *Materials Today: Proceedings*, 62(P12), 6530–6533. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.04.335>

- Lee, E., Grooms, R., Mamidala, S., & Nagy, P. (2014). Six easy steps on how to create a lean sigma value stream map for a multidisciplinary clinical operation. *Journal of the American College of Radiology*, 11(12), 1144–1149. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2014.08.031>
- Li, W., Lin, X., Bao, D. W., & Min Xie, Y. (2022). A review of formwork systems for modern concrete construction. *Structures*, 38, 52–63. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2022.01.089>
- Liebringshausen, A., Eversmann, P., & Göbert, A. (2023a). Circular, zero waste formwork - Sustainable and reusable systems for complex concrete elements. *Journal of Building Engineering*, 80, 107696. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2023.107696>
- Likita, A. J., Jelodar, M. B., Vishnupriya, V., & Rotimi, J. O. B. (2025). A guideline for BIM and lean integrated construction practice. *Smart and Sustainable Built Environment*, 14(4), 1264–1291. <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2024-0098>
- Lin, C. J., Chen, F. F., & Chen, Y. M. (2013). Knowledge kanban system for virtual research and development. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(3), 119–134. <https://doi.org/10.1016/J.RCIM.2012.04.020>
- Lu, Q., Won, J., & Cheng, J. C. P. (2016). A financial decision making framework for construction projects based on 5D Building Information Modeling (BIM). *International Journal of Project Management*, 34(1), 3–21. <https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2015.09.004>
- Mansuri, D. N. (2016). Optimization of Formwork Management Using Building Information Modeling (BIM) and Cascading Tool [Master's thesis, University of Cincinnati]. *Centro de Tesis y Disertaciones* *Electrónicas* OhioLINK. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=ucin1470743739
- Maraqqa, M. J., Sacks, R., & Spatari, S. (2023). Strategies for reducing construction waste using lean principles. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 19, 200180. <https://doi.org/10.1016/J.RCRADV.2023.200180>
- Miettinen, R., & Paavola, S. (2014). Beyond the BIM utopia: Approaches to the development and implementation of building information modeling. *Automation in Construction*, 43, 84–91. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2014.03.009>
- Mizushima, Y., Inoue, H., Morikawa, S., & Taira, S. (2023). Optimization of formworks shoring location as a continuous optimization problem. *Structures*, 56, 104949. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2023.104949>
- Nguyen, P., & Akhavian, R. (2019). Synergistic Effect of Integrated Project Delivery, Lean Construction, and Building Information Modeling on Project Performance Measures: A Quantitative and Qualitative Analysis. *Advances in Civil Engineering*, 2019(1), 1267048. <https://doi.org/10.1155/2019/1267048>
- Nilimaa, J., Gamil, Y., & Zhaka, V. (2023). Formwork Engineering for Sustainable Concrete Construction. *CivilEng* 2023, Vol. 4, Pages 1098-1120, 4(4), 1098–1120. <https://doi.org/10.3390/CIVILENG4040060>

- Nunes Mariz, R., Picchi, F. A., Denis Granja, A., Sávio, R., & De Melo, S. (2013). Production Cells in Construction: Considering Time, Space and Information Linkages to Seek Broader Implementations. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 3(1), 46–55. <https://doi.org/10.32738/JEPPM.201301.0006>
- Nunes, R., Flavio, M., Picchi, A., & Nunes Mariz, R. (2021). Implementation of lean practices facilitated by BIM functionalities in the construction phase: advances and opportunities. *Ambiente Construído*, 21(4), 309–328. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212021000400571>
- Pronk, A., Brancart, S., & Sanders, F. (2022). Reusing Timber Formwork in Building Construction: Testing, Redesign, and Socio-Economic Reflection. *Urban Planning*, 7(2), 81–96. <https://doi.org/10.17645/UP.V7I2.5117>
- Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). Manual BIM: una guía para el BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. *BIM Handbook*. <https://doi.org/10.1002/9781119287568>
- Sampaio, A. Z., Fernandes, V., & Gomes, A. (2023). The use of BIM-based tools to improve collaborative building projects. *Procedia Computer Science*, 219, 2027–2034. <https://doi.org/10.1016/J.PROCS.2023.01.504>
- Sánchez, O., Galvis, J., Porras, H., Ardila, D., & Martínez, A. (2017). BrIM 5D models and Lean Construction for planning work activities in reinforced concrete bridges. *Revista Facultad de Ingeniería*, 26(46), 39–50. <https://doi.org/10.19053/01211129.V26.N46.2017.7314>
- Schlachter, A., Rasmussen, M. H., & Karlshøj, J. (2022). Using Linked Building Data for managing temporary construction items. *Automation in Construction*, 139, 104258. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2022.104258>
- Sepasgozar, S. M. E., Hui, F. K. P., Shirowzhan, S., Foroozanfar, M., Yang, L., & Aye, L. (2021). Lean Practices Using Building Information Modeling (BIM) and Digital Twinning for Sustainable Construction. *Sustainability*, 13(1), 161. <https://doi.org/10.3390/su13010161>
- Shrivastava, A., Chourasia, D., & Saxena, S. (2021). Planning of formwork materials. *Materials Today: Proceedings*, 47, 7060–7063. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2021.06.121>
- Su, Y., & Lucko, G. (2015). Comparison and Renaissance of Classic Line-of-balance and Linear Schedule Concepts for Construction Industry. *Procedia Engineering*, 123, 546–556. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2015.10.107>
- Terzioglu, T., Polat, G., & Turkoglu, H. (2021). Analysis of Industrial Formwork Systems Supply Chain Using Value Stream Mapping. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 12(1), 47–61. <https://doi.org/10.32738/JEPPM-2022-0005>
- Tezel, A., Taggart, M., Koskela, L., Tzortzopoulos, P., Hanahoe, J., & Kelly, M. (2020). Lean construction and BIM in small and medium-sized enterprises (SMEs) in construction: A systematic literature review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 47(2), 186–201. <https://doi.org/10.1139/CJCE-2018-0408>

- Valle, P. L., Baena-Extremera, A., & Granero-Gallegos, A. (2011). Buenas prácticas para un desarrollo sostenible en los eventos deportivos en el medio natural. *Interciencia*, 36(7), 531–537. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33919424009>
- Weflen, E., MacKenzie, C. A., & Rivero, I. V. (2022). An influence diagram approach to automating lead time estimation in Agile Kanban project management. *Expert Systems with Applications*, 187, 115866. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2021.115866>
- Yilmaz, G., Akcamete, A., & Demirors, O. (2023). BIM-CAREM: Assessing the BIM capabilities of design, construction and facilities management processes in the construction industry. *Computers in Industry*, 147, 103861. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2023.103861>