



Una revisión del impacto de la adopción de la metodología Lean Construction en los proyectos de construcción

A review of the impact of the adoption of Lean Construction methodology in construction projects

Sócrates P. Muñoz Pérez¹, Nelson M. Gómez Ormeño², Jorge R. Ticona Juárez³

Tipo de Artículo: Investigación revisión.

Recibido: 21/12/21 **Aprobado:** 23/09/22 **Publicado:** 18/12/2022

Resumen: Lean Construction es un sistema de métodos innovadores de gestión de procesos en la construcción, puesto que es una herramienta eficaz para optimizar los resultados del trabajo: el tiempo y el costo del trabajo se reducen al mejorar constantemente la eficacia del producto final. La finalidad de este documento es evaluar de manera sistemática la adopción de la metodología Lean Construction en proyectos de construcción. Se realizó un análisis cualitativo mediante el cual se revisaron 80 documentos indexados entre los años 2017 y 2021, distribuidos de la siguiente manera:

61 artículos son de Scopus, 17 de Science Direct y 2 de EBSCO. En conclusión, la metodología Lean Construction en proyectos de construcción muestra que es un enfoque sistémico que sirve para satisfacer las expectativas del cliente, maximizando el valor añadido y reduciendo todas las formas de desperdicio, así como también aporta mucho a las construcciones optimizando el proceso productivo a nivel estratégico y de gestión operativa.

Palabras clave: Metodología Lean, construcción, desperdicios, costos.

1 Doctor. Universidad Señor de Sipán. Perú, Lambayeque. msocrates@crece.uss.edu.pe, pedro_munoz19@hotmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>.

2 Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad Señor de Sipán. Perú, Lambayeque. gormenonelsonma@crece.uss.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-7343>.

3 Estudiante de Ingeniería Civil. Universidad Señor de Sipán. Perú, Lambayeque. tjuarezjorgerra@crece.uss.edu.pe. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7404-0791>

Abstract: Lean Construction is a method of innovating methods of process management in construction, as it is an effective tool for optimizing work results: labor time and labor cost are reduced by constantly increasing the efficiency of the end result. The goal of this document is to systematically evaluate the adoption of the Lean Methodology in projects of construction. A qualitative analysis was conducted whereby 80 indexed papers were reviewed between 2017 and 2021, distributed as follows: 61 articles are from Scopus, 17 from Science Direct and 2 from EBSCO. In conclusion, the Lean Construction methodology in construction projects shows that it is a systemic approach that serves to meet the expectations of the client, maximizing the added value and reduce all forms of waste, as well as brings much to the construction by optimizing the production process at the strategic level and operational management. This article identified the need to create and implement a garbage classification system, since twice as much garbage is being generated on the day and only 17 percent of it will be recovered, according to research carried out within the facilities. from the technology of Antioquia, a survey was used that identifies how people recycle, recycle or consume and if they would like the implementation of a machine that helps them separate garbage, applying a quantitative methodology for the analysis and planning of technology using artificial intelligence within the institution.

Keywords: Lean methodology, construction, waste, costs.

I. Introducción

El concepto *Lean* ha dado como resultado mejoras significativas y duraderas en la productividad, la calidad, una mejor gestión de residuos y otras métricas de rendimiento. Tiene procedencia en Toyota Production System (TPS) y ha sido reconocido por líderes industriales y comerciales de todo el mundo [1]. Como resultado, la industria de la construcción (IC) fue una de las primeras en iniciar el pensamiento y la ingeniería Lean. El principio Lean (PL) es un método complejo a largo plazo para aplicar y pagar recompensas. La IC se ha enfrentado a muchas complejidades y

desafíos comunes en la implementación del PL, al igual que otras industrias de fabricación durante la última década [2].

Desde 1990, debido al éxito del pensamiento en la fabricación, se han realizado esfuerzos notables para aplicar Lean Construction en la IC. A pesar de la falta de documentación en algunos casos, algunos investigadores describieron los resultados de la implementación de LC como "revolucionarios" [3]. Estos resultados incluyen ahorro de costos, productividad, calidad, tasa de seguridad y accidentes, sustentabilidad, entorno de trabajo colaborativo y relaciones entre socios, gestión del inventario, organización del sitio, programación y previsibilidad del trabajo, satisfacción laboral y satisfacción del cliente [4].

La implementación de LC fue notable en varias áreas alrededor del mundo, donde se ha comprendido bien su papel para gestionar mejor los proyectos de construcción (PC), gestión que, a su vez, optimiza los resultados y las prácticas en la IC [5]. El sector de la construcción (SC) es de suma importancia en el desarrollo del país porque satisface las necesidades de infraestructura para las actividades económicas, sociales y de desarrollo [6].

Sin embargo, en los sistemas de construcción tradicional, la falta de planificación da lugar a pérdidas tanto económicas como de tiempo. Su bajo rendimiento hace que surja la posibilidad de aplicar la metodología LC, ya que esta contempla los requisitos futuros de la industria y pretende también lograr una mayor eficiencia [7].

LC es una de las estrategias de la ingeniería para resolver los problemas de planificaciones organizacionales. Uno de los aspectos esenciales para estudiar esta metodología es la gestión de actividades realizadas en el sector civil, lo que se denomina último planificador en la construcción Lean [8].

La mayoría de los PC se caracteriza por el incumplimiento del tiempo, la falta de calidad, el costo y una alta tasa de accidentes. Es por ello que LC es una nueva filosofía capaz de ofrecer mejoras innovadoras en el SC, es decir, es un enfoque

sistemático para satisfacer las expectativas del cliente maximizando el valor agregado y minimizando todas las formas de desperdicio [9].

Los PC suelen sufrir retrasos y otras incertidumbres relacionadas con el tiempo; implican varios factores de riesgo que afectan a los objetivos de tiempo y pueden llevar a un exceso de tiempo. Los retrasos suelen desencadenarse debido a la escasa comunicación, la falta de claridad de los requisitos del proyecto y los malentendidos habituales en el SC [10].

El sistema de producción Lean es un enfoque de colaboración de varios parámetros hacia la maximización de los beneficios o la producción con el mínimo desperdicio. Por lo tanto, LC es un tipo de innovación en la IC, ya que su enfoque es diferente del convencional. Cada vez que se produce un cambio en una determinada disposición, se produce un retroceso en su uso como innovación [11].

Los despilfarros en los PC, tales como los desperdicios en materiales, tiempo, recursos y en la consecución de las necesidades del cliente, pueden minimizarse utilizando la nueva filosofía LC, demostrando que el efecto Lean guarda una correlación positiva con los distintos niveles de residuos [12].

El entorno físico en el que operan los PC para los clientes se traduce a la fabricación ajustada, dado que proporciona una visión de transformación, procesos y valores que respaldan un flujo de trabajo claro, lo que mejora el logro de los objetivos propios. Asimismo, las experiencias sobre los PC contribuyen a la construcción de literatura sobre gestión y LC sobre valor social [13].

LC es uno de los métodos utilizados para restablecer el control de los PC, eliminando la pérdida de tiempo y materiales. En los últimos años, el Lean está recibiendo más atención por parte de la industria de la construcción, y para beneficiarse de ello, los pioneros del sector de la construcción intentan aplicarlo en sus proyectos. Aunque todavía no está muy extendido el uso de Lean, los casos de estudio en los que

se implementó muestran la importancia de implementar Lean en un PC [14].

A pesar de que la filosofía Lean es un fenómeno emergente en la gestión de proyectos productivos, la reducción de residuos y la mejora de la sostenibilidad, la industria de la construcción sigue esforzándose por lograr estos beneficios, dado que no existe conciencia de prácticas adecuadas para lograrlo. Las empresas que implementan procesos Lean, pero no logran el éxito inicial de inmediato, probablemente la abandonen en el futuro debido a los problemas que enfrentan [15].

La calidad de la entrega de un proyecto (CEP) es un objetivo potencial del equipo de construcción, ya que trabaja para mejorar esta calidad a través de las etapas del proyecto, tanto del diseño como de la construcción [16]. Por ende, es de vital importancia tener conocimiento de los factores que afectan la calidad de la entrega de un proyecto, pues algunos estudios anteriores descubrieron que los métodos de entrega diseño-construcción (DC) y diseño-licitación-construcción (DLC) afectan notablemente la CEP tanto en el tiempo como en la comunicación y los planos [17].

Las formas de fomentar la adopción de técnicas prefabricadas y de fabricación *in situ* (FFO), como la construcción modular, mejoran la eficiencia en el sitio, haciendo que la tecnología sea más atractiva para los no usuarios [18]. Los principios Lean (PL) se han aplicado ampliamente para mejorar la productividad de la construcción, mientras que el uso Lean aumenta, ayudando a analizar cuantitativamente los beneficios y problemas de Lean antes de la implementación real [4].

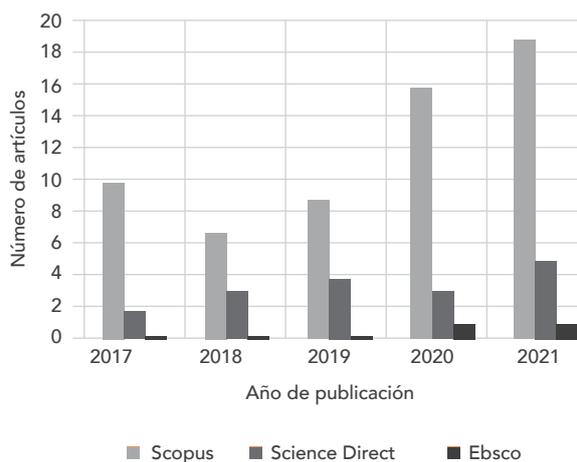
Las aplicaciones Lean tienen como objetivo maximizar la satisfacción del cliente y minimizar los residuos. Sin embargo, la filosofía Lean todavía no se entiende bien en la IC, debido a la naturaleza compleja y dinámica de la PL. Aunque los esfuerzos Lean en la construcción han ganado popularidad recientemente, todavía existen problemas en el proceso de implementación. Por lo tanto, es fundamental identificar los factores Lean críticos para liderar proyectos de manera más eficiente [19].

La presente revisión, en el contexto de la cuestión planteada, tiene como objetivo evaluar la información sobre el impacto de la construcción ajustada en los proyectos de construcción.

II. Materiales y métodos

Para esta revisión se recopilieron artículos de bases de datos como Scopus y Science Direct referentes al tema. En la Figura 1 se observa la distribución en cantidad de investigaciones extraídas por bases de datos y años de búsqueda. El procedimiento que se siguió consiste en la búsqueda de investigaciones por medio de palabras clave usando operadores booleanos, como: impact AND Lean construction AND construction projects y Lean construction AND construction projects; además, se filtró por años de búsqueda (desde el 2017 al 2021), tipo de documento y área de alcance para fines específicos de estudio, tal como se ve en la Tabla 1. Finalmente, se logró recuperar 80 investigaciones científicas.

Figura 1. Distribución por años de búsqueda.



Fuente: Elaboración propia (2021)

Tabla 1. Categoría de búsqueda por palabras clave.

Base de datos	Palabra clave usando operadores booleanos	Años de búsqueda	Resultados de búsqueda	Filtros de áreas temáticas		Resultados de filtros	Artículos seleccionados
				Área	Tipo de documento		
Scopus	impact AND Lean construction AND construction projects	2017-2021	377	Engineering	Article/Review	69	36
	Lean construction AND construction projects	2017-2021	2.087	Engineering		262	25
Science Direct	Lean construction AND construction projects	2017-2021	15.439	Engineering		1.494	7
	impact AND Lean construction AND construction projects	2017-2021	10.689	Engineering	Research articles/ Review article	1.101	10
Ebsco	impact AND Lean construction AND construction projects	2017-2021	101	Engineering	Publicaciones académicas/ Publicaciones profesionales/ Revistas	50	2

Fuente: Elaboración propia (2021)

III. Lean Construction: origen y principios

El éxito pionero del concepto de Lean Production (LP) de Toyota Production System (TPS) ha inspirado a otras industrias, incluida la IC, a adoptar el concepto Lean, el cual ha mejorado el desempeño de la organización en la industria automotriz. El término LC fue adoptado por la International Lean Construction Corporation (GILC) en su primera reunión en 1993 [7].

Hay muchos investigadores que intentan introducir principios Lean en la IC con esperanzas positivas. Entre ellos, Yücenur y Şenol [20] son los más destacados y disertaron sobre la aplicabilidad de "la nueva filosofía de producción" en 1992, obteniendo una gran atención positiva. Además, la teoría se elaboró con el nombre de teoría de la producción de transformación-flujo-valor (TFV) en la construcción [21].

Los principios fundamentales de la teoría TFV ayudan a realizar la producción de manera eficiente al aumentar el valor de los productos y reducir el desperdicio. La teoría también se ocupa de los problemas asociados con la seguridad, el horario y los costos [22]. Se refiere a la definición de la LC como una forma de concebir un sistema de producción con el objetivo de minimizar el desperdicio de material y optimizar el tiempo y el esfuerzo para generar el máximo valor añadido. A partir de esta definición de LC, queda claro que la teoría TFV tiene el mismo propósito que la manufactura esbelta de Lean y ambos principios minimizan el desperdicio y maximizan la productividad con un mayor valor del producto [23].

LP se enfoca en eliminar o reducir actividades sin valor agregado y promover actividades de valor agregado, como la teoría de producción TFV. Otro hito importante en el LC fue el trabajo que hicieron Ballard y Howell sobre el cambio en el proceso de construcción. Su concepto ha llevado a una herramienta de planificación de procesos de construcción basada en Lean, el último sistema de planificación (LPS) [24].

Otros estudios importantes sobre la conversión de LP a LC incluyen 5S (nivelar, enderezar, brillar, estandarizar y mantener) para mejorar la imagen del sitio y desarrollar un sistema de seguridad de calidad para garantizar un cumplimiento de calidad más temprano, así como mejorar la gestión de inventario en el sitio y adoptar PDCA para una revisión más precisa del proceso. LC ha cambiado el concepto de LP en el contexto de maximizar el valor de producción y minimizar el desperdicio de producción durante la construcción [25].

Para cambiar la cultura de cualquier organización, deben emplearse herramientas y técnicas únicas; el mejor PL es utilizar un sistema de gestión de producción eficaz [26]. Este concepto maximiza el valor del producto para el cliente al eliminar el desperdicio y garantizar la perfección de la construcción del producto. LC también contribuye al desarrollo sostenible en la construcción de manera respetuosa con el medio ambiente, a la vez que tiene un impacto significativo en mejorar el progreso de la construcción y el desempeño del proyecto: mejora la productividad del trabajo, permite coordinar y comunicarse de manera eficaz y reduce errores y retrabajos [27].

El resultado más positivo al aplicar PL en PC es garantizar una entrega rápida de los proyectos de construcción a los clientes. La adopción de PL ha acelerado la innovación en PC como nunca antes [28]. LC cambia la cultura de la construcción al implementar proyectos de una manera más sistemática y eficiente. Esto anima a los profesionales a adoptar prácticas PL en la industria de la construcción (IC) para cambiar el proceso habitual de entrega de proyectos de las organizaciones [29]. Los profesionales de la construcción británicos informaron que LC, especialmente cuando se integra con la construcción sostenible, ayuda a las organizaciones de la construcción a mejorar su imagen corporativa, su ventaja competitiva, su productividad y el cumplimiento efectivo de las expectativas del cliente [30].

Demirkesen [31] resumió el pensamiento Lean en los 11 principios que se analizan a continuación:

(1) Reducir la proporción de actividades sin valor agregado [32], definidas estas como cosas que requieren tiempo, recursos y espacio.

(2) Aumentar el valor de la producción mediante la revisión sistemática de los requisitos del cliente. Cumplir con los requisitos del cliente crea valor para cada proyecto, pero, en muchos casos, estos requisitos nunca se definen o aclaran.

(3) Reducir el cambio. Singh y Kumar [33] identificaron dos razones para reducir la variabilidad del proceso. Primero, el cambio aumenta la cantidad de actividades que no agregan valor. En segundo lugar, un producto es consistente para el cliente de acuerdo con la forma en que lo visualiza.

(4) Reducir el tiempo del ciclo. Varias formas de reducir los tiempos de ciclo incluyen la implementación de los principios de Just-in Time para eliminar el inventario y descentralizar la jerarquía organizativa.

(5) Simplificar minimizando el número de pasos, piezas y enlaces. Singh y Kumar [33] sugieren que reducir el número de pasos en un flujo de material o información y el número de componentes en un producto puede simplificar el proceso de construcción.

(6) Mayor flexibilidad de salida. Bajjou y Chafi [34] señalan que el uso de diseños de productos modulares, la reducción de la dificultad de configuración y cambio y la capacitación de una fuerza laboral versátil ayudan a aumentar la flexibilidad de producción.

(7) Incrementar la transparencia del proceso. La finalidad es que el proceso de construcción sea transparente y observable, esto es, facilitar el seguimiento y la mejora para todos los empleados.

(8) Control centralizado de todo el proceso. Se propone que, al permitir que los equipos autogestionados ejerzan el control sobre el proceso y establezcan asociaciones a largo plazo con los proveedores, puede optimizarse todo el flujo de trabajo [35].

(9) Integrar un mejor beneficio en el proceso. Esforzarse por incorporar esta metodología en el proceso de construcción es reducir el desperdicio y realizar actividades continuas de valor agregado.

(10) Equilibrar la mejora del flujo con la mejora de la conversión. La relación entre la mejora del flujo y la conversión está dada en que un mejor flujo requiere menos inversión en equipo y más control para implementar fácilmente la tecnología de conversión.

(11) Punto de referencia [36]. La evaluación comparativa incluye comprender las debilidades de la organización, fortalezas, amenazas y oportunidades, reunirse con los líderes de la industria y sus mejores prácticas, integrar las mejores prácticas en la organización y crecer combinando las fortalezas existentes con las mejores prácticas externas [37].

La filosofía detrás de la fabricación ajustada es reducir el desperdicio en las empresas de fabricación. Enshassi, Saleh y Mohamed [38] sospechan que se utilizó algún elemento LP. Flujo, como se describe en [39], hace referencia a las operaciones de producción entre conversiones que existen en todos los sistemas de producción. Conceptualice el proceso de PC como un flujo de información específico y controle el flujo de material en el lugar para reducir la incertidumbre del proyecto a lo largo del tiempo. Para facilitar el flujo del proceso de construcción es importante que el director del proyecto se asegure de que el equipo facilite por completo el flujo de comunicación y garantice la coordinación del proyecto [40].

Elsayegh y El-adaway [41] han sugerido que los intentos de mejorar la eficiencia y reducir los conflictos requieren la asociación entre proveedores y contratistas. Para los contratistas, mantener relaciones a largo plazo con los proveedores, como los subcontratistas de mano de obra y materiales, proporciona cierto grado de control sobre sus cadenas de suministro. Esto ayuda a lograr la estandarización e intercambiabilidad de diseños necesarias si se va a ensamblar una amplia gama de diferentes componentes en una disposición de diferentes permutaciones para satisfacer las demandas de los clientes.

IV. Lean Construction: beneficios

Los sobrecostos y los retrasos en el cronograma de los proyectos de construcción son sus problemas inherentes y comunes. Además, la industria de la construcción sufre mucho por la mala calidad, la mala seguridad en la construcción y los efectos adversos sobre el medio ambiente. Muchos investigadores han obtenido beneficios notables al implementar LC en los proyectos de construcción. Ahmed, Hossain y Haq [42] evaluaron la implementación de algunas técnicas de LC (LPS, estudios de primera ejecución, 5s y a prueba de fallas para la calidad, reuniones de grupo) en un proyecto de estacionamiento y los beneficios fueron apreciables: el proyecto se completó 3 semanas antes de lo previsto con el presupuesto predefinido que contenía un nivel máximo de calidad.

Muñoz-La Rivera *et al.* [43] exploraron los beneficios de la implementación de LC en la IC marroquí y los beneficios fueron menor costo de construcción y entrega más rápida del proyecto, mejorando la calidad, la seguridad y el desempeño ambiental y reduciendo la duración del período. Babalola, Ibe y Ezema [44] demostraron que el concepto esbelto es un gran apoyo para la “construcción limpia” y el uso de materiales contaminados y los impactos ambientales de los PC son mejores que en cualquier otro momento mediante la aplicación del concepto esbelto [45]. En India, LC ya ha reducido significativamente los impactos negativos y mejorado la sostenibilidad para el medio ambiente.

Small, Al Hamouri y Al Hamouri [46] informaron que los constructores de viviendas que utilizan técnicas de LC habían reducido en un 58% las tasas de accidentes con respecto a los que no tenían LC activo, lo que respalda el dicho de que la implementación de LC mejora la seguridad de la construcción. LC permite una colaboración eficaz con tecnologías avanzadas y aporta beneficios apreciables de cronograma, calidad, seguridad y productividad en los proyectos de construcción [18].

Muchos investigadores han demostrado que la adaptación de LC es muy beneficiosa en términos monetarios y no monetarios para los participantes del proyecto. Patrone *et al.* [47] revelaron que LC tiene efectos positivos en la sostenibilidad de la construcción. El uso de LC en el proyecto ha traído beneficios sociales, económicos y ambientales al reducir los desechos, los peligros para la seguridad y el prolongado período de construcción. Heigermoser *et al.* [48] afirmaron que las herramientas de LC, como los métodos 5S y el sistema Last Planner, aumentaron significativamente la gestión de la seguridad en los sitios de construcción. Por ello, es necesario conocer los beneficios que aporta la metodología LC, los cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Beneficios de Lean.

Referencia	Beneficios
[49]	Reducir el costo de construcción
	Incrementar la seguridad en la construcción
	Mejorar la calidad de construcción
[50]	Reducir la duración total del proyecto
	Reducir los impactos ambientales del proyecto
	Mejorar la idea de desarrollo sostenible del proyecto
	Favorecer la satisfacción del cliente y la productividad

Fuente: Elaboración propia (2021)

V. Barreras de la implementación de Lean Construction

Se ha realizado un número considerable de estudios en muchos países sobre los desafíos de la implementación de LC en la IC. Los países desarrollados, en desarrollo y subdesarrollados están en la lista de todo el mundo. El primer estudio [51], realizado en el SC del Reino Unido, descubrió que los desafíos clave son presión comercial y de tiempo, en orden descendente de gravedad.

Otros dos estudios [52], [53] en el Reino Unido descubrieron que los problemas relacionados con la actitud humana, con el Gobierno, con la educación y con las finanzas son los responsables de la implementación deficiente de LC.

Estos estudios determinaron que el cambio de la cultura laboral de los empleados, el costo de la implementación, la falta de conocimiento Lean, el tiempo de implementación prolongado y la complejidad son factores clave de alto rango al calcular la frecuencia. Un estudio [54] reveló los mismos tipos de desafíos del empleo de LC en la IC del Reino Unido.

En Alemania se realizó un estudio [55] para identificar los desafíos al emplear LC y se encontró que los factores de aversión a la implementación son las cuestiones de gestión y organizativas y el desarrollo tecnológico del país. Finalmente, en [56] se recomienda a las autoridades que investiguen y aborden los hallazgos, ya que LC se ha implementado con éxito y beneficia a otros países desarrollados como Estados Unidos, Japón y Australia [57].

Dos estudios [58], [59] revelaron las barreras de PL en la IC de Singapur. La falta de voluntad para adoptar nuevos sistemas, así como para proporcionar formación y recursos, son los factores importantes que se consideran como barreras. Sin duda, está claro que las barreras para implementar los PL en las IC de los países en desarrollo comenzaron mucho más tarde y fueron mayores que las de los países desarrollados.

[60] se trabajó en los Emiratos Árabes Unidos y reveló que la naturaleza cíclica de IC, la falta de comprensión, el diseño complicado e incompleto y la mala comunicación entre las partes interesadas fueron las barreras clave para implementar LC en este país, en orden descendente de gravedad.

[61] también reveló que los encuestados destacaron la importancia de una comunicación adecuada entre todos los grupos de interés y el papel fundamental de la dirección en la formación y educación de sus empleados sobre los conceptos de CL.

En el continente africano, Uganda ha mostrado preocupación por LC y las barreras para una implementación efectiva. [62] analizó y reveló que los factores relacionados con la gestión, la organización y el diseño son barreras clave en este país. La falta de habilidades de gestión, el transporte y la comunicación deficientes, la falta de trabajo en equipo, el diseño constructivo y la gestión eficaz del inventario son factores cruciales que crean obstáculos para la implementación de LC.

Los desafíos para la implementación de PL en la IC de Ghana y Libia no son distintos de los de otros países desarrollados y en desarrollo mencionados anteriormente. [63] determinó nueve barreras en Libia y 33 en Ghana para implementar LC en la industria de la construcción. El conocimiento y las habilidades inadecuados, la falta de cultura organizacional que respalde el trabajo en equipo, la incapacidad para medir el desempeño y el progreso del equipo y la falta de cultura grupal, visión compartida y consenso son importantes entre las nueve barreras en Libia. En cuanto a Ghana, destacan la demora en la toma de decisiones, el desperdicio aceptado como inevitable, la inconsistencia en las políticas gubernamentales y la falta de habilidades técnicas y de gestión.

Se reveló que factores administrativos, organizativos y técnicos fueron condenados por la mala implementación de LC por parte de profesionales de la IC de KSA. La influencia de la práctica de gestión tradicional, la cultura organizacional desfavorable, la falta de habilidades técnicas, la capacitación y comprensión de las técnicas esbeltas y la falta de conocimiento de los enfoques de construcción ajustada son las cuatro barreras de rango superior, en orden descendente, identificadas en la industria de la construcción de KSA [64].

En el norte de África, la industria de la construcción marroquí tiene un impacto negativo en el medio ambiente, ya que genera una cantidad considerable de residuos sólidos durante los procesos de construcción. Para superar estos problemas, se han introducido los PL en la IC en Marruecos, pero aún están en su etapa de infancia [65].

Por lo tanto, [66] realizó una investigación para identificar, priorizar y analizar los desafíos para implementar LC en la industria de la construcción marroquí. El estudio identificó y analizó nueve factores que afectaron negativamente la implementación. La falta de conocimiento sobre LC, los recursos humanos no calificados y la financiación insuficiente son las barreras más importantes para implementar LC en Marruecos. De manera similar, los desafíos para implementar LC en India, Nigeria y Vietnam son idénticos a los desafíos de países subdesarrollados como Uganda, Libia y Ghana. La IC más grande del mundo, la de China, también ha experimentado varios desafíos durante la implementación de LC.

En [67] se ha trabajado en el tema de las barreras para implementar Lean en China. Este estudio identificó seis factores subyacentes que obstaculizan la implementación de prácticas Lean en la industria de la construcción china; a saber: problemas de personas y socios, problemas de gestión y organización, problemas de falta de apoyo, problemas de cultura y filosofía, problemas gubernamentales y problemas de adquisiciones [68].

VI. Herramientas de Lean Construction

La productividad para administrar los recursos permite culminar los proyectos en el tiempo establecido y con la calidad planeada [69].

Además, la productividad puede interpretarse como la relación existente entre los resultados obtenidos de la producción y los recursos utilizados para tal fin. Se concluye que, al aumentar la productividad, también se incrementa el rendimiento en el uso de los recursos. Un trabajo productivo muestra que las actividades realizadas favorecen de forma directa a la producción, por ejemplo: excavación, encofrado, colocación de instalaciones, entre otras [70].

Trabajo contributivo es aquel trabajo requerido para ejecutar un trabajo productivo, pero no tiene valor en la unidad de construcción, por lo cual es reducido al máximo para obtener un mayor nivel de productividad. Ejemplos de este tipo de trabajo son dar pautas y leer planos, entre otros [71].

El trabajo no contributivo se traduce a las actividades realizadas que no aportan al proceso y que generan pérdidas. Siendo consideradas innecesarias, que tienen costo y no agregan valor; por ende, se deben remover para mejorar el proceso productivo. Ejemplos de estas actividades son esperar, tomar un descanso y rehacer el trabajo entre otras [72].

Definimos la variabilidad para un proyecto como el conjunto de eventos distintos a los esperados debido a influencias internas y externas, que está en todos los proyectos y aumenta con su dificultad, ubicación, escala y velocidad [73]. Son eventos aleatorios y no pueden eliminarse o predecirse por completo; es decir, es posible predecir que ocurrirán eventos imprevistos, pero no sabemos de qué tipo o cuándo; incluso, si es el caso, deben contabilizarse como un fracaso. En algunos escenarios la variabilidad puede aumentar considerablemente el impacto negativo en el proyecto [74].

Para el caso particular de los proyectos de construcción, la variabilidad es un gran problema debido a la cantidad de actividades que tiene lugar durante todo el proceso de construcción [75]. Sabemos que la confianza de la actividad predecesora es del 95%, lo que genera un buen nivel de confianza en el caso de un proceso, pero con muchas operaciones predecesoras, el porcentaje de confianza cae significativamente a un valor del 8% para 50 operaciones predecesoras [76], [77].

VII. Conclusiones

Lean Construction en el sector de la construcción ha mostrado buenos resultados en la optimización y productividad de procesos. Por tanto, se anima a las empresas de esta economía local a que empiecen a implementarlo. En la etapa conceptual de un proyecto de ingeniería civil, es necesario incorporar mecanismos que mejoren la eficiencia operativa por medio del uso de herramientas de seguimiento y control que brinden información actualizada y veraz sobre el desempeño de los componentes de diversas actividades.

Lean Construction propone una metodología mejor para administrar los proyectos, de manera que cambie el paradigma actual de la construcción y cumpla así las programaciones con sus partidas en los tiempos establecidos, dándonos a conocer los excelentes resultados que se obtienen. Se concluye que Lean Construction aporta muchos beneficios a las obras de construcción civil, las cuales son una gran fuente de desarrollo económico para el país, así como que esta metodología puede trabajar en conjunto con otros nuevos modelos, como el BIM, Las Planner System, Lean Project Delivery System, Integrated Project Delivery y Six Sigma.

VIII. Referencias

- [1] W. Al Balkhy, R. Sweis y Z. Lafhaj, "Barriers to Adopting Lean Construction in the Construction Industry—The Case of Jordan", *Buildings*, vol. 11, no. 6, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/buildings11060222>
- [2] F. Mellado y E. C. W. Lou, "Building information modelling, lean and sustainability: An integration framework to promote performance improvements in the construction industry", *Sustainable Cities and Society*, vol. 61, octubre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102355>
- [3] G. A. Araque González, D. A. García Arango, E. D. Aguirre Mesa, C. F. Henao Villa, C. A. Echeverry Gutiérrez y S. Sidek, "The Planning in Lean Construction Methodology at Colombian Civil Sector", *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 1S5, pp. 173-178, junio de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://www.ijrte.org/download/volume-8-issue-1s5/>
- [4] M. S. Bajjou, A. Chafi, A. Ennadi y M. El Hammoumi, "The Practical Relationships between Lean Construction Tools and Sustainable Development: A literature review", *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 10, no. 4, pp. 170-177, 2017 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.25103/jestr.104.20>
- [5] C. S. Kumar, C. B. Kapuganti, S. Eswara Rao, T. Santhosh Kumar y B. Ramesh, "Application of Last Planner System as Lean Construction Technique", *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, vol. 8, no. 9, pp. 6035-6041, septiembre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/184892020>
- [6] S. Singh y K. Kumar, "Review of literature of lean construction and lean tools using systematic literature review technique (2008-2018)", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 11, no. 2, pp. 465-471, junio de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2019.08.012>
- [7] U. H. Issa y M. Alqurashi, "A model for evaluating causes of wastes and lean implementation in construction projects", *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 26, no. 4, pp. 331-342, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3846/jcem.2020.12323>
- [8] E. I. Daniel y C. Pasquire, "Creating social value within the delivery of construction projects: the role of lean approach", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 26, no. 6, pp. 1105-1128, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-06-2017-0096>
- [9] M. Darabseh, "Lean Applications in Construction: Review Article", *U.Porto Journal of Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 29-37, 2019 [En línea]. Disponible en: https://doi.org/10.24840/2183-6493_005.002_0004
- [10] P. V. Ramani y L. K. L. KSD, "Application of lean in construction using value stream mapping", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 28, no. 1, pp. 216-228, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2018-0572>
- [11] M. Aslam, Z. Gao y G. Smith, "Exploring factors for implementing lean construction for rapid initial successes in construction", *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, diciembre de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123295>

- [12] I. M. Katar, "Enhancing the Project Delivery Quality; Lean Construction Concepts of Design-Build & Design-Bid-Build Methods", *International Journal of Management*, vol. 10, no. 6, pp. 324-337, 2019 [En línea]. Disponible en: https://iaeme.com/Home/article_id/IJM_10_06_031
- [13] M. Goh y Y. M. Goh, "Lean production theory-based simulation of modular construction processes", *Automation in Construction*, vol. 101, pp. 227-244, mayo de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.017>
- [14] S. Demirkesen y H. G. Bayhan, "Critical Success Factors of Lean Implementation in the Construction Industry", *IEEE Transactions on Engineering Management*, vol. 69, no. 6, pp. 2555-2571, diciembre de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/TEM.2019.2945018>
- [15] X. Meng, "Lean management in the context of construction supply chains", *International Journal of Production Research*, vol. 57, no. 11, pp. 3784-3798, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1566659>
- [16] E. N. Shaqour, "The impact of adopting lean construction in Egypt: Level of knowledge, application, and benefits", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 13, no. 2, marzo de 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.07.005>
- [17] J. G. Sarhan, B. Xia, S. Fawzia, A. Karim, A. O. Olanipekun y V. Coffey, "Framework for the implementation of lean construction strategies using the interpretive structural modelling (ISM) technique: A case of the Saudi construction industry", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 27, no. 1, pp. 1-23, septiembre de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2018-0136>
- [18] M. D. Andújar Montoya, A. Galiano-Garrigós, V. Echarri-Iribarren y C. Rizo-Maestre, "BIM-LEAN as a Methodology to Save Execution Costs in Building Construction—An Experience under the Spanish Framework", *Applied Sciences*, vol. 10, no. 6, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app10061913>
- [19] J. Zhang, H. Li, H. Golizadeh, C. Zhao, S. Lyu y R. Jin, "Reliability evaluation index for the integrated supply chain utilising BIM and lean approaches", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 27, no. 5, pp. 997-1038, junio de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2018-0542>
- [20] G. N. Yücenur y K. Şenol, "Sequential SWARA and fuzzy VIKOR methods in elimination of waste and creation of lean construction processes", *Journal of Building Engineering*, vol. 44, diciembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103196>
- [21] J. Watkins y B. Sunjka, "Combining Green Building and Lean Construction to Achieve more Sustainable Development in South Africa", *The South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 31, no. 3, pp. 133-143, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.7166/31-3-2426>
- [22] A. Tezel, M. Taggart, L. Koskela, P. Tzortzopoulos, J. Hanahoe y M. Kelly, "Lean construction and BIM in small and medium-sized enterprises (SMEs) in construction: a systematic literature review", *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 47, no. 2, pp. 186-201, febrero de 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1139/cjce-2018-0408>
- [23] A. Latorre Uriz, C. Sanz y B. Sánchez, "Aplicación de un modelo Lean-BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación", *Informes de la Construcción*, vol. 71, no. 556, 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3989/ic.67222>
- [24] T. Moyo y B. Chigara, "Barriers to lean construction implementation in Zimbabwe", *Journal of Engineering, Design and Technology* [Adelanto en línea de la edición impresa]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JEDT-01-2021-0044>
- [25] L. Koskela, A. Ferrantelli, J. Niiranen, E. Pikas y B. Dave, "Epistemological Explanation of Lean Construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 145, no. 2, febrero de 2019 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001597](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001597)
- [26] R. Barathwaj, R. V. Singh y G. I. Gunarani, "Lean construction: Value Stream Mapping for residential construction", *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 8, no. 5, pp. 1072-1086, enero de 2017.

- [27] M. Gunduz y A. Naser, "Value Stream Mapping as a Lean Tool for Construction Projects", *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, vol. 8, no. 1, pp. 69-74 febrero de 2019 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18178/ijscer.8.1.69-74>
- [28] M. A. Marhani, N. A. Ahmad Bari, K. Ahmad y A. Jaapar, "The Implementation of Lean Construction Tools in Malaysia", *Chemical Engineering Transactions*, vol. 63, pp. 289-294, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3303/CET1863049>
- [29] C. P. Schimanski, N. L. Pradhan, D. Chaltsev, G. Pasetti Monizza y D. T. Matt, "Integrating BIM with Lean Construction approach: Functional requirements and production management software", *Automation in Construction*, vol. 132, diciembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103969>
- [30] Y. I. Abu Aisheh, B. A. Tayeh, W. S. Alaloul y A. Almalki, "Health and safety improvement in construction projects: a lean construction approach", *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, vol. 28, no. 4, pp. 1981-1993, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10803548.2021.1942648>
- [31] S. Demirkesen, "Measuring impact of Lean implementation on construction safety performance: a structural equation model", *Production Planning & Control*, vol. 31, no. 5, pp. 412-433, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1675914>
- [32] P. Dallasega, A. Revolti, P. C. Sauer, F. Schulze y E. Rauch, "BIM, Augmented and Virtual Reality empowering Lean Construction Management: a project simulation game", *Procedia Manufacturing*, vol. 45, pp. 49-54, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.059>
- [33] S. Singh y K. Kumar, "A study of lean construction and visual management tools through cluster analysis", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 1153-1162, marzo de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.019>
- [34] M. S. Bajjou y A. Chafi, "Lean construction and simulation for performance improvement: a case study of reinforcement process", *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 70, no. 2, pp. 459-487, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2019-0309>
- [35] A. Tezel, L. Koskela y Z. Aziz, "Current condition and future directions for lean construction in highways projects: A small and medium-sized enterprises (SMEs) perspective", *International Journal of Project Management*, vol. 36, no. 2, pp. 267-286, febrero de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.10.004>
- [36] Z. Yuan, Z. Zhang, G. Ni, C. Chen, W. Wang y J. Hong, "Cause Analysis of Hindering On-Site Lean Construction for Prefabricated Buildings and Corresponding Organizational Capability Evaluation", *Advances in Civil Engineering*, vol. 2020, no. especial, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2020/8876102>
- [37] S. Ahmed y M. H. R. Sobuz, "Challenges of implementing lean construction in the construction industry in Bangladesh", *Smart and Sustainable Built Environment*, vol. 9, no. 2, pp. 174-207, 2020 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/SASBE-02-2019-0018>
- [38] A. Enshassi, N. Saleh y S. Mohamed, "Barriers to the application of lean construction techniques concerning safety improvement in construction projects", *International Journal of Construction Management*, vol. 21, no. 10, pp. 1044-1060, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1602583>
- [39] W. Albalkhy y R. Sweis, "Assessing lean construction conformance amongst the second-grade Jordanian construction contractors", *International Journal of Construction Management*, vol. 22, no. 5, pp. 900-912, 2022 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1661571>
- [40] M. Marzouk y A. Elmaraghy, "Design for Deconstruction Using Integrated Lean Principles and BIM Approach", *Sustainability*, vol. 13, no. 14, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13147856>

- [41] A. Elsayegh y I. H. El-adaway, "Holistic Study and Analysis of Factors Affecting Collaborative Planning in Construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 147, no. 4, abril de 2021 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002031](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002031)
- [42] S. Ahmed, M. M. Hossain y I. Haq, "Implementation of lean construction in the construction industry in Bangladesh: awareness, benefits and challenges", *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, vol. 39, no. 2, pp. 368-406, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-04-2019-0037>
- [43] F. Muñoz-La Rivera, J. Mora-Serrano, I. Valero y E. Oñate. "Methodological-Technological Framework for Construction 4.0", *Archives of Computational Methods in Engineering*, vol. 28, no. 2, pp. 689-711, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11831-020-09455-9>
- [44] O. Babalola, E. O. Ibem y I. C. Ezema, "Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic review", *Building and Environment*, vol. 148, pp. 34-43, enero de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.051>
- [45] K. Radman, M. B. Jelodar, E. Ghazizadeh y S. Wilkinson, "Causes of Delay in Smart and Complex Construction Projects", *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, vol. 13, no. 4, noviembre de 2021 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)LA.1943-4170.0000501](https://doi.org/10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000501)
- [46] E. P. Small, K. Al Hamouri y H. Al Hamouri, "Examination of Opportunities for Integration of Lean Principles in Construction in Dubai", *Procedia Engineering*, vol. 196, pp. 616-621, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.049>
- [47] C. Patrone, M. Mezzano Kozlova, M. Brenta, F. Filauro, D. Campanella, A. Ribatti, E. Scuderi, T. Marini, G. Galli y R. Revetria, "Hospital Warehouse Management during the construction of a new building through Lean Techniques", *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, vol. 5, no. 1, pp. 256-262, 2020 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.25046/aj050132>
- [48] D. Heigermoser, B. García de Soto, E. L. Sidney Abbott y D. K. Huat Chua, "BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management", *Automation in Construction*, vol. 104, pp. 246-254, agosto de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.019>
- [49] C. T. Pérez y D. Costa, "Developing a taxonomy of transportation waste in construction production processes", *Built Environment Project and Asset Management*, vol. 8, no. 5, pp. 434-448, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/BEPAM-04-2018-0062>
- [50] F. Bamana, N. Lehoux y C. Cloutier, "Simulation of a Construction Project: Assessing Impact of Just-in-Time and Lean Principles", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 145, no. 5, mayo de 2019 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001654](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001654)
- [51] J. Shurrab y M. Hussain, "An empirical study of the impact of lean on the performance of the construction industry in UAE", *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 16, no. 5, pp. 694-710, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JEDT-09-2017-0095>
- [52] O. Koseoglu, M. Sakin y Y. Arayici, "Exploring the BIM and lean synergies in the Istanbul Grand Airport construction Project", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 25, no. 10, pp. 1339-1354, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0186>
- [53] J. M. Savolainen, A. Saari, A. Männistö y K. Kähkönen, "Indicators of collaborative design management in construction projects", *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 674-691, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JEDT-09-2017-0091>
- [54] M. S. Bajjou y A. Chafi, "Lean construction implementation in the Moroccan construction industry: Awareness, benefits and barriers", *Journal of Engineering, Design and Technology*, vol. 16, no. 4, pp. 533-556, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2018-0031>

- [55] X. Zhang, S. Azhar, A. Nadeem y M. Khalfan, "Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams", *International Journal of Construction Management*, vol. 18, no. 4, pp. 293-300, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15623599.2017.1382083>
- [56] T. Castillo, L. F. Alarcón y J. L. Salvatierra, "Effects of Last Planner System Practices on Social Networks and the Performance of Construction Projects", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 144, no. 3, marzo de 2018 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001443](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001443)
- [57] P. Saieg, E. Domínguez Sotelino, D. Nascimento y R. G. Gusmão Caiado, "Interactions of Building Information Modeling, Lean and Sustainability on the Architectural, Engineering and Construction industry: A systematic review", *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 788-806, febrero de 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.030>
- [58] T. Subramani y A. Prabhu, "Material Procurement in Construction Industry Problems and Solutions", *International Journal Of Engineering & Technology*, vol. 3, no. 3.10, pp. 31-35, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.10.15624>
- [59] Z. Dakhli y Z. Lafhaj, "Efficient logistics enabled by smart solutions in tunneling", *Underground Space*, vol. 2, no. 4, pp. 227-233, diciembre de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2017.10.004>
- [60] D. D. Viana, I. D. Tommelein y C. T. Formoso, "Using Modularity to Reduce Complexity of Industrialized Building Systems for Mass Customization", *Energies*, vol. 10, no. 10, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en10101622>
- [61] F. Hamzeh, C. Theokaris, C. Rouhana y Y. Abbas, "Application of hands-on simulation games to improve classroom experience", *European Journal of Engineering Education*, vol. 42, no. 5, pp. 471-481, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03043797.2016.1190688>
- [62] D. K. Sharma y H. K. Gupta, "Planning and Design of Environmentally Sustainable Thana-Plaun Hydroelectric Project on Beas River in India", *Water and Energy International*, vol. 60, no. 4, pp. 36-43, julio de 2017.
- [63] A. Islam y S. K. Guchhait. "Search for social justice for the victims of erosion hazard along the banks of river Bhagirathi by hydraulic control: a case study of West Bengal, India", *Environment, Development and Sustainability*, vol. 19, no. 2, pp. 433-459, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10668-015-9739-6>
- [64] H. Erol, I. Dikmen y M. T. Birgonul, "Measuring the impact of lean construction practices on project duration and variability: A simulation-based study on residential buildings", *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 23, no. 2, pp. 241-251, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1068846>
- [65] S. Deep, M. B. Khan, S. Ahmad y A. Saeed, "A study of various factors affecting contractor's performance in lowest bid award construction projects", *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 28-33, febrero de 2017.
- [66] M. Asim, S. Deep y S. A. Ahmad, "Time impact study of real estate sector construction projects post application of lean principles for delay resolutions", *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 8, no. 2, pp. 89-99, febrero de 2017.
- [67] H. Golzarpoor, V. González, M. Shahbazpour y M. O'Sullivan, "An input-output simulation model for assessing production and environmental waste in construction", *Journal of Cleaner Production*, vol. 143, pp. 1094-1104, febrero de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.010>
- [68] Z. Dakhli, Z. Lafhaj y M. Bernard, "Application of lean to the bidding phase in building construction: a French contractor's experience", *International Journal of Lean Six Sigma*, vol. 8, no. 2, pp. 153-180, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-03-2016-0010>

- [69] M. J. Maraqa, R. Sacks y S. Spatari, "Quantitative assessment of the impacts of BIM and lean on process and operations flow in construction projects", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 28, no. 8, pp. 2176-2198, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2020-1068>
- [70] S. Wandahl, C. T. Pérez, S. Salling, H. H. Neve, J. Lerchey y S. Petersen, "The Impact of Construction Labour Productivity on the Renovation Wave", *Construction Economics and Building*, vol. 21, no. 3, pp. 11-32, 2021. <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v21i3.7688>
- [71] B. A. Tayeh, K. Al Hallaq, W. S. Alaloul y A. R. Kuhail, "Factors Affecting the Success of Construction Projects in Gaza Strip", *The Open Civil Engineering Journal*, vol. 12, no. 1, pp. 301-315, 2018 [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2174/1874149501812010301>
- [72] I. Maradzano, S. Matope y R. A. Dondofema, "Application of Lean Principles in the South African Construction Industry", *The South African Journal of Industrial Engineerin*, vol. 30, no. 3, pp. 210-223, noviembre de 2019 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.7166/30-3-2240>
- [73] M. G. Mandujano, C. Mourgues, L. F. Alarcón y J. Kunz, "Modeling Virtual Design and Construction Implementation Strategies Considering Lean Management Impacts", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 13, no. 11, pp. 930-951, noviembre de 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/mice.12253>
- [74] J. A. Gambatese, C. Pestana y H. W. Lee, "Alignment between Lean Principles and Practices and Worker Safety Behavior", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 143, no. 1, enero de 2017 [En línea]. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001209](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001209)
- [75] M. Marzouk, A. Elmaraghy y H. Voordijk, "Lean Deconstruction Approach for Buildings Demolition Processes using BIM", *Lean Construction Journal 2019*, pp. 147-173, 2019.
- [76] S. A. Albliwi, J. Antony, N. Arshed y A. Ghadge, "Implementation of Lean Six Sigma in Saudi Arabian organisations: Findings from a survey", *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 34, no. 4, pp. 508-529, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/IJQRM-09-2015-0138>
- [77] S. Demirkesen, E. Sadikoglu y E. Jayamanne, "Assessing Psychological Safety in Lean Construction Projects in the United States", *Construction Economics and Building*, vol. 21, no. 3, pp. 159-175, septiembre de 2021 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.5130/AJCEB.v21i3.7657>