

Beneficios de la aplicación de *Lean Construction* en la industria de la construcción

Benefits of *Lean Construction* application in the Construction Industry

Sócrates Pedro Muñoz Pérez^{1,*}, Bryan Peter Chinchay Ramirez¹, Adriana del Rocío González Martínez¹

¹ Universidad Señor de Sipan. Campus Universitario, Km. 5 Carretera Pimentel. Chiclayo, Perú.

*Autor de correspondencia: msocrates@crece.uss.edu.pe

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento/No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Recibido: 19 noviembre 2020 **Aceptado:** 17 diciembre 2020 **Publicado:** 10 enero 2021

Resumen

El trabajo presenta una revisión de la literatura sobre los beneficios de la aplicación de *Lean Construction* en la industria de la construcción. Existen factores negativos que influyen en la productividad, lo que genera ineficiencias, demoras, mala calidad, aumento de costos, reclamos por parte de terceros, entre otros aspectos, los cuales pueden ser corregidos mediante la aplicación de *Lean Construction*. El objetivo del trabajo desarrollado fue mostrar las bondades que el pensamiento *Lean* otorga a la industria de la construcción, haciendo uso de sus diferentes herramientas. Se revisaron 51 documentos indexados entre 2008 al 2020: 29 artículos fueron de Scopus, 10 de ResearchGate, cuatro de ScienceDirect y el resto distribuidos entre SciELO, Taylor & Francis, Emerald Insight, Semantic Scholar, ASCE y EBSCO. A partir del análisis de la literatura se demuestra que al aplicar *Lean Construction* se logra sostenibilidad, transparencia en los proyectos de construcción, buena planificación y gestión, correctos diseños, ejecución y control de los proyectos para el logro de objetivos propuestos por las empresas contratistas en la industria de la construcción.

Palabras clave: Lean Construction, Planificación, Industria de la Construcción

Abstract

This work presents a review of the literature on the benefits of applying *Lean* in the construction industry. There are negative factors that influence productivity, which generate inefficiencies, delays, poor quality, increased costs, and claims by third parties, among other aspects; but these may be corrected through the application of *Lean Construction*. The scope of this work is to show the benefits that *Lean* thinking gives to the construction industry, using its different tools and allowing these problems to be solved or avoided. 51 documents were reviewed, published between 2008 and 2020: 29 articles are from Scopus, 10 from ResearchGate, four from ScienceDirect and the rest distributed between SciELO, Taylor & Francis, Emerald Insight, Semantic Scholar, ASCE and EBSCO. From the literature survey, it was demonstrated that applying *Lean Construction* it achieves sustainability, transparency in construction projects through good planning, correct design, good management, execution and control of projects for the achievement of objectives proposed by contractors in the construction industry.

Keywords: Lean Construction, Planning, Construction Industry

1. Introducción

Cuando se realiza un proyecto de construcción de gran magnitud, su posible fracaso está en función del tiempo, costos y desempeño, que por lo general tienen consecuencias económicas y sociales. En este tipo de contextos se pueden presentar retrasos específicos y la culminación tardía del proyecto, incremento de costos, detención de los trabajos, disminución de la producción, reclamos, litigios y culminación de contratos. Esencialmente la ejecución del proyecto con respecto al cronograma preliminar es la problemática general en la industria de la construcción [1]. Por ello, la finalidad de *Lean Construction* es originar sistemas productivos que propicien la mejora de los tiempos de entrega, siendo este es un pensamiento novedoso con respecto a la guía de gestión actual [2]. La filosofía *Lean* no solo consiste en estudiarlo y practicarlo, sino en modificar mentalidades y conductas de los usuarios, además de modificar la cultura empresarial, mediante cambios en los sistemas de gestión [3].

En aras de mejorar la productividad se ha considerado en Honk Kong que en la industria de la construcción se debe emplear la filosofía de *Lean Construction* como un enfoque eficaz. A esto se suma la mejora en los tiempos de ejecución, mayores ganancias, productos de mayor calidad, menor pérdida de materiales y manos de obra, traduciendo todo lo mencionado en el aumento de la productividad con eficacia y eficiencia [4]. Sin embargo, las pérdidas existentes en la industria de la construcción son frecuentes, dado el largo proceso de aprobación que generalmente incluye las demoras y la burocracia involucradas en la obtención de permisos de las autoridades locales. El impacto del procesamiento excesivo es obvio en términos de complicar el proceso de construcción al requerir muchas aprobaciones, aclaraciones, capacitación excesiva, medidas de seguridad, etc. [5-8]

Bajo este contexto en la industria de la construcción, la ineficiencia y baja productividad se debe a una serie de complicaciones que ocurren en la planeación, diseño y construcción de edificios u otros proyectos, ya que pueden resultar en coordinaciones inadecuadas. En consecuencia, la industria de la construcción se enfrenta a desafíos asociados con la inclusión de actividades y procesos que no agregan valor en su cadena de suministro, lo que resulta en ineficiencia y baja productividad [9]; por lo tanto generan residuos, y esta se puede precisar como la actividad que no aporta valor en cualquier punto de la cadena, teniendo como resultado el aumento de los costos y tiempos sin una mejora de procesos [10].

A partir de los problemas mencionados que se generan en la construcción por los diversos factores, el presente trabajo tiene como objetivo mostrar los beneficios que el pensamiento *Lean Construction* otorga a la industria de la construcción haciendo uso de sus diferentes herramientas y permitiendo que estos problemas sean resueltos o evitados. En esta investigación se opta por un estudio con revisión sistemática de las diversas publicaciones encontradas en las bases de datos. En primer lugar, estas revisiones son importantes porque se enfocan en investigaciones científicas que son usadas para realizar evaluaciones, resúmenes y manifestar hallazgos sobre el tema enfocado que es *Lean Construction*.

El enfoque de la búsqueda en la información se basa en las bases de datos o redes académicas siguientes: Scopus, ASCE Library, EBSCO, ResearchGate, ScienceDirect, SciELO, Taylor & Francis, Emerald Insight y Semantic Scholar, con años de búsqueda del 2008 al 2020, obteniendo 51 artículos científicos que fueron analizados y seleccionados.

2. Análisis de la información compilada en *Lean Construction*

El uso de la filosofía *Lean* ha sido muy beneficioso en las empresas que la han puesto en práctica, generándoles mayores ganancias, resultados confiables, calidad de trabajo, reducción de costos, mayor satisfacción del cliente y menores plazos de construcción. Los cinco principios de identificación de valor, el mapeo de la corriente de valor, el logro de la atracción de los clientes, el aumento del flujo de valor y la mejora continua son propósitos para reducir los residuos y aumentar la cadena de valor de un método constructivo basado en la filosofía *Lean*. En Reino Unido, Estados Unidos, Australia, Brasil, Finlandia, Singapur, Perú, Chile y Dinamarca está corroborado que *Lean Construction* sirve para mejorar el rendimiento de los proyectos, teniendo como respuesta que las empresas incrementaron su productividad a partir de implementarlas, según lo mencionado por el 77% de quienes lo emplearon [11].

En la aplicación de *Lean Construction* para viviendas en América Latina se demuestra que se logra una disminución de inventario de encofrados en 25%, disminución del presupuesto en 20% y del tiempo empleado en la construcción de las viviendas. Así también se implementan tecnologías de información que ayudan a la planificación, reduciendo el tiempo de entrega de las viviendas en 2 días, mostrando beneficios importantes en los costos y tiempos empleados y entrega en el proyecto [12].

En el caso particular de la Gestión Visual como parte de *Lean Construction* se reportan beneficios como el incremento del valor del proyecto, una buena comunicación sin obstáculos, flujo en el intercambio de información, claridad en la organización y mayor captación de información entre los involucrados por la clara visualización y entendimiento de los datos del proyecto. En conclusión, el lugar de trabajo se organiza mejor con la aplicación de la gestión visual [7, 13]. Específicamente, el impacto del *Last Planner System* (LPS) en la fase civil del proyecto ayuda a reducir el tiempo del ciclo y eliminar retrasos. El sistema se utiliza para coordinar eficazmente el frente de trabajo entre los subcontratistas. La experiencia mostró que, si bien toma un par de meses convencer a todos de participar en el proceso, todos logran ver su valor una vez que se adopta la nueva metodología.

En un proyecto de construcción en la Franja Gaza se constatan beneficios como parte de la unión de los principios *Lean* y *Green* en construcción. Como beneficios de *Lean Construction* se observa que la reducción del trabajo que no aporta valor se posicionó en primer lugar con un valor de Índice de Importancia Relativa (RII) igual a 80,34 y la optimización de la participación y comunicación de los involucrados y las especialidades del proyecto en el segundo lugar con un valor de RII de 82,42. En este estudio se llega a la conclusión que la unión de ambos métodos tiene un impacto positivo en el medio ambiente [14].

A través de la exploración de *Lean Construction* y sostenibilidad ambiental, los resultados muestran que existe una vinculación entre ambas prácticas, trayendo beneficios para la construcción. Se logran beneficios en una mejor identificación de residuos, mayor eficiencia energética y reducción del impacto ambiental [15].

En Finlandia se reporta un estudio de aplicación de *Lean Construction* en edificios de energía nula (nZEB) [16]. El estudio se realizó en la construcción de dos edificios residenciales con las siguientes características: Caso A (Kivistö) con un área de 10,120 m² ubicado en Vantaa y Caso B ubicado en Helsinki con un área 6,278 m². Los resultados revelaron un ahorro de energía con un costo de 8 Euros/m². Para ambos casos la productividad con la gestión *Lean Construction* es 20% mayor que con una gestión tradicional; los valores de uso y reventa aumentaron significativamente. Mediante la aplicación de *Last Planner System* (LPS) se proponen diferentes programas informáticos que

permiten la planificación y control de proyectos como las herramientas de gestión de proyecto TI (Tecnología de Información) en base a LPS, entre las cuales se encuentran: ProPlanner, Impera, Cocoplan, Touchplan, V-planner, Work Move Plan, Work Plan y DePlan, BIM 360 Plan, proporcionando una mejor visualización de la información del proyecto [17].

En una investigación sobre el impacto de la gestión de proyectos de construcción, las encuestas revelaron un 78% de productividad durante el proceso de ejecución [18]. En este caso se reporta la aplicación de la herramienta *Lean* llamada *Value Stream Mapping* (VSM) con la finalidad de analizar la producción y residuos ambientales en un proyecto de construcción.

La construcción de un hospital de 35,000 m² en el centro de Santiago de Chile, contó con la evaluación de la producción e impacto ambiental durante la fase de construcción de los elementos de hormigón estructural. El estudio permitió evidenciar un diagnóstico preciso de producción de cada elemento estructural. Dicho diagnóstico a través del VSM ayudó a evidenciar el impacto ambiental y a encontrar mejoras que no fueron visualizadas previamente. El VSM permite mapear procesos de construcción y relacionar la producción y los residuos ambientales [19].

En el estudio de *Lean Construction* del caso del dique Cal, se reporta el empleo de la herramienta VSM, en el cual se hizo el mapeo del estado actual de la construcción a través del diagrama de flujo de proceso donde se reflejó el número de actividades, tiempo de proceso y tiempo de entrega. También se aplicó la herramienta Kaizen. Los beneficios encontrados en la aplicación fueron: reducción del tiempo de entrega en un 40% y la disminución del tiempo de proceso en un 25% [20]. También se reporta la evaluación de la mejora de rendimiento en un caso de estudio de proceso de operaciones de refuerzo bajo la aplicación de *Lean Construction* haciendo uso de simulación de eventos discretos (DES). Los beneficios encontrados fueron un incremento de la productividad en un 41% y una disminución del tiempo de ciclo en 17% [21].

En el caso del estudio de mejoramiento del proceso constructivo a través de la implementación de *Lean Construction*, *Building Information Modeling* (BIM) y Carta Balance (CB) en un proyecto de construcción de viviendas en la ciudad de Torreón (Coahuila, México), se evidenció una reducción del tiempo en la programación de 14 a 11 semanas lo que representa en ahorro el 26,56% [22]. Se realizaron varios casos de estudios para mostrar el efecto de *Lean* en el triple resultado final de la sostenibilidad en la construcción de viviendas modulares. Cada estudio de caso destacó una dimensión de la sostenibilidad. *Lean Construction* resultó en un efecto ambiental significativo al reducir el desperdicio de material en un 64%, un efecto social significativo al reducir o eliminar los peligros de seguridad clave de fuerza excesiva, mala postura y golpes, y un efecto económico significativo al reducir las horas de producción en 31% [23]. Los estudios de casos presentados, mostraron los efectos positivos de *Lean Construction* en las tres dimensiones de la sostenibilidad dentro del entorno de fabricación de viviendas modulares. La construcción sostenible se puso en funcionamiento utilizando una versión modificada de la herramienta de *Lean Construction* Kaizen, SLIK, y se centró en mejorar el rendimiento medioambiental, social y económico de los procesos de construcción de viviendas modulares. Una amplia gama de actividades, incluida la estructura de la base, la colocación de paneles de yeso y la pintura de interiores, mostraron mejoras en la sostenibilidad del uso de métodos de construcción ajustados.

Para conocer los beneficios de *Lean Construction* en la industria de la construcción de Arabia Saudita se entrevistó a 282 profesionales de la construcción y los resultados mostraron como beneficios: “satisfacción de los clientes”, la cual se encuentra en primer lugar con un valor de 3,91, en segundo y tercer lugar se mostró “aumento de la calidad y el incremento de la productividad” con valores de 3,90 y 3,88 respectivamente. Los resultados también exponen que hay 12 herramientas

que ayudan en la aplicación de *Lean Construction* los cuales son diseño asistido por ordenador, mantenimiento preventivo, programas de mejora de la seguridad, inspecciones visuales, programas de mejora continua, reuniones diarias de acopio, gestión de calidad total, uso de materiales prefabricados, diseño de valor objetivo, ingeniería concurrente, enfoque "just-on-time", plan de condiciones y entorno de trabajo en la industria de la construcción, sistema de planificación informatizado, sistema de gestión de la información, 5S, Six Sigma y Kanban [24].

La importancia en la sostenibilidad de la filosofía *Lean Construction* en la industria de la construcción es evidente. A partir de la aplicación de entrevistas a los profesionales que hacen uso de esta filosofía, se evidencia que hay un impacto económico (con disminución de los costos de producción y operación), social (mejora de comunicación entre los involucrados) y ambiental (eliminación de residuos) [25]. En la autopista Ontario, en Canadá se implementó la filosofía *Lean Construction* en la planificación y mantenimiento de carreteras, en la que se redujo el total de trabajos no productivos y que no añaden valor, así como también se mejoraron los costos y variabilidad. Otro beneficio encontrado fue la selección del contratista con mayor eficiencia [26].

En una investigación hecha en la industria de la construcción en Etiopía, también se evaluó a través de encuestas a 35 profesionales de la construcción, en la cual se evaluó el nivel de conciencia y beneficios al aplicar *Lean Construction*. Los resultados mostraron mayor productividad en 89%, disminución de residuos con 87%, mayor satisfacción del cliente con 85%, así como de optimización de la calidad con 75% [27].

En el caso de Ghana, se seleccionaron a 226 empresas de construcción con un método de muestreo aleatorio. Los resultados expuestos en opinión de los consultores fueron la mejora de los métodos de ejecución del proyecto, mejora continua y entregas dentro del presupuesto [28]. Se realizó la investigación del grado de alineación entre *Lean Construction* y gestión de seguridad. Los hallazgos encontrados del estudio revelaron que la aplicación de *Lean Construction* puede ayudar a la seguridad de los trabajadores en obra, ayuda a eliminar los accidentes en obra y contar con lugares de trabajo más seguro. Se concluyó que las prácticas *Lean* tienen beneficios en la seguridad en obra [29]. La influencia de *Lean Construction* en el proceso de Transformación-Flujo-Valor a través de la manipulación de los residuos, ayudó en la eliminación de los desperdicios del proceso en el cual permitió crear valor [30]. En un caso de estudio en Turquía, en la simulación de edificios multifamiliares, se evidenciaron beneficios en la implementación de la filosofía *Lean Construction*, avances en el tiempo de entrega y una disminución de la variabilidad [31].

En la revisión de la literatura, a través de 117 artículos se encontraron beneficios de la aplicación *Lean Construction* y sostenibilidad en la dimensión ambiental, económica y social. Los resultados encontrados identificaron que un 42% mostró resultados positivos en dos dimensiones y 25% solo en una. También se encontró una mayor productividad y optimización de los tiempos de construcción [32].

Lean Construction puede aplicarse para el mantenimiento de carreteras y así eludir desperdicios y trabajos que no agregan valor. Con un estudio [33] se estableció un procedimiento de gestión centrado en eliminar desechos que se identificaron en la construcción, incluyendo la movilización y desmovilización, el atraso de usuarios y procesos de licitación para mejorar el valor de los proyectos de mantenimiento. Con este modelo propuesto aplicado en la autopista 401 en Ontario, Canadá, al aplicarlo en un amplio intervalo de tiempo, mostró que si se ignora el mantenimiento preventivo se requeriría un presupuesto aproximado de 222 millones de dólares durante 15 años para que este tenga un servicio aceptable, por lo que el costo se podría reducir a 148 millones con la implementación de rehabilitación en los planes MRR. Debido a ello, con la formulación que se

propuso en el estudio, se pudo reducir hasta un aproximado de 5%, logrando un servicio similar. Al expandir la propuesta en el enfoque de carreteras y una planificación más prolongada se ahorraría una suma considerable, beneficiando a los usuarios o afines.

La estrategia de Visual Management (VM) permite la comunicación visual que forma parte fundamental en la implementación de *Lean Construction*. Se ha demostrado que VM ha tomado impulso en la construcción y mantenimiento de carreteras en Inglaterra, con la visión que tiene *Lean Construction* en los clientes gubernamentales. Esto ha dado lugar a que las grandes contrataciones tomen a VM en sus agendas y la puesta en marcha de *Lean*. Como resultado se incrementa el número de publicaciones que debaten este tema, a pesar de que la implementación de VM aún es limitada en carreteras. Los gerentes de procesos que fueron entrevistados y los participantes generalmente admitieron los beneficios de VM. Esto es debido al uso de paneles de rendimiento visual, y se destacan las contribuciones que VM logra en cuanto a la coordinación de equipo/sitio [34].

La herramienta *Lean Six Sigma* mediante una investigación identificó que en los trabajos se pudo mejorar, eliminar y reducir residuos cuando se identificaron claramente las causas, lo que contribuyó a mejorar la fiabilidad, estabilidad y optimizar la rentabilidad en las operaciones de construcción. Con la entrevista realizada a un grupo de ingenieros e industrias de la construcción en Cachemira, se cuantificaron los datos obtenidos para ver la importancia de los factores críticos para la calidad y por qué causan desperdicios por medio del enfoque DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar). Se identificaron las posibles causas de efectos específicos y desarrollo de planes que evaluó los procesos usando al FMEA (efecto y análisis del modo de falla), lo que ayudó a equiparar mejoras y medidas de control. La metodología *Lean Six Sigma* permitió asistir a la mejora de calidad en la construcción, redujo procesos, desechos y costos en la construcción [35].

Con un estudio realizado por una agencia de carretera y su cadena de aprovisionamiento de carreteras, se hizo una demostración de la potencia de *Lean*. Para el mes de marzo del 2013, la distribución *Lean* de la Agencia pudo reclamar ahorros de 90 millones de euros, de los cuales 52,4 millones son compartidos por la agencia y su cadena [36]. Para los proyectos de mantenimiento en carretera cuando están en construcción, se detectó que *Lean Construction* posibilita un alto enfoque en lo planificado, lo que promovió la disciplina de energía laboral y se enfocó en futuras actividades; el estudio resaltó lo crucial que es la capacitación con respecto a los principios *Lean* para asegurar que se tenga una mayor comprensión y aprobación, con un liderazgo eficaz para asegurar el proyecto. Se consideró a *Lean Construction* como la mayor oportunidad para incrementar la productividad [37].

Un beneficio que *Lean Construction* otorga es la transparencia, pues los estudios demuestran que se logra identificar mejoras del tiempo de entrega, así como otros beneficios como la comunicación oportuna y precisa sobre los requerimientos de los materiales, disminuyendo así los atrasos y mejorar el uso de elementos operacionales [38].

Se aplican las técnicas de *Lean Construction* en el análisis del Porcentaje de Sobretiempos Esperados (PET). Los resultados se muestran en la Figura 1. Al hacer la comparación del PET y los trabajos no terminados, se evidencia una disminución gradual en ambos, a medida que va transcurriendo el tiempo [39].

Un estudio realizado en Bangladesh dio como resultado un aumento de la seguridad, calidad y la producción. Además, la implementación de *Lean Construction* disminuyó costos en la construcción, aumentó la sostenibilidad y cumplió con las exigencias del cliente. Por otro lado, la disminución del impacto ambiental también fue significativa. En este sentido, los profesionales de la construcción de

Bangladesh, han organizado conferencias en el tema de los beneficios y necesidades de *Lean Construction*, porque esta metodología permitió disminuir tiempos, costos, mayor seguridad, calidad y producción [40]. Continuando con la exploración de los beneficios que *Lean Construction* proporciona, los profesionales de la construcción en Marruecos, destacaron su valor para para llegar a un cumplimiento financiero con calidad, seguridad y regulaciones establecidas de impacto ambiental [41].

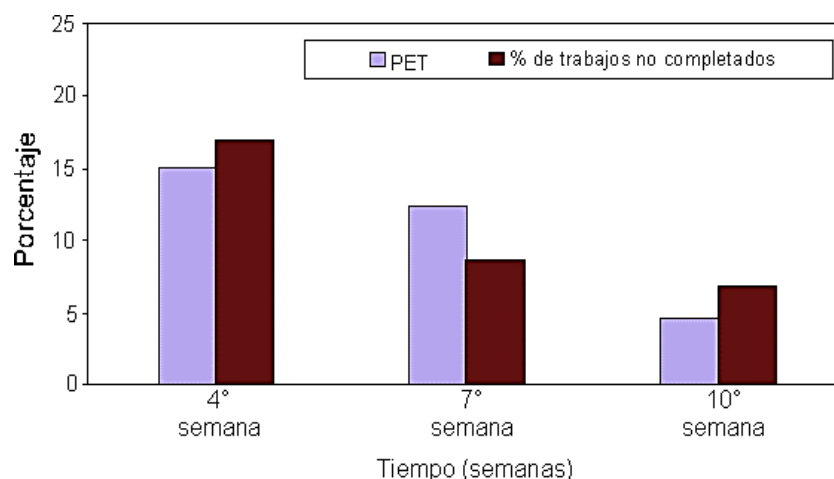


Fig.1 PET y el porcentaje de trabajos no terminados cada 3 semanas [39]

Como ha sido analizado a partir de numerosas referencias, la gestión Lean en la industria de la construcción genera cuantiosos beneficios de diversos tipos, los cuales constituyen ventajas económicas [42-44]. En la Tabla 1 [45] se muestra la disminución de residuos, eficacia en la administración de las materiales in situ, la mejora en los ciclos de vida, entre otros. Los resultados fueron obtenidos de la aplicación de una encuesta.

Tabla 1. Beneficios al implementar *Lean Construction* en la industria de la construcción

Beneficios	Media	Desviación Estándar
Reducción de residuos	4,27	0,580
Administración eficaz de materiales en el sitio	4,22	0,599
Costo del ciclo de vida mejorado	4,16	0,706
Mayor satisfacción del cliente	4,09	0,701
Buena coordinación de proyectos	4,07	0,837
Mayor seguridad en el sitio	4,02	0,812
Mayor productividad	4,00	0,769
Mejor gestión de riesgos	3,98	0,583
Comunicación efectiva entre el cliente y el equipo de construcción	3,93	0,915
Calendario de proyecto reducido	3,91	0,821
Construcción de alta calidad	3,87	0,726
Eficiente sistema con bajo costo	3,80	0,842

La opinión sobre los beneficios de *Lean Construction* es importante, porque según los resultados obtenidos, se obtienen relativamente puntajes altos, pudiéndose entonces hablar de usuarios satisfechos con la entrega de productos o servicios, permitiendo a estos alcanzar sus objetivos. Se muestra en la Tabla 2 las desviaciones estándar de los beneficios, en la que se muestra los beneficios como un bajo grado de interrupciones en los trabajos y la seguridad [46].

Tabla 2. Ensayos analíticos para las muestras

Beneficios	Puntuación media del elemento
Mejora de los métodos de entrega de proyectos	4,40
Clientes más satisfechos	4,07
Entrega de productos o servicios que permitan a los clientes lograr mejor sus metas	4,00
Promoción de la mejora continua en los métodos de entrega de proyectos a través de lecciones aprendidas	3,99
Minimización del riesgo y maximización de oportunidades	3,97
Entrega de productos o servicios a tiempo y dentro del presupuesto	3,93
Entrega de productos a los clientes al instante sin desperdicio	3,92
Porcentaje aumentado Plan completo	3,90
Menos re-trabajo	3,86
Minimización de costos directos mediante una gestión eficaz de la entrega de proyectos	3,85
Inyección de confiabilidad, responsabilidad, certeza y honestidad en el entorno del proyecto	3,85
Reducción del tiempo del proyecto	3,75
Menor grado de interrupción de las actividades (reducción de la variación)	3,68
Menos tiempo de inactividad	3,56
Incremento de la motivación de los trabajadores	3,49

Se obtuvieron beneficios importantes en la adopción de *Lean* en los cinco aspectos fundamentales en la industria de la construcción: reducción de ciclos, reducción de trabajos en procesos, incremento de la productividad y no menos importante la calidad en la producción, y reducción de los tiempos de ciclos, y se obtuvo como índices relativos de 69,1%, 68,6% y 68,4% respectivamente en los tres beneficios más importantes. Con ello se pudo concluir que los principios *Lean* apoyan a la industria de la construcción a largo plazo, brindando beneficios que evoluciones en una especie de ciclo como se muestra en la Figura 2.



Fig.2 Beneficios claves en la adopción de los principios *Lean* [47]

Además, se puede mencionar que es esencial que las organizaciones asignen recursos para formar y motivar continuamente, lo cual es posible aplicando correctamente las técnicas y herramientas *Lean*, para las cuales se necesita una mínima inversión y brinda beneficios financieros, así como el desempeño a la organización, lo que permite cumplir requerimientos de calidad, creando valor en el producto o servicios que se brinda, además de eliminar gastos financieros. Conociendo las bondades de *Lean Six Sigma* y los beneficios que este proporciona, se propone como complemento a *Green Lean*, y su beneficio al aplicarla es lograr la sostenibilidad ambiental mediante la disminución de costos y defectos de procesos.

4. Conclusiones

A partir del análisis de la literatura respecto a publicaciones de resultados investigativos, queda claro que *Lean Construction* es una metodología que aporta mejoras en la industria de la construcción, entre ellas el incremento de la producción, lo que da a entender que esta aplicación ayuda a los proyectos en cuanto a su avance, además de la disminución de ciclo, reducción de los costos, aumento de la seguridad, calidad de los trabajos y mayor comunicación entre los implicados del proyecto, por solo citar los mayores beneficios. La aplicación de técnicas de encuesta, entrevistas y análisis estadístico evidencia los resultados positivos de la aplicación de *Lean*. No solo *Lean* genera valor, sino también organización y orden en los trabajos, por consiguiente los clientes, muestran un alto grado de satisfacción, contribuyendo esto también al alcance de todos los objetivos trazados.

Referencias

1. Abbasi, O., Noorzai, E., Jafari, K.G., Golabchi, M., *Exploring the causes of delays in construction industry using a cause-and-effect diagram: Case study for Iran*. Journal of Architectural Engineering, 2020. **26**(3): p. 1-16. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000431](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000431).
2. Porras, H., Sánchez, O., Galvis, J., *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos*. Avances. Investigación en Ingeniería, 2014. **11**(1): p. 32-53. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.298>.
3. Albalkhy, W., Sweis, R., *Barriers to adopting lean construction in the construction industry: a literature review*. International Journal of Lean Six Sigma, 2020. **11**(1): p. 1-27. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJLSS-12-2018-0144>.
4. Pan, W., Pan, M., Chan, S., *Lean construction for improving productivity in the Hong Kong construction industry*. Building Journal, 2015: p. 57-61.

5. Al-Aomar, R., *Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry*. Lean Construction Journal, 2012: p. 105-121.
6. Ahiakwo, O., Oloke, D., Suresh, S., Khatib, J., *Critical Review of the Potential for the Implementation of Lean in the Nigerian Building Industry*. Lean Construction Journal, 2012: p. 1-10.
7. Kumar, K., Subhav, S., *A study of lean construction and visual management tools through cluster analysis* Ain Shams Engineering Journal, 2020. **11**(3): p. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.019>.
8. Cao, Y., Ashuri, B., *Predicting the Volatility of Highway Construction Cost Index Using Long Short-Term Memory*. Journal of Management in Engineering, 2020. **36**(4): p. 1-12. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000784](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000784).
9. Babalola, O., Ibem, E.O., Ezema, I.C., *Implementation of lean practices in the construction industry: A systematic review*. Building and Environment, 2019. **148**: p. 34-43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.051>.
10. Maradzano, I., Dondofema, R., Matope, S., *Application of lean principles in the south african construction industry*. South African Journal of Industrial Engineering, 2019. **30**(3): p. 210-223. DOI: <https://dx.doi.org/10.7166/30-3-2240>.
11. Burghart, J., Ghosh, S., *Lean Construction: Experience of US Contractors* International Journal of Construction Education and Research, 2019. **15**(4): p. 1-21. DOI: <https://doi.org/10.1080/15578771.2019.1696902>.
12. Martinez, E., Reid, C., Tommelein, I., *Lean construction for affordable housing: a case study in Latin America*. Construction Innovation, 2019. **19**(4): p. 570-593. DOI: <https://doi.org/10.1108/CI-02-2019-0015>.
13. Kumar, C., Apuganti, C., Eswara, S., Santoch, T., Ramesh, B., *Application of Last Planner System as Lean Construction Technique*. International Journal of Emerging Trends in Engineering Research, 2020. **8**(9): p. 6035-6040. DOI: <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/184892020>.
14. El-Sawalhi, N.I., Majid, B., Al Shukri, A., *Towards lean and green thinking in construction projects at Gaza Strip*. Organization, Technology and Management in Construction, 2018. **10**(1): p. 1827-1838. DOI: <https://doi.org/10.2478/otmcj-2018-0011>.
15. Francis, A., Thomas, A., *Exploring the relationship between lean construction and environmental sustainability: A review of existing literature to decipher broader dimensions*. Journal of Cleaner Production, 2020. **252**: p. 1-44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119913>.
16. Pulakka, S., Vares, S., Nykanen, E., Saari, M., Hakkinen, T., *Lean production of cost optimal wooden nZEB*. Energy Procedia, 2016. **96**: p. 202-211. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.122>.
17. Cortés, M.J., Herrera, R.F., Muñoz, F.C., La Rivera, B., *Key requirements of an IT tool based on last planner system*. Revista Ingeniería de Construcción, 2020. **35**(2): p. 126-134. DOI: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732020000200126>.
18. Mao, W., Mahame, C., Ndahirwa, D., *Impact of Evolving Construction Project Management Techniques for Proper Project Delivery: Review on Constructability Review, Lean Construction (LC) And Value Engineering (VE) Techniques*. International Journal of Civil Engineering, Construction and Estate Management, 2018. **6**(1): p. 1-16.
19. Rosenbaum, S., Toledo, M., Gonzales, V., *Improving Environmental and Production Performance in Construction Projects Using alue-Stream Mapping: Case Study*. Journal of Construction Engineering and Management, 2014. **140**(2): p. 1-11. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000793](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000793).
20. Garrett, D., Lee, J., *Lean Construction Submittal Process-A Case Study*. Quality Engineering, 2010. **23**(1): p. 84-93. DOI: <https://doi.org/10.1080/08982112.2010.495100>.
21. Saad, M., Chafi, A., *Lean construction and simulation for performance improvement: a case study of reinforcement process*. International Journal of Productivity and Performance Management, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2019-0309>.
22. Perez, G., Del Toro, H., Lopez, A., *Mejora en la construcción por medio de lean construction y building information modeling: caso de estudio* Revista de Investigación en Tecnologías de la Información, 2019. **7**(14): p. 110-121. DOI: <https://doi.org/10.36825/RITI.07.14.010>.
23. Nahmens, I., Ikuma, L.H., *Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding*. Journal of Architectura Engineering, 2012. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000054](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000054).
24. Bo, J., Fawzia, S., Kari, A., *Lean Construction Implementation in the Saudi Arabian Construction Industry*. Construction Economics and Building, 2017. **17**(1): p. 46-49. DOI: <https://dx.doi.org/10.5130/AJCEB.v17i1.5098>.
25. Woo, J., Woo, Y., *Sustainable Value On Construction Projects and Lean Construction*. Journal of Green Building, 2008. **3**(1): p. 156-167. DOI: <https://doi.org/10.3992/jgb.3.1.156>.

26. Mohammadi, A., Igwe, C., Jimenez, L., Nasiri, F., *Applying lean construction principles in road maintenance planning and scheduling*. International Journal of Construction Management, 2020. **20**: p. 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1788758>.
27. Ayalew, T., Dakhli, Z., *The Future of Lean Construction in Ethiopian Construction Industry*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2016. **5**(2): p. 107-113.
28. Ayarkwa, J., Agyekum, K., Adinyira, E., Osei-Asibey, D., *Perspectives for the Implementation of Lean Construction in the Ghanaian Construction Industry*. Journal of Construction Project Management and Innovation, 2020. **2**(2): p. 345-359.
29. Gambatese, J., Pestana, C., Woo, H., *Alignment between Lean Principles and Practices and Worker Safety Behavior*. Journal of Construction Engineering and Management, 2017. **143**(1): p. 04016083. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001209](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001209).
30. Charles, I., Hammad, A., Nasiri, F., *Influence of lean construction wastes on the transformation-flow-value process of construction*. International Journal of Construction Management, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1812153>.
31. Huseyin, E., Irem, D., Talar, B., *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, 2017. **23**(2): p. 241-251. DOI: <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1068846>.
32. Carvajal-Arango, D., Bahamón-Jaramillo, S., Aristizábal-Monsalve, P., Vasquez-Henández, A., Botero, L., *Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase* Journal of Cleaner Production, 2019. **234**: p. 1322-1327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.216>.
33. Ansell, M., Holmes, M., Evans, R., Pasquire, C., Price, A., *Lean construction trial on a highways maintenance project*. International Journal of Construction Management, 2007. **15**: p. 119-128.
34. Tezel, A., Aziz, Z., *Visual management in highways construction and maintenance in England*. Engineering, Construction and Architectural Management, 2017. **24**(3): p. 486-513. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2016-0052>.
35. Jowwad, S., Gangha, G., Indhu, B., *Lean Six Sigma Methodology for the improvement of the road construction projects*. International Journal of Civil Engineering and Technology, 2017. **8**(5): p. 248-259.
36. Drysdale, D., *Introducing Lean Improvement into the UK Highways Agency Supply Chain*. Lean Construction Journal, 2013. **21**: p. 1067-1074.
37. Shaheen, R., Ruikar, K., Enoch, M., Brien, N., Gartside, D., *Process mapping for road works planning and coordination*. Built Environment Project and Asset Management, 2017. **7**(2): p. 157-172. DOI: <https://doi.org/10.1108/BEPAM-08-2016-0041>.
38. Brady, D., Tzortzopoulos, P., Roe, J., Formoso, C., Tezel, A., *Improving transparency in construction management: a visual planning and control model*. Engineering, Construction and Architectural Management, 2018. **25**(10): p. 1277-1297. DOI: <https://doi.org/10.1108/ECAM-07-2017-0122>.
39. Issa, U.H., *Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time* Alexandria Engineering Journal, 2013. **54**(4): p. 697-704. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.07.003>.
40. Ahmed, S., Hossain, M., Haq, I., *Implementation of lean construction in the construction industry in Bangladesh: awareness, benefits and challenges*. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 2013. **38**(30): p. 1-39. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJBPA-04-2019-0037>.
41. Bajjou, M., Chafi, A., *Lean construction implementation in the Moroccan construction industry: Awareness, benefits and barriers*. Journal of Engineering, Design and Technology, 2018. **16**(4): p. 533-556. DOI: <https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2018-0031>.
42. Innella, F., Arashpour, M., Bai, Y., *Lean Methodologies and Techniques for Modular Construction: Chronological and Critical Review* Journal of Construction Engineering and Management, 2019. **145**(12): p. 1-18. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001712](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001712).
43. Abbasian-Hosseini, S., Nikakhtar, A., Ghoddousi, P., *Verification of Lean Construction Benefits through Simulation Modeling: A Case Study of Bricklaying Process*. KSCE Journal of Civil Engineering, 2014. **18**(5): p. 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0305-9>.
44. Wu, X., Zhao, W., Ma, T., Yang, Z., *Improving the efficiency of highway construction project management using lean management*. Sustainability, 2019. **11**(13): p. 1-27. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11133646>.
45. Oguntona, O., Algbavboa, C., Mulongo, G., *An assessment of lean construction practices in the construction industry*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2019. **788**: p. 524-534. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-94199-8_51.

46. Babalola, O., Ibem, E., Ezema, I., *Assessment of awareness and adoption of lean practices in the Nigerian building industry*. International Journal of Civil Engineering and Technology, 2018. **9**(13): p. 1626-1640.
47. Singh, S., Dixit, S., Sahai, S., Sao, A., Kalonia, Y., Subramanya, R., *Key Benefits of Adopting Lean Manufacturing Principles in Indian Construction Industry* MATEC Web of Conferences, 2018. **172**(12): p. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817205002>.

Conflicto de Intereses

No existe ningún conflicto de intereses entre los autores, ni de los autores con otras entidades vinculadas al contenido del manuscrito.

Contribución de los autores

Sócrates Pedro Muñoz Pérez. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

Participó en la investigación y supervisión del manuscrito.

Bryan Peter Chinchay Ramírez. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5952-8905>

Participó en la investigación y redacción del manuscrito.

Adriana del Rocío González Martínez. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3936-0260>

Participó en la investigación y redacción del manuscrito.