



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos



TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

MÁSTER UNIVERSITARIO EN PLANIFICACIÓN Y GESTIÓN EN INGENIERÍA
CIVIL

Modalidad investigación

Autor: Ornaghi, Juan Matias

Tutor: Sanz Benlloch, María Amalia

Primer cotutor: Montalbán Domingo, María Laura

Primer cotutor externo: Herrera Valencia, Rodrigo Fernando

Valencia, Junio de 2021



AGRADECIMIENTOS

A mis tutores, Laura Montalbán Domingo, Amalia Sanz Benlloch y Rodrigo Herrera Valencia, por su guía, apoyo, sabiduría, profesionalismo, su inmensa predisposición, paciencia y calidez humana a lo largo de todo este proceso.

A los más de 100 investigadores y profesionales relacionados a Lean Construction de Iberoamérica que participaron de la encuesta y colaboraron activamente con el presente trabajo de investigación.

A mi familia, Dely, Juanjo, Flor y Santi, por apoyarme siempre y acompañarme en cada paso que doy. Por su confianza, su cariño y su motivación, siempre presentes y cerca, pese a los miles de kilómetros que nos separan hoy.

A Eliseo, mi otro hermano, por su generosidad, a Mathilde, mi compañera, por su paciencia y su apoyo constante, a mis compis de piso, a mis compañeros de Máster, colegas de la oficina, amigos de aquí y de allá.

En fin, gracias a todos aquellos que me han acompañado a lo largo de este proceso.



RESUMEN

El sector de la construcción en los últimos tiempos presenta bajos rendimientos en términos de productividad, pese al rol fundamental que cumple en el desarrollo de las sociedades, sobre todo si se la compara con otros sectores como el de la industria. Las causas que inducen a la baja productividad se asocian a incumplimientos en plazos de entrega, problemas de calidad, accidentes laborales, entre otras. La región Iberoamericana no se encuentra ajena a esta situación y en muchos de sus países las necesidades económicas y sociales son importantes.

Ante la necesidad de un cambio de perspectiva hacia una producción más eficiente, la aplicación de Lean Construction se presenta como una oportunidad para la mejora de los procesos productivos con beneficios demostrados. Principalmente desde su enfoque en la eliminación de desperdicios y en agregar valor desde la perspectiva del cliente. Sin embargo, son numerosas las publicaciones en diferentes países del mundo que evidencian la existencia de barreras que dificultan y ralentizan su implementación de manera eficiente.

El objetivo del presente trabajo de fin de máster es identificar y estudiar las principales barreras que puedan existir para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica. Para ello, en base a una revisión bibliográfica se recopilan 475 barreras para la implementación de Lean en diferentes países del mundo que se clasifican en 11 grupos según características y afinidad. A partir de ello se elabora un cuestionario que se envía a más de 300 profesionales e investigadores relacionados con Lean de Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, España, México, Paraguay, Perú, Portugal, República Dominicana y Venezuela. Se indaga sobre diferentes características que permiten definir al encuestado, su percepción respecto a la frecuencia de uso de herramientas Lean en su país y sobre la influencia de las 11 barreras seleccionadas.

El presente estudio busca contribuir con una descripción a nivel regional sobre las herramientas de Lean Construction que se utilizan con mayor frecuencia y las principales barreras que existen para implementarlas. Los hallazgos exponen que la falta de compromiso por parte de los directivos de las empresas representa la principal barrera para la implementación eficiente de Lean Construction en Iberoamérica, mientras que la herramienta que se utiliza con más frecuencia es Last Planner® System.

PALABRAS CLAVE

Sector de la construcción; productividad; Lean Construction; Herramientas Lean, barreras.



RESUM

El sector de la construcció en els últims temps presenta baixos rendiments en termes de productivitat, tot i al rol fonamental que compleix en el desenvolupament de les societats, sobretot si es compara amb altres sectors com el de la indústria. Les causes que indueixen a la baixa productivitat s'associen a incompliments en terminis de lliurament, problemes de qualitat, accidents laborals, entre altres. La regió Iberoamericana no es troba aliena a aquesta situació i en molts dels seus països les necessitats econòmiques i socials són altres.

Davant la necessitat d'un canvi de perspectiva cap a una producció més eficient, l'aplicació de Lean Construction es presenta com una oportunitat per a la millora dels processos productius amb beneficis demostrats. Principalment des del seu enfocament en l'eliminació de desaprofitaments i a agregar valor des de la perspectiva del client. No obstant això, són nombroses les publicacions en diferents països del món que evidencien l'existència de barreres que dificulten i alenteixen la seua implementació de manera eficient.

L'objectiu del present treball de fi de màster és identificar i estudiar les principals barreres que puguen existir per a la implementació de Lean Construction en el sector de la construcció en països d'Iberoamèrica. Per a això, sobre la base d'una revisió bibliogràfica es recopilen 475 barreres per a la implementació de Lean en diferents països del món que es classifiquen en 11 grups segons característiques i afinitat. A partir d'això s'elabora un qüestionari que s'envia a més de 300 professionals i investigadors relacionats amb Lean de Bolívia, el Brasil, Xile, Colòmbia, l'Equador, Espanya, Mèxic, Paraguai, el Perú, Portugal, República Dominicana i Veneçuela. S'indaga sobre diferents característiques que permeten definir a l'enquestat, la seua percepció respecte a la freqüència d'ús d'eines Lligen al seu país i sobre la influència de les 11 barreres seleccionades.

El present estudi busca contribuir amb una descripció a nivell regional sobre les eines de Lean Construction que s'utilitzen amb major freqüència i les principals barreres que existeixen per a implementar-les. Les troballes exposen que la falta de compromís per part dels directius de les empreses representa la principal barrera per a la implementació eficient de Lean Construction a Iberoamèrica, mentres que l'eina que s'utilitza amb més freqüència és Last Planner[®] System.

PARAULES CLAU

Sector de la construcció, productivitat, Lean Construction, eines, barreres.



ABSTRACT

The construction sector in recent times has presented low returns in terms of productivity, despite the fundamental role it plays in the development of societies, especially when compared with other sectors such as industry. The causes that induce low productivity are associated with non-compliance in delivery times, quality problems, work accidents, among others. The Ibero-American region is not immune to this situation and in many of its countries economic and social needs are important.

Faced with the need for a change in perspective towards more efficient production, the application of Lean Construction is presented as an opportunity to improve production processes with proven benefits. Mainly from its focus on eliminating waste and adding value from the customer's perspective. However, there are numerous publications in different countries of the world that show the existence of barriers that hinder and slow down its efficient implementation.

The objective of this master's thesis is to identify and study the main barriers that may exist for the implementation of Lean Construction in Ibero-American countries. To do this, based on a bibliographic review, 475 barriers are compiled for the implementation of Lean in different countries of the world, which are classified into 11 groups according to characteristics and affinity. Based on this, a questionnaire is prepared and sent to more than 300 professionals and researchers related to Lean from Bolivia, Brazil, Chile, Colombia, Ecuador, Spain, Mexico, Paraguay, Peru, Portugal, the Dominican Republic and Venezuela. It investigates the different characteristics that allow defining the respondent, his perception regarding the frequency of use of Lean tools in his country and the influence of the 11 barriers selected.

This study seeks to contribute with a regional description of the Lean Construction tools that are used most frequently and the main barriers that exist to implement them. The findings show that the lack of commitment on the part of company managers represents the main barrier for the efficient implementation of Lean Construction in Latin America, while the tool most frequently used is Last Planner[®] System.

KEYWORDS

Construction industry, productivity, Lean Construction, Lean techniques, barriers.



RESUMEN EJECUTIVO

Título: Análisis de las barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica	
Autor: Juan Matias Ornaghi	
1. Planteamiento del Problema	<p>El sector de la construcción presenta bajos rendimientos en términos de productividad, pese al rol fundamental que cumple en el desarrollo de las sociedades, sobre todo si se la compara con otros sectores como el de la industria. Las causas que inducen a la baja productividad se asocian a incumplimientos en plazos de entrega, problemas de calidad, accidentes laborales, entre otras. La región Iberoamericana no se encuentra ajena a esta situación y en muchos de sus países las necesidades económicas y sociales son importantes.</p> <p>La aplicación de Lean Construction es una oportunidad para la mejora de los procesos productivos con beneficios demostrados. Sin embargo, hay evidencia de barreras que dificultan su implementación de manera eficiente.</p>
2. Objetivos	<ol style="list-style-type: none">1. Identificar y analizar barreras para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción a escala mundial.2. Identificar las principales herramientas de Lean Construction relacionadas a las barreras de implementación de esta metodología.3. Identificar y analizar barreras para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en Iberoamérica.4. Comparar y contrastar la situación actual sobre la implementación de Lean Construction entre el escenario global y el iberoamericano.5. Establecer conclusiones y recomendar acciones para eliminar o mitigar el efecto de las barreras encontradas
3. Estructura organizativa	Capítulo 1 – Introducción: se introduce al tema de estudio del presente trabajo de fin de master, se realiza el planteamiento del problema, se definen alcance y objetivos.



	<p>Capítulo 2 – Marco teórico: se definen y describen conceptos básicos para la comprensión del estudio. Además, se analizan descubrimientos, métodos y clasificaciones realizadas por diferentes autores en estudios similares</p> <p>Capítulo 3 – Metodología de investigación: se describe paso por paso la metodología de investigación con la que se aborda el trabajo.</p> <p>Capítulo 4 – Resultados: se describen los resultados obtenidos de cada uno de los análisis estadísticos realizados de acuerdo a las preguntas de investigación establecidas.</p> <p>Capítulo 5 – Discusiones: en base a la bibliografía analizada se discuten los resultados conseguidos.</p> <p>Capítulo 6 – Conclusiones, recomendaciones y futuras líneas de investigación: se abordan conclusiones, se proponen recomendaciones y lineamientos para posibles nuevas investigaciones.</p> <p>Capítulo 7 – Bibliografía: se incluyen todas las referencias utilizadas en este documento.</p> <p>Capítulo 8 – Anejos: se incluye una tabla sobre el trabajo de revisión de la bibliografía realizado.</p>
<p>4. Método</p>	<p>A partir de una revisión bibliográfica se recopilan 475 barreras para la implementación de Lean en diferentes países del mundo que se clasifican en 11 grupos según características y afinidad. A partir de ello se elabora un cuestionario que se envía a más de 300 profesionales e investigadores relacionados con Lean en Iberoamérica. Se indaga sobre diferentes características que permiten definir al encuestado, su percepción respecto a la frecuencia de uso de herramientas Lean en su país y sobre la influencia de las 11 barreras planteadas. Las respuestas obtenidas se analizan estadísticamente para obtener resultados que se discuten con la bibliografía existente.</p>
<p>5. Cumplimiento de objetivos</p>	<p>Objetivo 1: se cumple. Las barreras para la implementación de Lean Construction a escala global se identifican y describen en el Capítulo 3, mientras que los resultados de la revisión bibliográfica se muestran en el Capítulo 4.</p> <p>Objetivo 2: se cumple. Las principales herramientas de Lean Construction se describen en el Capítulo 3, los resultados se representan en el Capítulo 4.</p>



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

	<p>Objetivo 3: se cumple. Se consigue a partir de análisis estadísticos realizados en los datos recopilados de la encuesta y se representa en el Capítulo 4</p> <p>Objetivo 4: se cumple. Los resultados obtenidos sobre Iberoamérica a partir de una encuesta y los resultados obtenidos a nivel global a partir de revisión bibliográfica se comparan y contrastan en el Capítulo 5.</p> <p>Objetivo 5: se cumple. En el capítulo 6 se exponen conclusiones sobre el trabajo realizado y se proponen recomendaciones.</p>
6. Contribuciones	<p>El presente trabajo contribuye con una descripción a nivel regional sobre las herramientas de Lean Construction que se utilizan con mayor frecuencia y las principales barreras que se encuentran para implementarlas.</p>
7. Recomendaciones	<p>Con respecto al sector público y la educación, se recomienda la inclusión de aspectos de Lean Construction en asignaturas de grado de carreras asociadas a la construcción, además de fomentar la formación específica en posgrados.</p> <p>Con respecto a los marcos legales y sistemas de contratación, se recomienda la inclusión de la implementación de Lean Construction como un requisito en sistemas de contratación tanto públicos como privados además de fomentar el uso de contratos de tipo colaborativos.</p>
8. Limitaciones	<p>La muestra analizada no representa a todos los países de la región Iberoamericana, considerando que, el 80% de la misma está conformada por personas de Brasil, Chile, Colombia y Perú.</p>



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Planteamiento del problema	16
1.2. Alcance	17
1.3. Objetivos.....	17
1.3.1. Objetivo general	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
1.4. Estructura del trabajo	17
1.5. Sistema de citas y referencias.....	18
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1. Introducción	19
2.2. Lean Thinking	19
2.2.1. Definición	19
2.2.2. Orígenes.....	19
2.2.3. Principios.....	20
2.2.4. Desperdicios (MUDA).....	23
2.3 Lean Construction	25
2.2.5. Orígenes.....	25
2.2.6. Definición	26
2.2.7. Principios.....	27
2.2.8. Herramientas.....	31
2.2.9. Beneficios.....	44
2.2.10. Barreras.....	46
3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	54
3.1. Fase teórica y metodológica	55
3.1.1. Revisión bibliográfica	55
3.1.2. Recopilación y selección de artículos.....	55
3.1.3. Marco teórico	56
3.1.4. Clasificación de barreras	56



3.1.5. Selección de herramientas	59
3.2. Fase de validación y análisis de datos	59
3.2.1. Elaboración de cuestionario y validación	59
3.2.2. Difusión del cuestionario	62
3.2.3. Recolección de datos	62
3.2.4. Fiabilidad de los datos.....	62
3.2.5. Análisis estadístico de los datos	63
3.2.6. Resultados y discusiones.....	69
3.2.7. Conclusiones y recomendaciones prácticas	69
4. RESULTADOS.....	70
4.1. Identificación de barreras para la implementación de LC – Revisión de literatura	70
4.1.1. Barreras más influyentes según región – Revisión de literatura.....	72
4.2. Identificación de herramientas para la implementación de LC–Revisión de literatura	75
4.3. Análisis de datos	77
4.3.1. Caracterización de la muestra	77
4.3.2. Fiabilidad de la muestra.....	82
4.3.3. Herramienta utilizada con mayor frecuencia en Iberoamérica	83
4.3.4. Barreras más influyente para la implementación en Iberoamérica	85
4.3.5. Influencia de las características del encuestado en su percepción sobre la frecuencia de uso de herramientas Lean	87
4.3.6. Influencia de las características del encuestado en la percepción sobre las barreras que existen para la implementación en Iberoamérica	98
4.3.7. Correlación entre variables de herramientas de Lean Construction	108
4.3.8. Correlación entre variables de barreras para la implementación de Lean	111
4.3.9. Relación entre variables de herramientas Lean y barreras para su implementación ..	115
5. DISCUSIÓN	118
6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	123
6.1. Conclusiones.....	123
6.2. Recomendaciones	124
6.3. Limitaciones	124



6.4.	Futuras líneas de investigación	125
7.	REFERENCIAS	126
8.	ANEJOS	134
8.1.	ANEJO 1: Revisión bibliográfica sobre herramientas y barreras en Lean Construction ..	135
8.2.	Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030	166



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de 5 principios de Lean Thinking	22
Figura 2. Tarjeta para la identificación de elementos prescindibles.....	32
Figura 3. Planificación tradicional	34
Figura 4. Planificación según LPS.....	35
Figura 5. Proceso de Last Planner® System.....	38
Figura 6. Procedimientos en kaizen	41
Figura 7. Esquema de metodología de investigación.....	54
Figura 8. Muestreo y selección de artículos.....	55
Figura 9. Frecuencia según clasificación de barreras.....	71
Figura 10. Barreras según región	72
Figura 11. Barreras en la región asiática	73
Figura 12. Barreras en la región africana	74
Figura 13. Barreras en la región europea.....	74
Figura 14. Barreras en la región sudamericana.....	75
Figura 15. Distribución de la muestra según País	78
Figura 16. Distribución de la muestra según formación académica	79
Figura 17. Distribución de la muestra según nivel de Formación Académica.....	79
Figura 18. Distribución de la muestra según nivel de experiencia.....	80
Figura 19. Distribución de la muestra según cargo.....	80
Figura 20. Distribución de la muestra según ámbito	81
Figura 21. Distribución de la muestra según sector de su organización.....	81
Figura 22. Diagrama de cajas para la herramienta 5 Why's (H2) respecto a país.....	90
Figura 23. Diagrama de cajas para País respecto a la herramienta Increased Visualisation	91
Figura 24. Diagrama de cajas la herramienta kaizen (H5) respecto a país	92
Figura 25. Diagrama de Cajas Kanban System (H6) con respecto a país.....	93
Figura 26. Diagrama de cajas para Last Planner® System (H7) respecto a país.....	94
Figura 27. Diagrama de cajas la herramienta visual managemen (H10) respecto a país	95
Figura 28. Diagrama de cajas para la herramienta I. visualisation (H3) respecto a F. académica .	96
Figura 29. Diagrama de cajas para la herramienta standardisation (H9) respecto a nivel de f. académica.....	98
Figura 30. Diagrama de cajas para gestión tradicional (B4) respecto a país.....	100



Figura 31. Diagrama de cajas para la barrera estrategias de contratación (B2) respecto a formación académica.....	102
Figura 32. Diagrama de cajas para la barrera dicotomía diseño-construcción (B7) respecto a formación académica	103
Figura 33 Diagrama de cajas para la barrera falta de sistemas de medición de desempeño (B10) respecto a formación académica	104
Figura 34. Diagrama de cajas para la barrera cultura y actitud con respecto a cargo.....	105
Figura 35. Diagrama de cajas para la barrera prob. de educación (B9) con respecto a cargo.....	106



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Tipo de desperdicios o "muda"</i>	23
Tabla 2. <i>Producción tradicional - Producción Lean Construction.</i>	30
Tabla 3. <i>Beneficios al aplicar Lean Construction</i>	44
Tabla 4. <i>Beneficios de Lean Construction en casos de estudio</i>	45
Tabla 5. <i>Clasificación de barreras para la implementación de Lean Construction</i>	46
Tabla 6. <i>Clasificación de barreras propuesta</i>	58
Tabla 7. <i>Preguntas sección de perfil del encuestado</i>	59
Tabla 8. <i>Interpretación de valores de alfa de Cronbach</i>	63
Tabla 9. <i>Estadísticos utilizados según pregunta de investigación.</i>	63
Tabla 10. <i>Identificación de herramientas en la bibliografía</i>	75
Tabla 11. <i>Casos válidos para análisis de fiabilidad en herramientas</i>	82
Tabla 12. <i>Alfa de Cronbach para variables de herramientas de Lean Construction</i>	82
Tabla 13. <i>Casos válidos para análisis de fiabilidad en barreras</i>	82
Tabla 14. <i>Alfa de Cronbach para variables de barreras</i>	83
Tabla 15. <i>Resumen de fiabilidad de la muestra en conjunto</i>	83
Tabla 16. <i>Cálculo de FI para las variables de herramientas de Lean Construction</i>	84
Tabla 17. <i>Ranking de herramientas de Lean Construction más utilizadas en Iberoamérica</i>	84
Tabla 18. <i>Cálculo de RII en variables de barreras para la implementación de Lean Construction.</i>	85
Tabla 19. <i>Ranking de barreras más influyentes para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica</i>	86
Tabla 20. <i>Variables que caracterizan a la muestra</i>	88
Tabla 21. <i>Resumen de H de Kruskal Wallis para herramientas de Lean Construction</i>	89
Tabla 22. <i>Prueba U de Mann-Whitney para la herramienta 5 why's (H2) respecto a país</i>	89
Tabla 23. <i>Prueba U de Mann-Whitney para la herramienta i.visualisation (H3) respecto a "país"</i> 90	
Tabla 24. <i>Prueba U de Mann-Whitney para la herramienta kaizen (H5) respecto a país</i>	91
Tabla 25. <i>Test de Bonferroni para la herramienta Kanban System (H6) respecto a país</i>	93
Tabla 26. <i>Prueba U de Mann-Whitney Last Planner® System (H7) respecto a país</i>	94
Tabla 27. <i>Prueba U de Mann-Whitney la herramienta visual management (H10) respecto a país</i> 95	
Tabla 28. <i>Prueba U de Mann-Whitney para i. visualisation (H3) respecto a F. académica</i>	96
Tabla 29. <i>Prueba U de Mann-Whitney para la herramienta standardisation (H9) con respecto a nivel de f. académica</i>	97
Tabla 30. <i>Resumen de H de Kruskal Wallis para barreras</i>	99



Tabla 31. Prueba U de Mann-Whitney para la barrera gestión tradicional (B4) respecto a país	100
Tabla 32. Prueba U de Mann-Whitney para la barrera estrategias de contratación (B2) respecto a formación académica	101
Tabla 33. Prueba U de Mann Whitney para dicotomía diseño-construcción (B7) respecto a formación académica	102
Tabla 34. Prueba U de Mann Whitney para la barrera falta de sistemas de medición de desempeño (B10) con respecto a formación académica	103
Tabla 35. Prueba U de Mann Whitney para la barrera cultura y actitud (B3) respecto a cargo.	105
Tabla 36. Prueba U de Mann-Whitney para la barrera problemas de educación (B9) respecto a sector	106
Tabla 37. Ranking de barreras para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica según ámbito	107
Tabla 38. Matriz de correlación para herramientas	108
Tabla 39. Indicadores de factibilidad del análisis factorial para herramientas	108
Tabla 40. Matriz de correlación anti-imagen para herramienta de Lean Construction	109
Tabla 41. Comunalidades para herramientas de Lean Construction	109
Tabla 42. Varianza total explicada para herramientas	110
Tabla 43. Matriz de componentes rotada para herramientas de Lean Construction	110
Tabla 44. Matriz de correlación para barreras	112
Tabla 45. Indicadores de factibilidad del análisis factorial para barreras	112
Tabla 46. Matriz de correlación anti-imagen para barreras	112
Tabla 47. Comunalidades para barreras	113
Tabla 48. Varianza total explicada para barreras	114
Tabla 49. Matriz de componentes rotada para barreras	114
Tabla 50. Prueba de Chi-Cuadrado: Significación asintótica	116
Tabla 51. Dirección y grado de asociación entre variables	117

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El sector de la construcción es el sector de la economía dedicado a la transformación de recursos en infraestructura y servicios para la sociedad. En el mismo se abarcan todas las fases necesarias para la transformación: planificación, diseño, financiación, adquisición, construcción, mantenimiento y explotación (Kirmani, 1988). El sector tiene un importante **rol en el crecimiento económico y desarrollo social** en la gran mayoría de los países (Yagual et al., 2018). Solo por citar algunos datos, puede mencionarse que, a nivel global, se estima que por año se invierten alrededor de 10 trillones de dólares en bienes y servicios relacionados a la construcción, equivalente al 13% del PIB mundial (Brown et al., 2017). Además, el sector es uno de los que tienen mayor impacto en la economía representando entre el 5 y el 9% del PIB en países en vías de desarrollo. Por otro lado, es una de las principales fuentes de trabajo tanto directa como indirectamente, representando el 7% del empleo a nivel mundial, es decir, 220 millones de personas (Beusch et al., 2019).

La región iberoamericana está formada por 22 países de realidades y contextos socio-económicos dispares y complejos, aunque sin dudas el sector de la construcción tiene un rol fundamental en el desarrollo de cada uno de los países que la conforman. En Argentina, Chile, Colombia y México la construcción es el componente más importante en la inversión de cada país representando entre el 55% y 69% del total (CEPAL, 2018). Mientras que, en España el sector de la construcción representó el 6.00% del PIB en 2019 (Rodríguez, 2019), de manera similar a lo que ocurre en países de Sudamérica y el caribe donde la industria de la construcción representa entre un 5% y un 7% del PIB según el país (*CEPALSTAT Estadísticas e Indicadores*, s. f.).

A pesar de su indiscutible importancia para la sociedad, es una realidad que la construcción, a lo largo de las últimas décadas, ha dado muestras de **baja productividad**. Sobre todo, si se la compara con otros sectores como el de la industria o la agricultura (Brown et al., 2017). La baja productividad del sector puede traducirse en aspectos como: incumplimiento en plazos de entregas, accidentes laborales, problemas de calidad, sobrepuestos, incertidumbres en contratos de obras, entre otros (Pons, 2014). Los estudios realizados por Brown et al. (2017), de McKinsey Global Institute, revelan que, si la productividad del sector de la construcción alcanzara los niveles de crecimiento anual de la economía global, el valor agregado de la industria podría incrementarse en 1.6 trillones de dólares al año. Esta cifra podría contextualizarse como la mitad de las necesidades de infraestructura del mundo, o el 2% del PIB mundial.

Algunos de los aspectos de la baja productividad del sector son atribuidos a las características particulares del mismo. Las más importantes: excesiva fragmentación, producción en el sitio, productos únicos y por encargo (Koskela, 1994). Además, en el sector de la construcción, solo el cliente es quien genera demanda de proyectos y generalmente es el estado. El sistema de contratación de obras y proyectos en su gran mayoría se adjudican en licitaciones basadas en el precio, y no otros aspectos. Por último, la industria de la construcción se caracteriza por su dinamismo, su sensibilidad ante políticas públicas, y su falta de estrategias de desarrollo a mediano y largo plazo (Mokhtariani et al., 2017).

En este contexto, es indiscutible la **necesidad de un cambio de perspectiva hacia una producción más eficiente**. Pons (2014) define a **Lean Construction** o construcción sin pérdidas a la aplicación de los principios y herramientas “Lean” al proceso completo de un proyecto desde su concepción hasta su ejecución y puesta en servicio. Es una filosofía de trabajo que mediante el proceso de mejora continua minimiza todas aquellas actividades y transacciones que no añaden valor, optimizando recursos y maximizando la entrega de valor al cliente. De esta manera, se busca producir a un menor coste, con mayor



calidad, mayor seguridad y plazos de entrega más cortos, mitigando directamente a los problemas de productividad mencionados (Jones y Womack, 2012).

Aunque la implementación de la filosofía Lean en el sector de la construcción lleva estudiándose y aplicándose de manera paulatina en las últimas dos décadas en diferentes países del mundo, son numerosos los estudios que dan evidencia de la presencia de obstáculos, **barreras o desafíos para su implementación.**

Considerando los complejos escenarios socio-económicos de la región iberoamericana, la importancia del sector de la construcción, los problemas de productividad existentes y la implementación de herramientas de Lean Construction como un medio para subsanarlos, el objetivo del presente trabajo de fin de máster es el estudio y análisis de las barreras que existen para la implementación de Lean Construction en la región Iberoamericana.

1.2. Alcance

El alcance de este trabajo de fin de máster ha sido la identificación, en base a revisión bibliográfica y encuestas, de las barreras existentes para la implementación Lean Construction en Iberoamérica, incluyendo a los siguientes países: Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, España, México, Paraguay, Perú, Portugal, República Dominicana y Venezuela.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

El objetivo del presente trabajo de fin de master es identificar y estudiar las principales barreras que puedan existir para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar y analizar barreras para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción a escala mundial.
- Identificar las principales herramientas de Lean Construction relacionadas a las barreras de implementación de esta metodología.
- Identificar y analizar barreras para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en Iberoamérica.
- Comparar y contrastar la situación actual sobre la implementación de Lean Construction entre el escenario global y el iberoamericano.
- Establecer conclusiones y recomendar acciones para eliminar o mitigar el efecto de las barreras encontradas

1.4. Estructura del trabajo

En primer lugar, en el Capítulo 1, se introduce al tema de estudio del presente trabajo de fin de master. Aquí se realiza el planteamiento del problema, se establecen objetivos generales y específicos, se describe el alcance de la investigación y el sistema de citas y referencias empleado.

Luego, en el Capítulo 2, se plantea el marco teórico de la investigación. En base a una revisión bibliográfica y búsqueda de antecedentes se definen y describen conceptos básicos para la comprensión del estudio. Además, se analizan descubrimientos, métodos y clasificaciones realizadas por diferentes



autores en estudios similares, describiendo la situación actual a nivel global sobre el estudio de barreras para la implementación de Lean Construction.

En el Capítulo 3, se describe paso por paso la metodología de investigación con la que se aborda el trabajo. Se describen los criterios utilizados para la búsqueda bibliográfica, selección y clasificación de la información obtenida y selección de variables. Además, se diseña un cuestionario con el objetivo de recopilar información sobre cuáles son las barreras que se presentan para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica. Por último, se describe cada uno de los análisis estadísticos que se utilizan para el análisis de la información recolectada del cuestionario según las preguntas de investigación planteadas.

Posteriormente, en el Capítulo 4, se representan los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica, clasificación de herramientas de Lean Construction y barreras para su implementación. Además, se representan los descubrimientos de investigadores en estudios similares según región geográfica. Luego, en base a las respuestas obtenidas se describe a la muestra encuestada según las siguientes características: país, formación académica, nivel de formación académica, años de experiencia, cargo, sector. Finalmente se describen los resultados obtenidos de cada uno de los análisis estadísticos realizados de acuerdo a las preguntas de investigación establecidas.

Los resultados obtenidos son contrastados y discutidos en base a la bibliografía en el Capítulo 5. Por último, en el Capítulo 6 se abordan conclusiones, en base a los objetivos planteados para la presente investigación, se proponen recomendaciones y lineamientos para posibles nuevas investigaciones.

1.5. Sistema de citas y referencias

El sistema de citas utilizado en el documento es el de la American Psychological Association (APA). Se basa en el apartado de formato de citas y referencias del Manual de estilo APA (7ª Edición). Este manual se puede consultar en <https://apastyle.apa.org/>.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción

Con el objetivo de brindar un marco conceptual al trabajo de fin de master realizado, en el presente capítulo se desarrollan en base a una revisión bibliográfica realizada, los conceptos teóricos relacionados a Lean Construction. Para su explicación, primero abordan los conceptos de Lean Thinking, concepto del que surge Lean Construction, sus orígenes y principios que lo rigen. Posteriormente se desarrollan propiamente los conceptos de Lean Construction, enfocándose en sus principios, herramientas de aplicación, beneficios, y posibles barreras de implementación.

2.2. Lean Thinking

2.2.1. Definición

La palabra Lean es un adjetivo de origen inglés y la traducción literal al castellano es: delgado, sin grasa, esbelto, magro (*lean - English-Spanish Dictionary - WordReference.com*, s. f.). El término “Lean Thinking” o “Lean Production” es introducido por primera vez por los autores J. P. Womack, D. Jones y D. Roos en el libro publicado en el año 1990 “The machine that changed the world: The story of Lean Production”. Donde se comienza a hablar de la filosofía Lean con este nombre (Hines et al., 2004).

Jones y Womack (2012) definen al pensamiento Lean como “un método para especificar valor, alinear las acciones creadoras de valor de acuerdo con la secuencia óptima, llevar a cabo estas actividades sin interrupción siempre que alguien las solicite y realizarlas de forma cada vez más eficaz” (p.7). O, en otras palabras: “un método de hacer más y más con menos y menos, menos esfuerzo humano, menos equipamiento, menos tiempo y menos espacio, mientras se acerca más a ofrecer a los clientes aquello que quieren exactamente” (p.8). Otra definición es la que plantean Hopp y Spearman (2004): “Lean Production (producción Lean) es un sistema integrado que logra la producción de bienes y servicios con costes mínimos de almacenamiento”(p.144).

2.2.2. Orígenes

Aunque la filosofía Lean comience a ser llamada como tal a principios de los 90's, sus orígenes radican a principios de siglo XX en la compañía Toyota, en Japón.

Fue en una pequeña fábrica de telas, Toyota Automatic Loom Works, fundada por Sakichi Toyoda a principios de siglo donde se inventó un dispositivo innovador para la época en el que las máquinas se detenían automáticamente cuando se detectaba algún error (se rompía el hilo). Esto forma parte de un concepto posteriormente adoptado por la filosofía Lean llamado “Jidoka”, que se traduce como calidad incorporada. Otro importante concepto que, tempranamente, aplica Toyoda es el de “5 Why's”, “5 porqués” en castellano, una técnica para identificar la causa raíz de los problemas que aparezcan (Hernández y Vizán, 2013).

En la misma época, en los Estados Unidos de América, el modelo innovador de Henry Ford de producción de automóviles en masa y su línea de montaje en cadena se implementaba con éxito significando uno de los hitos más trascendentes en la historia de la industria (Hernández y Vizán, 2013).

A mediados de 1935 Kiichiro Toyoda, hijo de Sakichi, funda Toyota Motor Company compañía dedicada a la industria automotriz. Una década después la empresa, al igual que muchas, se encuentra en el difícil escenario post segunda guerra mundial. Como resultado de la escasez de recursos y la intensa competencia la compañía busca innovar con alternativas “prácticas” (Hines et al., 2004). Motivados por Eiji Toyoda y Taiicho Ohno, Toyota comienza a implementar un sistema de producción llamado “Just in



time” (JIT), cuyo principio es “producir solo lo que se demanda y cuando el cliente lo solicita”. El objetivo de este sistema es nivelar el inventario y la producción (Hernández y Vizán, 2013).

A mediados de 1950, especialistas de Toyota comenzaron a realizar visitas a las fábricas de automóviles norteamericanas. El estudio del modelo de producción automotriz en Estados Unidos por parte de la compañía japonesa concluyó en que la producción en masa genera excesiva acumulación de materia prima y productos terminados, además del hecho de tener numerosos productos finales con desperfectos que generan pérdidas (Hines et al., 2004).

Los directivos de Toyota entendieron la necesidad de transformar las operaciones productivas en flujos continuos, buscando reducir los tiempos en los procesos, sin interrupciones y enfocando los esfuerzos a producir únicamente lo que el cliente requiere. A partir de esto, además de seguir perfeccionando el sistema de producción JIT se desarrollaron otras importantes técnicas que hoy forman parte de Lean como Kanban, Jidoka, Poka-yoke entre otras. Siempre con el foco puesto en la eliminación de los desperdicios en todo el proceso productivo (Hernández y Vizán, 2013).

A modo de resumen y ubicación en una línea de tiempo, puede decirse que bajo el liderazgo de Taiichi Ohno, estas nuevas técnicas fueron aplicadas a la fabricación de motores de automóviles en la década de 1950, al ensamblaje de vehículos en 1960 y a toda la cadena de suministro hacia 1970. Fue a partir de esto que se comenzaron a producir manuales y a transferir estos nuevos conocimientos por fuera de la compañía Toyota (Hines et al., 2004).

Estos manuales redactados en japonés comenzaron a ser analizados por diferentes especialistas del sector. Pero no fue hasta inicios de la década de 1990, cuando a partir de la publicación “The machine that changed the world: The story of Lean Production”, este nuevo eficiente sistema de producción, bajo el nombre de “Lean Production” toma gran visibilidad en occidente (Hernández y Vizán, 2013).

2.2.3. Principios

Una vez definido el pensamiento Lean y, de manera general, sus orígenes, se desarrollan los principios que rigen a esta filosofía. Estos fueron propuestos por los mismos autores que lo definieron, Womack y Jones, pero en libro publicado en 1996: “Lean Thinking”.

En esta ocasión los autores Jones y Womack (2012), en la edición de “Lean Thinking” publicada en castellano, plantean los siguientes 5 principios básicos:

1. Especificar el valor
2. Identificar el flujo de valor
3. Flujo
4. Pull (atracción)
5. Perfección

1. *Especificar el valor*

Jones y Womack (2012) establecen que el punto de partida o el primer paso para el pensamiento lean es el valor. “El valor sólo puede definirlo el consumidor final. Y solamente es significativo cuando se expresa en términos de un producto que satisface las necesidades del consumidor a un precio concreto, en un momento determinado” (p.8).

Pons (2014) plantea que el objetivo fundamental de Lean es crear valor para el cliente. Para lograr un diseño y un proceso de fabricación efectivo de un producto es necesario comprender el concepto de valor desde el punto de vista del cliente. En otras palabras, identificar qué valorará el cliente y enfocar el



diseño y el método productivo a este aspecto. Jones y Womack (2012) plantean que desarrollar un bien o servicio incorrecto, por más que haya sido producido de manera correcta, es un desperdicio.

Por otro lado, se pueden distinguir dos tipos de clientes. Los clientes externos que pueden ser identificados como los consumidores finales o usuarios del bien o servicio, quienes definen el valor. Luego, pueden definirse clientes internos, quienes forman parte de un proceso productivo y reciben un input, ya sea información o material, del componente anterior en el mencionado proceso (Pons, 2014).

2. Identificar el flujo de valor

Jones y Womack (2012) definen al flujo de valor, en inglés “value stream”, como: “el conjunto de todas las acciones específicas requeridas para pasar un producto específico (un bien o servicio, o una combinación de ambos) por las tres tareas de gestión críticas de cualquier empresa: la tarea de solución de problemas que se inicia en la concepción, sigue en el diseño detallado e ingeniería, hasta su lanzamiento a la producción” (p.13).

En otras palabras, los autores definen al flujo de valor como todas las tareas necesarias para transformar información y/o materiales o materia prima en un producto o servicio. Desde el inicio hasta el fin del proceso productivo en su totalidad. Definiendo el inicio como el momento en el que se recibe el pedido o encargo, y el final, al momento en el que el servicio o producto es entregado al cliente (Jones y Womack, 2012).

Pons (2014) expone la importancia para una empresa de identificar y focalizarse en su flujo de valor, ya que es donde más fácil es encontrar acciones o tareas que generan desperdicios y por ende facilita el desarrollo de planes para combatirlos o erradicarlos.

El flujo de valor de una compañía puede ser amplio o global involucrando a todos los proveedores y clientes, o puede ser puntual y reducido a nivel de un proceso menor o una célula de trabajo (Pons, 2014). Pero en todos los casos la importancia de focalizarse en el flujo de valor radica en identificar las actividades que añaden valor al cliente y las que generan desperdicios.

3. Flujo

Recapitulando los primeros principios de la filosofía Lean, una vez que se ha definido con claridad el concepto de valor, la compañía ha identificado el flujo de valor en su totalidad, reconociendo aquellas actividades que no agregan valor o generan desperdicios. Jones y Womack (2012) plantean que el paso siguiente para una compañía Lean es enfocarse en la ejecución de las actividades que se consideran que crean valor.

Por lo general, las tareas que efectivamente añaden valor para el cliente no representan la mayoría de las actividades. Es por esto la necesidad de focalizarse en identificar el flujo de valor ya que eliminar las tareas que generan desperdicios es una forma de crear flujo continuo en toda la cadena de valor (Pons, 2014).

4. Pull (Atracción)

La filosofía Lean plantea un sistema de control de la producción dominado por la demanda. Es decir, diseñar, programar, fabricar lo que el cliente (ya sea interno o externo) precisamente desea, en el momento y en las cantidades que desea (Jones y Womack, 2012). Por ejemplo, en una cadena productiva formada por diferentes procesos, los procesos “aguas arriba” deben producir bienes y servicios solo si han sido solicitados por el cliente “aguas abajo”, bajo las condiciones de entrega propuestas por el mismo.

El sistema “Pull” puede considerarse en la dirección opuesta de los sistemas de producción tradicionales (“Push”). En estos, la producción se basa en una demanda prevista, con grandes lotes de producción y almacenamiento, donde se empujan (“push”) productos al mercado. Al no tener en cuenta el ritmo de demanda real, pueden generar desperdicios (Pons, 2014).

El sistema de producción “pull” se focaliza en eliminar los desperdicios generados por la sobreproducción y exceso de inventario. Una de las principales herramientas que Lean ofrece para llevarlo a cabo es el Kanban System en donde el cliente especifica en unas tarjetas o formularios qué necesitan, en qué cantidad, cuándo y dónde (Pons, 2014).

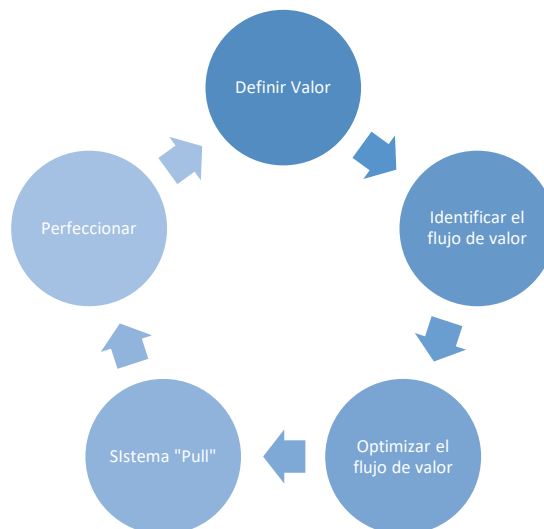
5. Perfección

El quinto y último principio planteado por Jones y Womack (2012) es la perfección, o búsqueda permanente de la perfección a través de un proceso de mejora continua. Es posible entender la aplicación de los cinco principios de Lean Thinking como un ciclo o proceso iterativo como se muestra en la Figura 1. Donde se observa que, una vez que las compañías comienzan a definir o redefinir el valor, identifican con precisión su cadena de valor, logran que las actividades que añaden valor fluyan eliminando desperdicios y dejan que los clientes atraigan valor desde la empresa (pull), las empresas comienzan a ofrecer un producto final cada vez más eficaz con respecto a lo que el cliente realmente necesita.

Pons (2014) plantea que la transparencia es uno de los aspectos importantes que ayudan a la búsqueda de la perfección. La transparencia hace referencia a la facilidad de acceso a información y comunicación entre todas las partes involucradas en la cadena de valor. Esto genera un feedback entre los diferentes procesos que estimula a mejorar la creación de valor, descubrir nuevas metodologías y eliminar desperdicios.

Figura 1

Ciclo de 5 principios de Lean Thinking. Fuente: adaptación de (Pons, 2014)





2.2.4. Desperdicios (MUDA)

En el apartado anterior se han descrito los cinco principios de la filosofía Lean propuestos por Jones y Womack (2012). En todos los principios se menciona de una manera u otra la palabra desperdicio, ya que es uno de los objetivos principales de la filosofía Lean identificarlos y eliminarlos. Pons (2014) expone que toda actividad en el proceso productivo que no añade valor para el cliente se considera “muda”, desperdicio o despilfarro y puede ser eliminado o, al menos, minimizado.

Muda es una palabra de origen japonés que significa desperdicio o despilfarro, específicamente toda aquella actividad realizada que consume recursos pero no añade valor (Jones y Womack, 2012). En la producción de un bien o servicio en una compañía Lean, esto podría traducirse en actividades innecesarias, fallos que precisan rehacer una tarea, producción de artículos indeseados, generación de almacenamiento y productos sobrantes, transporte de materiales o información sin propósito, personas esperando, etc.

El mencionado gerente de Toyota, Taiichi Ohno descubrió que en una compañía gran parte de las actividades que se realizan podrían ser eliminadas o mejoradas ya que no añaden valor al cliente. Además, clasificó a los diferentes tipos de muda (o desperdicios) en siete grupos que se mencionan y describen a continuación en la Tabla 1. Vale la pena aclarar que Taiichi Ohno encontró 7 grupos de muday luego Jones y Womack (2012) agregaron el octavo grupo.

Tabla 1

Tipo de desperdicios o "muda". Fuente: adaptación de (Pons, 2014)

Tipo de desperdicio o "muda"	Descripción
Sobreproducción	Sobrepasar la demanda del cliente. Producir más cantidad de la requerida o antes de lo esperado.
Esperas	Interrupción del trabajo o tiempo de inactividad por falta de entrega de información, material o bien por parte del proceso aguas arriba.
Transporte innecesario	Transporte innecesario de recursos por mala planificación o falta de logística.
Sobreprocesamiento	Operaciones innecesarias, por malas instrucciones, exceder lo requerido, inspecciones excesivas, etc.
Exceso de inventario	Exceso de stock o existencias.
Movimientos innecesarios	Movimientos innecesarios realizados por los trabajadores, por mala planificación, falta de estandarización, método equivocado, etc.
Defectos	Averías, errores, retrabajo.
Creatividad desaprovechada conocimientos, experiencias, etc.	Potencial de las personas que no se aprovecha, por no escuchar sus ideas,



Sobreproducción

Los desperdicios generados por sobreproducción son aquellos relacionados a la producción de cantidades mayores a las requeridas, invertir o desarrollar equipos con mayor capacidad que la necesaria, diseños excesivamente detallados o más calidad que la esperada por el cliente (Pons, 2014).

La sobreproducción es un desperdicio crítico ya que es el origen de otras clases de desperdicios. Se consume tiempo y recursos en la producción de un bien o servicio que no es demandado, generando almacenamiento y transportes innecesarios.

Las causas de este tipo de muda pueden ser diferentes según la empresa, pero algunas de ellas son la falta de comunicación, exceso de capacidad productiva, maquinaria obsoleta y principalmente un enfoque de respuesta hacia las previsiones (Push) y no hacia la demanda (Pull) (Hernández y Vizán, 2013).

Esperas

El desperdicio por “espera” o “tiempo de espera” es quizás uno de los más comunes en todo tipo de procesos productivos. Su existencia tiene diversas causas de origen, pero la principal se basa en una secuencia de trabajo o proceso ineficiente, por ende, mal diseñado (Hernández y Vizán, 2013).

Los tiempos de esperas se pueden dar por falta de datos, información, materiales o comunicación por parte del proceso aguas arriba o actividad anterior. En otras palabras, esperar a que termine el proceso o actividad anterior. También pueden darse por esperas burocráticas, como autorizaciones o aprobaciones necesarias. Otro importante motivo se encuentra en problemas financieros, escasez de equipos o herramientas (Pons, 2014).

Transporte y movimiento innecesarios

Estos dos tipos de muda hacen referencia, primero, al transporte innecesario de materiales, información o recursos en general, con su consecuente coste y el segundo, a los movimientos innecesarios realizados por los operarios o trabajadores.

El transporte innecesario de recursos tiene su causa principal de origen en la falta de planificación del flujo de materiales e información. Puede traer como consecuencia pérdida de materiales, deterioro, almacenamiento, exceso de inventario, costes innecesario y pérdida de tiempo.

Por otro lado, el movimiento innecesario por parte de las personas que participan en el proceso productivo, también es causado por falta de planificación, aunque de ella se desprenden otras causas como, por ejemplo: utilización de equipos inadecuados, falta de estandarización, mala disposición y organización de las estaciones de trabajo en el sitio. Claramente esto genera pérdida de tiempo e incluso puede generar un riesgo innecesario para los trabajadores (Pons, 2014).

Sobreprocesamiento

Los desperdicios causados por sobreprocesamiento están directamente relacionados con uno de los principios Lean. En este caso, no hacer un correcto análisis de la cadena de valor para identificar los procesos y actividades que añaden valor al cliente, y los que no, trae como consecuencia este tipo de desperdicio. En otras palabras, los procesos que no se revisan y se optimizan llevan a hacer tareas innecesarias. Otra causa de esto podría ser la falta de estandarización.

Un ejemplo de este tipo de desperdicio se puede ver en la construcción, cuando se realizan procesos adicionales, utilizando más materia prima, más equipos, energía, etc. O también, cuando se realizan inspecciones excesivas, controles adicionales, etc. (Pons, 2014).



Exceso de inventario

Hernández y Vizán (2013) plantean que el exceso de inventario o almacenamiento es uno de los peores desperdicios que una compañía debe tener ya que encubren deficiencias, productos defectuosos, generan productos obsoletos. Además, el inventario necesita gestión, mantenimiento, contabilidad, vigilancia, con sus correspondientes costes. Por último, exponen que el exceso de inventario, es decir, que se acumule material, antes y después del proceso, indica que el flujo de producción no es continuo. Por ende, va en contra de uno de los principios Lean.

Defectos

Los desperdicios provocados por errores o defectos son muy frecuentes en algunos procesos productivos. Esto representa una gran pérdida en la productividad ya que incluye los recursos necesario para rehacer la actividad, como consecuencia de no haberlo hecho correctamente en una primera instancia (Hernández y Vizán, 2013).

Los errores o defectos pueden ser producidos por diferentes causas, como errores de diseño, mediciones, errores humanos, métodos de trabajo incorrectos, malas instalaciones, etc. (Pons, 2014). Hernández y Vizán (2013) plantean la necesidad de diseñar procesos productivos a prueba de errores, con el objetivo de minimizar las tareas de control e inspección y lograr productos con la calidad esperada. También agregan que los procesos tendrían que incluir un método de control de calidad en tiempo real para evitarlos.

Creatividad desaprovechada

El último tipo de desperdicio planteado por Jones y Womack (2012) es el desaprovechar la creatividad o ideas de los empleados de la compañía. Una probable causa de este tipo de pérdida viene dada por las políticas implementadas por las compañías y una estructura organizacional vertical, en la que muchas veces, no se escuchan ideas ni se motivan a los empleados a hacer uso de su creatividad e inteligencia. Como consecuencia, se pierde tiempo, y se desaprovechan oportunidades de aprendizaje y de mejora en los procesos para obtener mayores rendimientos (Pons, 2014).

2.3 Lean Construction

2.2.5. Orígenes

La filosofía de Lean Thinking se ha implementado con eficacia en diferentes sectores productivos, principalmente en el industrial, en sus comienzos, en el sector automotriz y luego expandiéndose hacia otras industrias. También se emplea con éxito en empresas proveedoras de servicios y a nivel de gestión de empresas en diferentes ámbitos (Seed, 2015). Entonces, ¿Por qué no implementarlo en el sector de la construcción?

La adaptación de la filosofía Lean al sector de la construcción, luego llamado “Lean Construction”, comenzó a estudiarse y darse de manera teórica a principios de la década del 90. Fue el finlandés Koskela (1992), quien comenzó a construir las bases del Lean Construction con su publicación “Application of the new production philosophy to construction” (aplicación de la nueva filosofía de producción a las construcción en castellano). El autor analiza los sistemas productivos Just in Time, las técnicas aplicadas en Toyota y gestión de la calidad total. Además, plantea tres objetivos principales: reducción de costes, ahorro de tiempo y aumento de valor hacia el cliente (Alarcón y Pellicer, 2009). Al igual que Womack y Jones para Lean Thinking, Koskela establece los principios de Lean Construction, en este caso, once principios que se describirán posteriormente.



Por otro lado, en el año 1997 se crea el International Group for Lean Construction (IGLC), que organiza congresos anuales cumpliendo un importante rol en la difusión de la filosofía Lean aplicada al sector de la construcción alrededor del mundo (Alarcón, 1997).

A principios de los años 2000 era una realidad que, en términos de eficiencia y optimización en sus procesos, el sector de la construcción llevaba años de retraso con respecto a otros sectores como por ejemplo el industrial. Para citar algún caso concreto, Seed (2015) comenta que los estudios realizados por ICC (International Construction Costs) en el año 2004, reflejaban que el 50% de los esfuerzos necesarios para entregar una obra terminada eran actividades que no añadían valor al cliente. O los resultados obtenidos por Teicholz (2004), que expresan que el sector de la construcción se encontraba en un declive productivo de décadas donde, por ejemplo, la efectividad en una hora laboral de un empleado del sector de la construcción no había tenido ningún avance en los últimos 50 años.

Además Ilozor y Kelly (2012), caracterizaban a la industria de la construcción en los 2000' como ineficiente, improductiva y llena de desperdicios. Este declive productivo podía asociarse a diferentes factores como los tipos de contratos vigentes, métodos de diseño anticuados, falta de tecnologías aplicadas, falta de apoyo gubernamental, etc. En resumen, más allá de las particularidades de cada sector productivo, era notoria la necesidad de hacer algo para comenzar a lograr procesos más eficientes como los realizados por otros tipos de industria. La aplicación de Lean Construction podía encontrarse como una posible solución.

A mediados de 2005 y principalmente en el Reino Unido y los Estados Unidos de América, algunas herramientas de Lean Construction comenzaron a implementarse cada vez más por empresas constructoras (Pons, 2014). El empleo paulatino de estas nuevas herramientas de gestión ha permitido que se vayan implantando en diferentes eslabones de la cadena de valor, llegando al diseño, contratación, ejecución, transporte, suministro, contratación, etc. Modificando radicalmente la relación entre los diversos participantes (Alarcón y Pellicer, 2009).

En muchos casos, las empresas que han logrado implementar Lean Construction de manera exitosa, han incrementado sus niveles de rendimiento, productividad, calidad, seguridad, cumplimiento de plazos y reducción de costes. Si bien los países pioneros de su aplicación son Estados Unidos y Reino Unido, en la última década se está expandiendo de manera global (Pons, 2014).

2.2.6. Definición

La publicación realizada por Lauri Koskela en 1992 "Application of the new production philosophy to construction" marcó un hito en la historia a partir del cual se genera una corriente de investigación sobre la implementación de la filosofía Lean al sector de la construcción. Son numerosos los autores que definen Lean Construction, cuyo término comenzó a utilizarse por los fundadores del IGLC en 1993 (Pons, 2014). A continuación, se recopilarán algunas de sus definiciones.

Alan Mossman (2018) plantea que no hay una única y aceptada definición de Lean Construction y hace un análisis de diferentes definiciones encontradas en su revisión bibliográfica.

Los autores Koskela et al. (2002), definen a Lean Construction "como una forma de diseñar sistemas de producción que minimicen el desperdicio de materiales, tiempo y esfuerzo para generar el máximo valor posible" (p.211).

La definición que propone el Lean Construction Institute, citada por Pons (2014), es la siguiente: "Lean Construction (Construcción sin Pérdidas) es un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto. Aplicado a la gestión integral de proyectos, desde su diseño hasta su entrega,



Lean cambia la forma en que se realiza el trabajo a través de todo el proceso de entrega. La Construcción sin Pérdidas se extiende desde los objetivos de un sistema de producción ajustada, es decir, maximizar el valor y minimizar los desperdicios, hasta las técnicas específicas, y las aplica en un nuevo proceso de entrega y ejecución del proyecto” (p. 27).

Además, plantean que la implementación de Lean Construction implica lo siguiente:

- Se diseñan conjuntamente proyecto, ejecución y entrega en pos de satisfacer los requisitos del cliente.
- Se planifican la totalidad de las tareas del proceso para maximizar el valor y reducir los desperdicios en la ejecución de los proyectos.
- Los rendimientos en sistemas de planificación y control se miden y evalúan en busca de la mejora continua.

Pons (2014), lo define de la siguiente manera: “Lean Construction persigue la excelencia a través de un proceso de mejora continua en la empresa, que consiste fundamentalmente en minimizar o eliminar todas aquellas actividades y transacciones que no añaden valor, a través de la optimización de recursos y la maximización de la entrega de valor al cliente, para diseñar y producir a un menor coste, con mayor calidad, más seguridad y con plazos de entrega más cortos, dentro de un marco ecológico con el entorno. Lean Construction trata de alcanzar estos objetivos en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto de edificación, contando con todos los agentes sociales que intervienen en el proceso de diseño y construcción y con todas las personas y empresas que participan en la cadena entera de suministro y en cada flujo de valor, sin dejar a nadie fuera e integrando a todos bajo una meta común según los principios del sistema Lean” (p. 27).

Por último, Seed (2015) ,define a Lean Construction como “un enfoque de gestión de producción orientado al respeto y las relaciones para la ejecución de proyectos. Una forma nueva y transformadora de diseñar y construir. Aplicado al diseño, suministro y construcción, Lean cambia la forma en que se realiza el trabajo en todo el proceso de entrega del proyecto” (p. 28).

2.2.7. Principios

En los apartados anteriores se han explicado los orígenes de Lean Construction y las diferentes definiciones del concepto. Aquí se plantea que Lean Construction surge de la aplicación de Lean Production a la industria de la construcción. Lauri Koskela (1994), establece que para poder comprender y aplicar esto se debe partir del siguiente concepto: en todo proceso productivo hay actividades de flujo y actividades de conversión. Todas las actividades consumen recursos, pero solo las actividades de conversión agregan valor al producto final. A partir de esto, todos los esfuerzos de una compañía deberían enfocarse a reducir o eliminar todas aquellas actividades de flujo que no agregan valor y a lograr realizar de manera más eficientes las actividades de conversión.

El autor también plantea que los principios de producción y gestión tradicional en la que no se diferencian estos dos grandes grupos de actividades, generan flujos productivos complejos y confusos con muchas tareas que no añaden valor.

Entonces las actividades de flujo, con su respectivo coste, tiempo y valor, son los aspectos claves de análisis en Lean. Para esto Koskela plantea 11 principios básicos para el diseño, control y mejora de un proceso que se describen a continuación:

1. Reducir las actividades que no aportan valor al cliente
2. Aumentar el valor del producto/servicio a través de la información del cliente.



3. Reducir variabilidad.
4. Reducir el tiempo de ciclo.
5. Simplificar procesos.
6. Aumentar la flexibilidad de producción.
7. Aumentar la transparencia del proceso.
8. Enfocar el control al proceso completo
9. Mejorar continuamente el proceso.
10. Equilibrar las mejoras en las actividades de flujo con las de conversión
11. Benchmark (Referenciar los procesos con los de las organizaciones líderes)

1. Reducir las actividades que no aportan valor al cliente

Koskela (1992) define y distingue entre las actividades que añaden valor al cliente y las que no de la siguiente manera:

- Actividades que añaden valor son aquellas que aportan material o información requerida por el cliente.
- Actividades que no añaden valor son aquellas que consumen tiempo, recursos y espacio, sin añadir valor.

Aportando un ejemplo más que ilustrativo de la importancia de este principio, en el sector de la construcción aproximadamente dos tercios del total del tiempo necesario para entregar una obra es utilizado en actividades que no añaden valor (Koskela, 1994).

2. Aumentar el valor del producto/servicio a través de la información del cliente.

Existen dos tipos de clientes: internos y externos. En cualquier actividad, el cliente interno puede ser la actividad siguiente, y el externo, el consumidor final.

El concepto de valor debe considerarse desde el punto de vista del cliente. Lo que significa, que la empresa debe enfocarse en conocer los requerimientos del cliente y adaptar su producto a ello.

El principal objetivo de este principio es definir al cliente en cada instancia del proceso productivo y analizar sus requerimientos (Koskela, 1992).

3. Reducir la variabilidad

Los procesos productivos en el sector de la construcción se caracterizan por ser variables entre sí, aunque se traten del mismo tipo de proyecto u obra. Koskela (1992) plantea que existen dos motivos principales para disminuir la variabilidad. El primero es la confianza que el producto le da al cliente. Un producto con poca variabilidad seguramente satisfaga los requisitos del cliente con mayor precisión. El segundo motivo, es que mayor variabilidad implica más actividades en el proceso que no añaden valor al cliente.

4. Reducir el tiempo del ciclo

Koskela (1992), establece: “El tiempo es una medida universal utilizada para medir costes y calidad ya que puede ser utilizada para mejorar ambos aspectos” (p. 19). El tiempo de ciclo podría definirse como el tiempo que requiere un recurso (materia prima, información, etc.) atravesarse el flujo. Para Lean el ciclo de tiempo es la suma del tiempo dedicado a transformar el producto, los transportes, las esperas e inspecciones.

Por lo tanto, el objetivo de este principio radica en disminuir al máximo el ciclo de tiempo, reduciendo o eliminando las tareas de transporte, esperas o inspecciones que no añadan valor al producto desde el punto de vista del cliente.

5. *Simplificar procesos*

Este principio busca procesos simples. La complejidad de un proceso va en contra de los principios Lean por diferentes motivos. Primero, la propia complejidad de un producto o proceso aumenta sus costes. Además, un proceso complejo tiene menos confiabilidad que un sistema simple. Por último, implica recursos humanos con mayor formación y de la misma manera quedan expuestos a posibles errores.

Por lo tanto, Koskela (1992), entiende la simplificación de un proceso como: la reducción del número de componentes de un producto y/o la reducción del número de pasos en la cadena de valor. Para ello se deben, nuevamente, eliminar actividades que no añadan valor al producto y analizar la manera de simplificar las actividades y reconfigurar el proceso. Por ejemplo, mediante la estandarización de partes y materiales, modificando el diseño, o minimizando la cantidad de información necesaria a controlar.

6. *Aumentar la flexibilidad de producción*

Este principio apunta a aumentar el valor del producto terminado, en términos de valor hacia el cliente, ajustado a sus requerimientos, pero sin aumento en los costes. Para ello Koskela (1992), plantea algunas recomendaciones como reducir la dificultad de la configuración del proceso (simplificar), adaptar el tamaño de lotes de productos a la demanda, o, conformar equipos multidisciplinares.

7. *Aumentar la transparencia en los procesos*

Koskela (1992) expone que “la falta de transparencia en un proceso aumenta la propensión a equivocarse, reduce la visibilidad de los errores y disminuye la motivación para mejorar” (p. 21). Es por esto que plantea que para facilitar el control y fomentar la mejora es necesario que el proceso sea visible. Para implementar este principio algunas de las recomendaciones son:

- Eliminar el desorden y establecer métodos de limpieza, (utilizar el método de las 5 S).
- Reducir la interdependencia entre unidades de producción.
- Utilizar controles visuales para permitir que cualquier persona reconozca los estándares y las desviaciones de ello.
- Incorporar información del proceso en áreas de trabajo, herramientas, contenedores, materiales.

8. *Enfocar el control al proceso completo*

Koskela (1992) entiende que para la correcta implementación de Lean es necesario enfocar el control al proceso completo. Para ello debe ser posible medir la totalidad del mismo y debe haber un responsable del control global del mismo. Esto no es posible cuando el control del flujo se realiza en forma segmentada, como por ejemplo en empresas jerarquizadas en que el flujo atraviesa diferentes departamentos.

9. *Mejorar continuamente el proceso*

Según Koskela (1992), “el esfuerzo por reducir los desperdicios para aumentar el valor es una actividad interna, incremental e iterativa que debe llevarse a cabo continuamente” (p. 22). Algunas de las recomendaciones que el autor brinda para implementar la mejora continua en las organizaciones son:

- Medir y monitorizar las mejoras.
- Establecer objetivos o metas de mejoras.



- Darle la responsabilidad de mejorar a todos los empleados
- Utilización de la herramienta 5 why's (5 porqués)

10. Equilibrar las mejoras en las actividades de flujo con las de conversión.

Las actividades de conversión y de flujo pueden mejorarse. Si bien tienen potenciales de mejora diferentes ambas están fuertemente relacionadas y se equilibran de la siguiente manera (Koskela, 1992):

- Mejores flujos requieren menos capacidad de conversión, por lo tanto, se requiere menor inversión en equipos.
- El buen control en las actividades de flujo facilita la implementación de nuevas tecnologías en las actividades de conversión.
- Nuevas tecnologías aplicadas a actividades de conversión pueden brindar menor variabilidad y esto beneficia a las actividades de flujo.

11. Benchmarking (Referenciar los procesos con los de las organizaciones líderes)

El último principio propuesto por Koskela (1992) es el de Benchmarking, y hace referencia a realizar una evaluación comparativa con otras empresas. El autor entiende que esto puede generar un gran estímulo para la mejora de los procesos de una compañía. Para ello propone los siguientes pasos:

- Conocer el proceso, evaluar fortalezas y debilidades en los subprocesos.
- Conocer a los líderes de la industria o competidores para poder comprender y comparar las mejores prácticas desarrolladas en el sector.
- Incorporar lo mejor a los propios subprocesos.

A modo de resumen Koskela (1992), establece las diferencias entre empresas que se gestionan y producen de manera “tradicional” y aquellas que utilizan los principios de Lean Construction, comparando el concepto, el control en la producción y las mejoras al sistema productivo. Además, Alarcón y Pellicer (2009), comparan el objeto, alcance, metodología y el concepto de clientes, como se representa en la Tabla 2.

Tabla 2

Producción tradicional - Producción Lean Construction. Fuente: adaptación de Alarcón y Pellicer, (2009)

	Producción “tradicional”	Producción aplicando Lean Construction
Objeto	Producto final - Servicios	Todas las actividades de la empresa
Alcance	Control	Gestión, asesoramiento, control
Metodología	Detectar y corregir	Prevenir
Clientes	Externos	Internos y externos
Concepto de producción	Actividades de transformación.	Actividades de flujo y actividades de transformación.
Control de producción	Control de costes de las actividades.	Control de tiempo, coste y flujos.



Mejoras	Aplicación de nuevas tecnologías buscando eficiencia en las actividades de transformación.	Identificación y eliminación de actividades que no añaden valor, mejora continua y nuevas tecnologías.
---------	--	--

2.2.8. Herramientas

En apartados anteriores se han introducido, definido y explicado los conceptos y principios que gobiernan a la filosofía Lean y particularmente a Lean Construction. El objetivo de este apartado es el de describir las principales técnicas, comúnmente llamadas “herramientas” que permiten la implementación y la puesta en práctica de Lean Construction en una organización.

Actualmente en la bibliografía es posible encontrar cientos de herramientas de Lean Construction. Dependiendo la particularidad del caso, las herramientas pueden implementarse de forma independiente o en conjunto. Vale la pena aclarar que no todas las técnicas o herramientas son exclusivas de Lean Construction y que algunas de ellas también son aplicables en el ámbito de la gestión de la calidad, la gestión de organizaciones o Lean Manufacturing (aplicado a la fabricación).

Además, como plantean Hernández y Vizán (2013), no hay una clasificación formal entre las distintas herramientas. De todas formas, los autores proponen 3 grandes grupos:

- Herramientas o técnicas relacionadas al “sentido común” o la practicidad, que por su simpleza y claridad deberían ser aplicables a cualquier tipo de empresa o proceso. Por ejemplo: la técnica de las 5 S o estandarización.
- Herramientas que no resultan particularmente complejas pero que requieren mayor compromiso y un cambio en la mentalidad y cultura de todas las personas de la empresa. Por ejemplo: visual management.
- Por último, herramientas o técnicas específicas que modifican la manera de planificar, ejecutar y controlar las actividades de producción. Por ejemplo, técnicas asociadas al JIT (Just in Time), Kanban system entre otras.

En este apartado se explicarán aquellas que se consideran aplicadas con mayor frecuencia en la actualidad:

- a) 5 S
- b) Last Planner[®] System
- c) Just in time
- d) Kanban System
- e) Kaizen
- f) Visual Management

a) 5 S

La herramienta 5 S es una de las herramientas que, como se dijo anteriormente, está asociada al sentido común y que no debería resultar nada nuevo para cualquier empresa. Esta herramienta consiste en la aplicación sistemática de principios con el objetivo de mantener el orden, la limpieza y, consecuentemente, buen ambiente, en el puesto de trabajo (Hernández y Vizán, 2013).

Su nombre, es un acrónimo que proviene del japonés, de la inicial de cinco palabras que definen a esta técnica:

1. Seiri (seleccionar-separar)

2. Seiton (ordenar)
3. Seiso (limpiar)
4. Seiketsu (estandarizar)
5. Shitsuke (crear hábito)

Con el uso de esta herramienta se pretende eliminar aquellos aspectos o síntomas de una empresa que influyen en la eficiencia de la misma como: aspecto sucio, desorden, elementos rotos, desinterés de los empleados en su puesto de trabajo, movimiento de personas y transporte de materiales innecesarios, falta de espacio, accidentes laborales, etc. La implantación de la herramienta 5S implica los siguientes pasos:

- Primero, la dirección de la empresa debe estar convencida de su importancia y asignar los recursos necesarios. La herramienta supone una inversión inicial de tiempo, y su uso debe mantenerse a lo largo de todo el proceso.
- La metodología se debe aplicar en primera instancia en una zona de prueba o área “piloto”.
- Involucrar a todo el personal en el uso de la misma.
- Brindarles formación básica.
- Facilitar los materiales y herramientas necesarias.

1. Seiri

Seiri significa separar, organizar, clasificar. A los fines de la herramienta 5 S, la aplicación de “Seiri” consiste en clasificar y eliminar del área de trabajo todos los elementos y materiales que resulten innecesarios para la tarea que se debe ejecutar. De esta manera se logra controlar el flujo de materiales y evitar elementos prescindibles que generan desperdicios como: pérdida de tiempo en localizar herramientas u objetos, elementos o materiales obsoletos, falta de espacio, movimientos innecesarios, etc. (Hernández y Vizán, 2013).

Su implementación en el sitio resulta simple y trae como beneficios mejor control de inventario, menos accidentes, más espacio en el área de trabajo y menos desperdicios. Una de las maneras de implementar “Seiri” es mediante la tarjeta roja de la Figura 2. Con esta tarjeta se registra el artículo, se clasifica y se decide si es un objeto o material útil o eliminable.

Figura 2

Tarjeta para la identificación de elementos prescindibles. Fuente: Hernández y Vizán, (2013)

TARJETA ROJA			
NOMBRE DEL ARTÍCULO			
CATEGORÍA	1. Maquinaria	6. Producto terminado	
	2. Accesorios y herramientas	7. Equipo de oficina	
	3. Equipo de medición	8. Limpieza	
	4. Materia Prima		
	5. Inventario en proceso		
FECHA	Localización	Cantidad	Valor
	RAZÓN		
1. No se necesita			
2. Defectuoso			
3. Material de desperdicio			
4. Uso desconocido			
ELABORADA POR		Departamento	
FORMA DE DESECHO	1. Tirar		
	2. Vender		
	3. Mover a otro almacén		
	4. Devolución proveedor		
FECHA DESHECHO			



2. Seiton

Una vez eliminados aquellos materiales o elementos que son prescindibles para el trabajo se debe aplicar “Seiton”, que consiste en organizar los elementos que quedaron, los que son realmente necesarios. Para ello se debe definir un sitio específico para cada elemento, de manera que sea fácil su búsqueda y su almacenaje.

La aplicación de Seiton implica la demarcación de límites de las áreas de trabajo, zonas de paso y zonas de almacenaje. Esta última debe ser individual, es decir evitando duplicidades, cada elemento en cada lugar. Además, se deben organizar teniendo en cuenta la frecuencia de uso y bajo criterios de seguridad y calidad.

Las ventajas de la aplicación de Seiton radican en mayor espacio de trabajo, los elementos y herramientas se encuentran con rapidez dando mayor productividad, se pierden menos objetos y se genera mejor clima de trabajo (Hernández y Vizán, 2013).

3. Seiso

Siguiendo los pasos anteriores, se cuentan con los elementos realmente necesarios, y organizados en su correspondiente sitio. El siguiente paso, “Seiso”, significa limpieza, y consiste en la inspección del área de trabajo con el fin de encontrar y eliminar defectos. Se considera que la limpieza es el primer paso de la inspección y permite descubrir el verdadero estado de las herramientas o elementos del trabajo. Para su implementación es necesario:

- Incluir la limpieza como una actividad diaria, con horarios específicos.
- Centrarse en la eliminación de focos de suciedad
- Conservar los elementos en condiciones óptimas

Las ventajas de su aplicación son reducir el porcentaje de accidentes de trabajo, aumento en la vida útil de las herramientas y maquinarias y mejor aspecto del lugar de trabajo (Hernández y Vizán, 2013).

4. Seiketsu

Seiketsu significa estandarizar o normalizar y es la fase que permite afianzar los objetivos asumidos en las tres “s” anteriores, ya que tener un sistema de aplicación asegura efectos que duren en el tiempo. Estandarizar, en este caso, implica ejecutar un procedimiento determinado siguiendo un orden y una organización previamente establecida (Hernández y Vizán, 2013).

Para lograr la implementación de Seiketsu, se deben seguir al menos los siguientes pasos:

- Asignar responsabilidades entre los operarios para el cumplimiento de las primeras tres “s”.
- Adoptar el uso de la herramienta 5 S en todas las actividades.
- Controlar la efectividad de su aplicación.

5. Shitsuke

La quinta y última “s” es shitsuke y se podría traducir como disciplina. En este caso la meta que se persigue es la de generar un hábito en la utilización de esta herramienta de manera normalizada. Para ello es importante la autodisciplina por parte de los empleados de la compañía, el control por parte de los responsables y sobretodo la existencia de un ambiente que facilite al cumplimiento de las normas. Por ejemplo: estímulos visuales, como flechas, luces, rótulos, etc. (Hernández y Vizán, 2013).

b) Last Planner[®] System (Sistema del Último Planificador)

Last planner[®] System (LPS), sistema del ultimo planificador por su traducción en castellano, es sin duda la herramienta o técnica más difundida de Lean Construction. Este sistema ha sido desarrollado a finales de siglo XX y principios de siglo XXI por Ballard y Howell, ingenieros miembros de Lean Construction Institute en Estados Unidos. El LPS aporta herramientas de planificación y control efectivas. Su principal objetivo es el de controlar la incertidumbre o variabilidad en un proyecto, de esta forma lograr confiabilidad en la planificación y por lo tanto incrementar el rendimiento en la ejecución del proyecto. Para conseguirlo, el sistema divide a la planificación del proyecto en tres niveles y recomienda acciones específicas en cada uno de ellos (Rodríguez et al., 2011).

La planificación “tradicional” de los proyectos de construcción usualmente no considera todas las variables específicas del proceso, y frecuentemente las actividades a realizar se planifican en base a supuestos de gran incertidumbre. Por ejemplo, es difícil que se incluya en la planificación la posibilidad de que un proveedor no cuente con los materiales en tiempo y forma, problemas de diseño, errores humanos, problemas administrativos o rendimientos mal estimados. Estos aspectos son restricciones para la realización de ciertas tareas y generan demoras e incumplimiento de los plazos. Si se considera que planificar es identificar lo que “debe” hacerse en un proyecto y definir un tiempo específico para lo que “se hará”, debido a restricciones, lo que “se puede” hacer generalmente no coincide con lo planificado, como puede verse en la Figura 3.

Si las tareas se planifican sin saber lo que realmente “se puede” hacer, sin restricciones, lo que finalmente se realizará es sólo la intersección de “se hará” con “se puede” (Rodríguez et al., 2011).

Figura 3

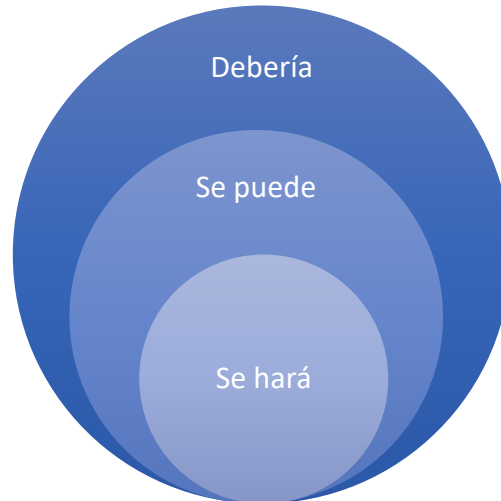
Planificación tradicional. Fuente: adaptación de (Rodríguez et al., 2011)



Los autores Rodríguez et al. (2011), plantean que es importante conocer lo que se puede hacer antes de decidir y planificar lo que se hará, como puede verse en la Figura 4. Si quienes gestionan el proyecto y planifican las tareas logran esto, el ritmo de producción no se verá afectado por situaciones que restrinjan o detengan el trabajo. Las posibilidades reales de avance en el proyecto serán mayores mientras más tareas sean las que “se pueden” realizar.

Figura 4

Planificación según LPS. Fuente: adaptación de (Rodríguez et al., 2011)



En la construcción, se requiere planificación en diferentes puestos de trabajo de la empresa, en diferentes etapas del proyecto. Por lo tanto, en diferentes momentos, o situaciones, hay personas que deben decidir qué se debe realizar y por quién el día siguiente. Esta persona puede ser el jefe de obra, el capataz, encargado, subcontratista, etc. En LPS esta persona se llama “el último planificador” (last planner en inglés) (Pellicer et al., 2015).

Pons (2014) plantea que LPS mejora el sistema tradicional de gestión de proyectos implementando técnicas de control sobre la planificación de la producción. Además, lo define como un “mecanismo para la transformación de lo que debería hacerse en lo que se puede hacer, formando así un inventario de trabajo realizable, que puede ser incluido en los planes de trabajo semanal. La inclusión de asignaciones en los planes de trabajos semanal es un compromiso de los últimos planificadores (supervisores, jefes de obra, etc.) de lo que en realidad se hará” (p. 55).

Los tres niveles de planificación en LPS definidos por Ballard (2000), son:

- Plan Maestro (master plan) o planificación a largo plazo: se identifican las principales fases del proyecto y se establecen los hitos del mismo. Además, se definen, a nivel superior en el desglose de tareas del proyecto, aquellas necesarias para cumplir con el alcance, tiempo y presupuesto previsto.
- Planificación intermedia (look ahead): Dependiendo del proyecto puede abarcar de 4 a 15 semanas. Se planifican tareas más específicas considerando posibles restricciones. Importante para el control de flujo de trabajo.
- Planificación semanal o planificación a corto plazo: Proporciona un plan de trabajo detallado, a niveles inferiores del desglose de tareas del proyecto

Plan Maestro o planificación a largo plazo

Según Rodríguez et al. (2011), el plan maestro o programa maestro es aquel que incluye la planificación de todas las actividades del proyecto, la relación en tiempo y espacio entre las mismas y el establecimiento de hitos para el cumplimiento de plazos. En esta instancia se definen las actividades que se deberían hacer. El plan maestro deberá tener revisiones sujetas al análisis del cumplimiento de la

planificación intermedia. En el caso de proyectos a gran escala, la planificación a largo plazo puede realizarse en diferentes fases. Por último, un plan maestro debería contener:

- Responsables del cumplimiento de cada fase del plan.
- Proveedores y subcontratistas que intervienen en cada actividad.
- Relaciones entre los responsables de las tareas y proveedores y subcontratistas.
- Interacciones entre proveedores y subcontratistas.
- Actores externos que influyan en actividades programadas. Por ejemplo: administraciones públicas, gestores, etc.

El plan maestro se realiza a partir de las llamadas “pull sessions”. Una “pull session” es una reunión en la que participan todos los “decisores”, al menos uno por cada empresa, involucrados en el proyecto. El director técnico del proyecto asiste a la misma con el fin de monitorizar la lógica de la planificación. Esta reunión está moderada por un “facilitador”, se realiza en una sala donde todos los participantes se sientan y tienen visibilidad hacia una pizarra en la que el facilitador colocará post-its. En una “pull session” se realiza la planificación de un proyecto, desde la última tarea a la primera, con el compromiso de todos los “decisores” que participan en el proyecto. A modo de resumen, Pellicer et al. (2015) indican el procedimiento de una “pull session” de la siguiente manera:

1. El “facilitador” escribe en la pizarra, la fecha de finalización del proyecto.
2. Se identifica cuál es la última tarea para llegar a la finalización del proyecto.
3. El “último planificador” responsable de esta actividad escribe en un post-it: empresa, tarea, tiempo programado, recursos necesarios y limitaciones o restricciones. El facilitador pega el papel en la pizarra.
4. El proceso se repite con todas las tareas programadas. El facilitador organiza las tareas en la pizarra e indica con líneas sus relaciones.
5. El director técnico del proyecto controla que la planificación que se está realizando tenga lógica.
6. Cuando no quedan más actividades, la planificación se ha completado.
7. El facilitador con el director del proyecto analizan el resultado obtenido, para asegurarse que todas las partes que participaron estén de acuerdo y se comprometan a cumplir con la programación.
8. El plan maestro se digitaliza y se comparte con las partes involucradas.

Planificación intermedia (look ahead)

Según las necesidades de cada proyecto el período de programación de la planificación intermedia puede variar entre 4 y 16 semanas. En este nivel de planificación se define lo que se puede hacer en el período de tiempo que se haya decidido que abarque la misma. Para ello, en esta instancia, se debe incorporar a la planificación:

- Recursos necesarios y responsables de cada tarea.
- Tareas necesarias para liberar a otras como: ensayos, inspecciones, habilitación de agentes externos, etc.
- Disponibilidad de recursos.

En base a lo anterior, se puede identificar posibles restricciones que dificulten la ejecución de las tareas según lo programado inicialmente. Luego se establece quién es el responsable de eliminar la restricción y en qué fecha.



De esta manera, el objetivo principal de la planificación intermedia es el de identificar con precisión las tareas que se pueden realizar según lo programado y gestionar las restricciones de modo que no generen retrasos.

Las tareas que en este nivel de planificación se identifican “libres” de restricciones y pueden ejecutarse, se incluyen en el denominado “Inventario de Trabajo Ejecutable” (ITE) (Rodríguez et al., 2011).

Planificación semanal o a corto plazo

La planificación semanal es la que define lo que se hará en la próxima semana. Esta planificación de tareas se basa en tres aspectos, según Rodríguez et al. (2011):

1. Objetivos cumplidos en la planificación de la semana anterior.
2. Tareas previstas en la planificación intermedia.
3. Restricciones existentes.

Por lo tanto, las actividades a planificar en esta instancia tienen que ser aquellas incluidas en el inventario de trabajo ejecutable (ITE) en la semana previa. Por lo general, la planificación semanal se realiza a través de reuniones en las que intervienen todos los “últimos planificadores” implicados en las tareas a programar; desde directores, jefes de obra, subcontratistas, proveedores, hasta encargados de cuadrillas de trabajo (Rodríguez et al., 2011).

En las reuniones de planificación semanal se analiza, en primer lugar, el cumplimiento de la planificación de la semana finalizada, aspecto medido por el indicador de productividad PPC (Porcentaje de planificación completada), que se calcula dividiendo las actividades completadas sobre las actividades planificadas (Ballard, 2000). Luego, se identifican, cuando corresponda, las causas de no cumplimiento. A partir de esto, es posible tomar medidas correctivas y realizar ajustes en la planificación intermedia si fuera necesario. El ataque de las causas de no cumplimiento genera confianza en la planificación. En segundo lugar, se determina lo que se hará en la semana entrante en base a los tres aspectos mencionados con anterioridad (Rodríguez et al., 2011).

Además, las reuniones semanales se convierten en un proceso iterativo en el que se retroalimenta a la planificación intermedia y, en algunos casos, a la planificación maestra. Por otro lado, los análisis de PPC se presentan visualmente en cada reunión por todas las partes involucradas en la obra, fomentando el compromiso por parte de cada uno de ellos (Rodríguez et al., 2011).

Por último, en base a la Figura 5, Pellicer et al. (2015) plantean siete pasos para explicar el procedimiento de Last Planner® System:

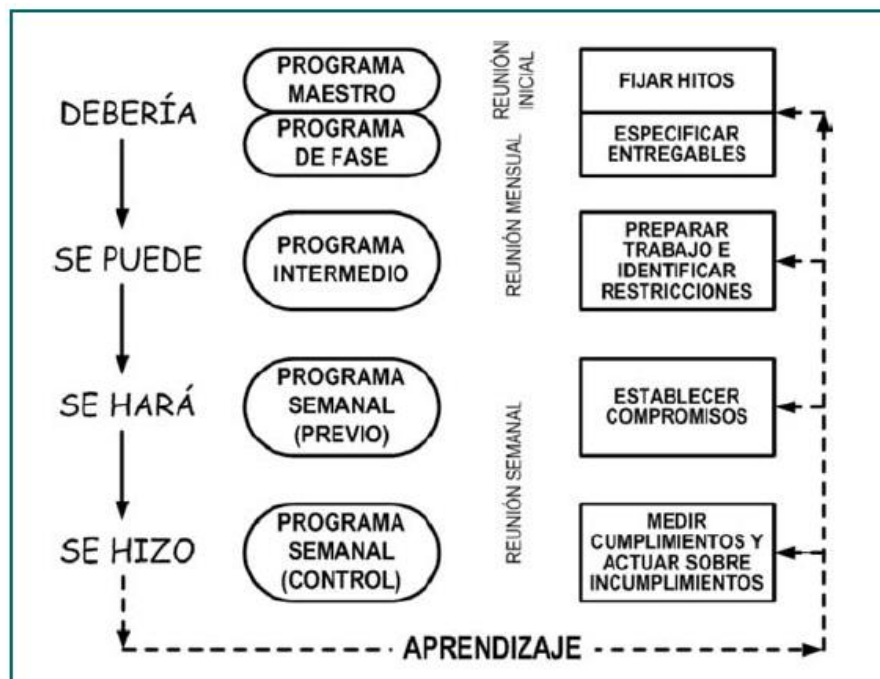
1. El director del proyecto desarrolla un cronograma inicial, en base a lo establecido en el contrato y el diseño del proyecto.
2. El jefe de obra convoca a una reunión inicial o “pull session” en la que participan todas las partes involucradas del proyecto. Se definen los hitos del proyecto, y se realiza entre todos los “decisores” la planificación a largo plazo. Como resultado de la “pull session” se obtiene un plan maestro que se reparte a las partes interesadas.
3. Se lleva a cabo la planificación intermedia. En esta instancia de planificación se identifican las posibles restricciones que se puedan presentar y se idea un plan para evitarlas o eliminarlas. Se identifican aquellas actividades que no presentan restricciones, generando un inventario de tareas ejecutables.
4. La planificación semanal se realiza en cada reunión semanal. En esta instancia se planifican detalladamente las tareas a ejecutar la semana entrante. Se realiza en base al compromiso de

todos los últimos planificadores involucrados con las tareas ejecutables obtenidas de la planificación intermedia.

5. Además, en cada reunión semanal, se analiza el porcentaje de cumplimiento de las tareas de la semana anterior y se analizan las causas de incumplimiento.
6. Los resultados semanales obtenidos por cada participante del proceso, es decir su desempeño, se hacen visibles y públicos en la obra. De esta manera se fortalece el compromiso por parte de cada participante del proyecto
7. Los planes semanales retroalimentan a los planes intermedios y muchas veces al plan maestro, generando un proceso de continuo aprendizaje.

Figura 5

Proceso de Last Planner® System Fuente: Rodríguez et al. (2011).



c) *Just in time (JIT)*

“Just in time”, justo a tiempo en castellano, frecuentemente denominado por la sigla JIT, es un sistema de producción desarrollado por Kiichiro Toyoda en la compañía automotriz Toyota a mediados de 1930. Pons (2014), lo define como: “Un sistema de producción que fabrica y entrega justo lo que se necesita, cuando se necesita y en la cantidad que se necesita” (p. 16). Además, el autor plantea que los objetivos de este sistema se basan en eliminar el exceso de producción almacenada y el trabajo colaborativo con proveedores para nivelar producción e inventario. Para llevar a cabo sus objetivos el sistema just in time depende de dos principios fundamentales de Lean Thinking: Flujo continuo, y sistema “pull”.

La aplicación de JIT en el sector de la construcción es sustancialmente diferente a la implementación en el sector de la industria manufacturera. Las ya mencionadas características que definen al sector de la construcción, principalmente la complejidad, incertidumbre y tipo de producción marcan las mayores diferencias. En la construcción las tareas se realizan en base a un cronograma planificado. Si este se respeta, se logra un buen rendimiento de trabajo y un flujo fluido. Sin embargo, es

muy frecuente que el cronograma no se respete, por diferentes causas: cambio de diseño, problemas con proveedores, entregas tardías, imprevistos, problemas climáticos, etc. (Ballard y Howell, 1995).

Por lo expuesto en el párrafo anterior, es normal que se presenten variaciones en el flujo de trabajo en el sector de la construcción, por lo que, para protegerse de estas variaciones se suele mantener un inventario. Ballard y Howell (1995) plantean que en el sector de la construcción existen dos tipos de inventarios o “Buffers” para amortiguar la variabilidad en el flujo de trabajo:

- Buffers de calendario: inventarios físicos. Pueden ser materiales, herramientas, mano de obra, maquinaria, recursos en general. Por ejemplo: tener inventario de barras de acero por si el proveedor no puede llevarlas a tiempo al sitio. Claramente es un amortiguador de variabilidad del flujo caro y con desperdicios, tanto de tiempo como de dinero.
- Buffers de planificación: Inventario de tareas ejecutables, es decir que no tienen ningún tipo de restricción. (Last Planner System®)

El objetivo del sistema JIT es eliminar los inventarios de materiales, amortiguadores o “buffers” físicos. A diferencia del sector de la industria manufacturera, por sus particulares características, en el sector de la construcción no se pueden eliminar por completo. Por este motivo Ballard y Howell (1995) establecen que la implementación de JIT en la construcción se debe realizar mediante la gestión de los dos buffers definidos de la siguiente manera:

1. Mejor ubicación y menor tamaño de los buffers de calendario: desarrollar herramientas de evaluación más eficientes para disminuir las incertidumbres del proyecto y determinar la relación cuantitativa entre un búfer y la variabilidad de flujo de la que se pretende proteger. Es decir, si se mejora la gestión de las incertidumbres, disminuyen las causas que provocan la variación del flujo y se pueden minimizar los inventarios físicos.
2. Colocar buffers de planificación: Los autores plantean que la producción puede protegerse de la incertidumbre a través de la planificación. Por lo tanto, debería incrementarse el uso de Last Planner System®.
3. Reemplazar progresivamente los buffers de calendario con buffers de planificación: Con el objetivo final de obtener previsibilidad y confiabilidad. De esta manera el proceso se vuelve independiente de los inventarios físicos y el tiempo entre procesos. Si el flujo es previsible la mano de obra, los materiales y otros recursos pueden gestionarse con mayor eficiencia logrando mejoras en la productividad.

Por último, Pheng y Shang (2011) establecen los beneficios obtenidos por la aplicación de JIT en el sector de la construcción:

- Aumentar la ventaja competitiva en términos de cumplimiento de plazos y requisitos del cliente.
- Mejora de la calidad de los materiales y componentes constructivos.
- Reducción de costes por menos inventarios.
- Aumento en la productividad.
- Buen vínculo con proveedores.
- Mayor orden y organización en el sitio.

d) *Kanban System*

Kanban es una palabra de origen japonés que se traduce al castellano como “tarjeta” o “etiqueta”. Kanban system es la denominación de un sistema visual de control y programación sincronizada de la producción basado en tarjetas u otro tipo de señales que forma parte de la aplicación de JIT (Just In Time).

Las tarjetas van adjuntas a los contenedores de materiales o productos con la información necesaria para sincronizar el flujo de transformación durante el proceso productivo. Es un método que reúne a los principios básicos de Lean Thinking, utilizando el sistema de producción “pull”, con un flujo sincronizado continuo y en lotes pequeños (Hernández y Vizán, 2013).

El empleo de estas tarjetas es un mecanismo de comunicación de las órdenes de producción entre diferentes estaciones de trabajo. La información que se comunica en cada tarjeta depende del proceso productivo y la empresa, pero en general contiene:

- Nombre o código del puesto de trabajo o máquina que procesará el material.
- Detalles del encargado del proceso.
- Denominación del material o producto.
- Procedencia del material o producto.
- Capacidad del contenedor.
- Cantidad a producir.
- Momento y lugar a donde se debe entregar el material, etc.

En Kanban system es posible identificar al menos dos tipos de tarjetas kanban que son los principales en función de la actividad que realicen:

- *Kanban de producción*: indica qué producto o material y que cantidades se deben producir por el proceso anterior.
- *Kanban de transporte*: indica qué y cuánto producto o material se deben recoger para el proceso posterior.

A modo indicativo, la secuencia que sigue el proceso de Kanban system es el siguiente:

1. El sistema comienza con un encargo por parte del cliente, siguiendo el sistema de producción “pull”. Por lo tanto, la última estación de trabajo necesitará determinados productos para cubrir la demanda.
2. Entonces desde esta estación de trabajo, se envía a la anterior o aguas arriba, contenedores vacíos con tantas tarjetas Kanban de transporte como estaciones de trabajos haya hasta llegar a la primera. Además de incluir una Kanban de producción, que contendrá la información con los requerimientos de producción para el puesto anterior. Este proceso se repetirá hasta finalizar con el flujo de información en la primera estación de trabajo.
3. El inicio del flujo de materiales se da de la siguiente manera: En la primera estación de trabajo producen lo que indica la tarjeta Kanban de producción recibida desde la segunda estación de trabajo. Introducen en el contenedor vacío, el producto terminado, y completan la tarjeta kanban de transporte, para ser enviada a la estación de trabajo siguiente.
4. El proceso se repite hasta llegar al producto final en la última estación de trabajo.

La aplicación de Kanban aporta transparencia al proceso, mejora la comunicación y principalmente evita el exceso de stock y almacenamiento, ya que solo se provee material para producir lo solicitado por el cliente (Hernández y Vizán, 2013).

e) *Kaizen*

La palabra “Kaizen” del lenguaje japonés ha sido traducida por diferentes autores como “mejora continua”. La mejora continua es uno de los 5 principios básicos propuestos por Womack y Jones en “Lean thinking” por lo que es considerado como uno de los pilares para la implementación de Lean en una compañía (Vivan et al., 2016).

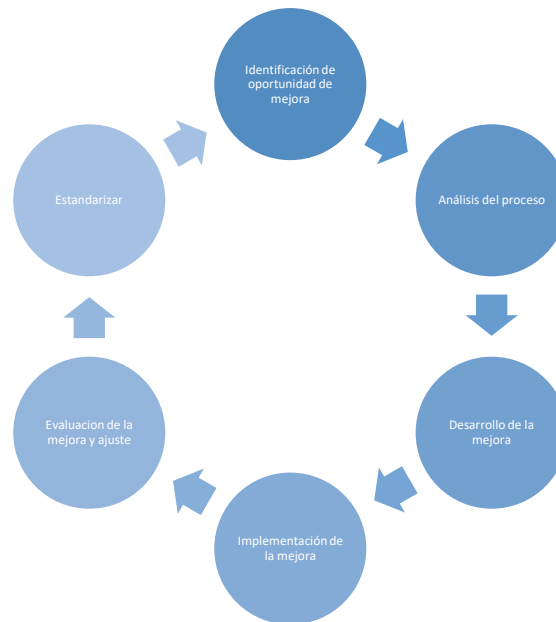
El Kaizen TM Institute lo define como “Término japonés que significa "cambio para mejor" o mejora continua. KAIZEN™ es un enfoque estratégico y táctico gradual y de largo plazo para lograr la excelencia organizativa a través de la mejora integral. Implica mejorar cada día, en todas partes por todos” (Kaizen glossary definitions).

Los autores Doolen et al. (2008) plantean que la implementación de kaizen, representa un proyecto de mejora continua, estandarizado y enfocado a áreas de mejora puntuales con objetivos en breves períodos de tiempo. Las acciones “kaizen” se caracterizan por ser aplicadas por equipos multidisciplinares, baja inversión de capital y su aplicación de diferentes técnicas o herramientas Lean como JIT, Kanban, 5S, entre otras.

La implementación de Kaizen puede resumirse en 6 pasos, como puede verse en la Figura 6:

Figura 6

Procedimientos en kaizen. Fuente: adaptación de (Doanh, 2017)



La implantación de kaizen comienza con el descubrimiento de una oportunidad de mejora o un problema o errores recurrentes en alguna tarea o proceso. El segundo paso es entonces, el análisis profundo del proceso. Para ello será necesario consultar a un equipo multidisciplinar que por ejemplo puede contar con, técnicos de salud y seguridad, operarios, mandos superiores, diseñadores, etc. De esta manera se identifica la raíz del problema y se desarrolla una solución o mejora. Luego, se implementa la mejora a una escala pequeña. El equipo evalúa el rendimiento de la mejora y realiza los pertinentes ajustes. Una vez obtenida la solución óptima, esta se estandariza, se documenta, y se divulga en la organización (Doanh, 2017).

f) Visual Management

Una de las características que definen al sector de la construcción, como se mencionó en otros apartados, es la fragmentación, dada por la forma en que se desglosan los proyectos y la gran cantidad de contratistas, subcontratistas, proveedores y distintos especialistas y trabajadores que participan en los

mismos. Como consecuencia de ello, es frecuente que hayan problemas de comunicación, afectando el rendimiento de los proyectos (Singh y Kumar, 2020). Además, como plantea Pons (2014), en la gran mayoría de empresas con gestión “tradicional”, la información suele ser centralizada en jefes y personas a cargo de tomar decisiones, excluyendo de la misma al resto de personas que trabajan en un proyecto.

Visual management, o “gestión visual” en alguna bibliografía en castellano, es una herramienta de Lean Construction que “hace que la información importante sea visible por todos”, refiriéndose a todo aquel que participe en el proyecto. Los objetivos principales de esta herramienta son eliminar las barreras que intervienen en el flujo de información dificultando la comunicación entre las partes. A partir de lo anterior, las herramientas de gestión visual mejoran la comunicación, la transparencia y la capacidad de contratistas, subcontratistas y proveedores de auto-gestionarse eficientemente (Singh y Kumar, 2020).

Algunos autores, como Murata et al. (2017), plantean a visual management como una estrategia de gestión más que una herramienta específica, que se apoya en diferentes herramientas de Lean Construction como Last Planner[®] System, algunas específicas de Lean Production, como 5s, Kanban, y tecnologías emergentes, como el uso de BIM.

Singh y Kumar (2020) mencionan a las siguientes, como las herramientas más importantes para la implementación de visual management:

- Letreros con señales y colores específicos. Por ejemplo, letrero de “prohibido avanzar”.
- Codificación por colores. Por ejemplo, asignar un color a cada tipo de cañería utilizada en la obra
- Utilización de gráficos. Por ejemplo, mostrar el rendimiento de subcontratistas (PAC) en reuniones semanales de LPS en forma de gráficos de barra
- Modelos de realidad aumentada. Por ejemplo, se proyecta un modelo 3D del proyecto en el sitio a través de un dispositivo móvil con un software de realidad virtual.
- BIM (Building Information Model). Es una metodología de trabajo colaborativa respaldada por diferentes softwares que permiten el modelado de un proyecto y facilitan a los profesionales a cargo la planificación, gestión, diseño y coordinación.
- Otras herramientas de Lean Construction ya definidas como, Kanban System, 5S, Last Planner[®] System.

Por último, los beneficios definidos por Pons (2014), de la aplicación de visual management o “gestión visual” en el sector de la construcción son:

- Funciones claras de cada área de trabajo.
- Mayores condiciones de seguridad.
- Procesos más predecibles.
- Gestión más eficiente.
- Velocidad en la detección de problemas y oportunidades de mejora.
- Curvas de aprendizaje más cortas.
- Mayor compromiso por parte de todo el personal de obra.

g) Otras herramientas:

5 Why's

5 why's (5 porqués en castellano) es una herramienta creada en Japón por Sakichi Toyoda que comienza a utilizarse en la fabricación de automóviles Toyota. Alarcon et al. (2017) la definen como: “Es

una técnica que permite identificar la causa raíz de un problema lineal y que consiste básicamente en preguntar 5 veces el por qué ocurre este problema, con el objetivo de resolver su causa última” (p. 49)

El objetivo principal es el de encontrar la causa raíz del problema. Para ello es importante que se mantenga una relación de causalidad entre cada problema. Por ejemplo: “a partir del suceso A, se generó el problema B, y por lo tanto se llegó a C”.

Por último, a cada uno de los 5 porqués, se debe buscar responder cuál es la causa para identificar un método de acción correctivo. También se debe identificar cual es la causa por la que no pudo prevenirse (Alarcon et al., 2017).

Increased visualisation

Increased visualisation es una herramienta de gestión visual que se utiliza para combinar las técnicas de Last Planner[®] System y 5S. Su objetivo es la transferencia de información de manera visual para lograr una comunicación más simple y efectiva en el entorno de una obra de construcción. Para ello se apoya en el uso de cartelerías, pizarras, y en proyectos de gran escala, en el uso de softwares avanzados y modelos 4D-5D (Vimal Kumar y Ramasamy, 2016). Sarhan y Fox (2013) plantean que “increased visualisation” es una poderosa herramienta de Lean Construction para la comunicación de información importante a los trabajadores de la obra. El uso de esta herramienta facilita información de manera clara, de modo que sea fácilmente comprensible, colabora con la toma de conciencia en cuanto a medidas de salud y seguridad, con efectos positivos en cuanto a la disminución de la probabilidad de accidentes en obra (Bashir et al., 2010).

Poka-Yoke

Poka-Yoke es otra de las herramientas implementadas en Japón por la compañía automotriz Toyota, su traducción al español es “a prueba de errores”. Hernández y Vizán (2013) definen a esta herramienta como dispositivos diseñados para evitar defectos ante la presencia de un error humano. “mecanismos o dispositivos que, una vez instalados, evitan los defectos al cien por cien, aunque exista un error humano” (p. 58). Es decir, esta herramienta busca que los errores humanos no produzcan defectos. Por lo general los mecanismos Poka-Yoke actúan de manera inmediata, se caracterizan por ser sencillos, duraderos, de fácil mantenimiento y, muchas veces, económicos. Los objetivos de un Poka-Yoke frente a un error son: detenerlo, controlarlo, y alertar sobre su presencia. Por último, Pons (2014), plantea que el uso de Poka-Yoke en el sector de la construcción es un avance para eliminar la idea de aceptar a los defectos como algo normal en los procesos.

Standardisation (Estandarización)

La estandarización podría considerarse una de las bases de Lean. Incluso algunos autores lo consideran uno de los factores de éxito de los métodos propuestos hace ya tiempo en la fabricación de automóviles Toyota, y una de las principales herramientas (el último paso) del proceso de mejora continua (Kaizen) (Hernández y Vizán, 2013).

Los trabajos estandarizados son esenciales para la búsqueda que persigue Lean en cuanto a trabajos concretos, eficientes y seguros. La “estandarización” de un trabajo se refiere al proceso de detallar minuciosamente la mejor manera de ejecutar una actividad laboral. La estandarización de una tarea surge de la observación, la descripción y la revisión de las tareas con quienes las ejecutan (Swain y O’Connor, 2013).

Los autores Hernández y Vizán (2013) plantean que los estándares están hechos para mejorarse. El concepto de estandarización de un trabajo en Lean es el opuesto a un clásico manual de instrucciones



sin uso ni revisiones. El documento de un trabajo estandarizado, una vez redactado, debe ser revisado por aquellos que propiamente realizan la actividad. Aquí se repasan y en caso de ser necesario se redefinen los puntos asociados a la seguridad, la calidad y la eficiencia para cada paso de la actividad (Swain y O'Connor, 2013).

Considerando que en todas las áreas de una empresa las tareas vinculan personas, materiales, métodos, información, instrumentos o herramientas, los autores Hernández y Vizán (2013) consideran necesaria la implementación de estándares. Además, enumeran las cuatro características que describen a una correcta estandarización:

1. Descripciones simples y claras de los métodos para realizar cada tarea.
2. La estandarización debe proceder de mejoras hechas con las mejoras técnicas y herramientas disponibles para cada caso.
3. Garantizar su cumplimiento.
4. Considerarse punto de partida para seguir mejorando.

2.2.9. Beneficios

La aplicación de Lean Construction en el sector de la construcción lleva a las empresas a optimizar su nivel de productividad, administrando mejor sus recursos y agregándole a su producto el máximo valor posible (Aigbavboa et al., 2016).

Pons (2014), se basa en estudios realizados en los Estados Unidos de América en 2012 y menciona los siguientes beneficios obtenidos por empresas constructoras que aplicaron herramientas de Lean Construction en ese año, entre ellos: mejor cumplimiento del presupuesto, mayor calidad de construcción, mejor gestión con proveedores, clientes más satisfechos, cumplimientos de plazos, menor número de reclamaciones, más productividad, mayores beneficios, reducción de costes, menos accidentes laborales.

Por otro lado, los autores Čiarnienė y Vienažindienė (2015) realizaron una investigación sobre los beneficios obtenidos por diferentes empresas del sector de la construcción en Lituania, gracias a la aplicación de Lean Construction. En este, clasifican a los beneficios en cinco categorías: eliminación de actividades que no añaden valor (desperdicios), mejora continua, flujo continuo y sistema "pull", equipos multifuncionales y sistemas de información. La mayoría de los beneficios están relacionados a reducción en tiempos de entrega, mayor calidad, mayor productividad y sobretodo mayor satisfacción del cliente. Todo esto ayuda a estas empresas a posicionarse en condiciones de ventaja a la hora de competir en el mercado. A continuación, en la Tabla 3 se mencionan estas categorías y se indican los beneficios asociados por los autores a cada una de ellas.

Tabla 3

Beneficios al aplicar Lean Construction Fuente: adaptación de Čiarnienė y Vienažindienė, (2015)

Categorías	Beneficios
Eliminación de desperdicios	<ul style="list-style-type: none">• Reducción de inventario• Reducción del tiempo de entrega• Optimización del espacio en el sitio• Reducción de costes• Mayores retornos de activos• Mayor satisfacción del cliente
Mejora Continua	<ul style="list-style-type: none">• Menos errores y re-trabajos



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor calidad • Reducción de costes • Mayor productividad • Mayor satisfacción del cliente
Flujo continuo y sistema "Pull"	<ul style="list-style-type: none"> • Menos trabajo en proceso • Optimización del espacio en el sitio • Menos tiempo de flujo y tiempo de entrega • Mayor satisfacción del cliente, interno y externo
Equipos multifuncionales	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos con más autonomía y responsabilidades • Capacidad de resolución de problema al momento y en el lugar que suceden
Sistemas de información	<ul style="list-style-type: none"> • Menos niveles verticales en la estructura organizativa • Acceso a la información necesaria cuando se la necesita • Mayor rapidez para la resolución de problemas y la toma de decisiones

Por último, Bajjou y Chafi, (2018) han recopilado los beneficios registrados por diferentes casos de estudio de aplicación de diferentes herramientas de Lean Construction alrededor del mundo, como puede verse en la Tabla 4.

Tabla 4:

Beneficios de Lean Construction en casos de estudio. Fuente: adaptación de Bajjou y Chafi, (2018)

Beneficios	País	Proyecto	Herramienta Lean	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> • Se respetó el presupuesto • se finalizó el proyecto 3 semanas antes • cantidad mínima de defectos. 	Estados Unidos de América	Proyecto de parking	LPS 5S Increased Visualisation	(Salem et al., 2006)
<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en el valor agregado • Reducción del 1.5% en costes 	Suecia	Infraestructura Civil	Mapa de flujo de valor	(Arleroth y Kristensson, 2011)
<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de costes 	Estados Unidos de América	Construcción de viviendas	Kaizen	(Leonard, 2006)



• Menos accidentes en obra	Estados Unidos de América	Construcción de viviendas	Kaizen	(Nahmens y Ikuma, 2009)
• Mejor gestión ambiental	Brasil – Estados Unidos de América	Construcción de viviendas	-	(Carneiro et al., 2012)
• Reducción en la duración del proyecto	Turquía Egipto Nigeria	Construcción de viviendas	Last Planner® System	(Erol et al., 2017) (Issa, 2013) (Adamu y Howell, 2012)

2.2.10. Barreras

Una vez descritos los principios de Lean Construction, herramientas y posibles beneficios que se pueden lograr con la implementación de los mismos, se prosiguió a abordar las barreras que existen para llevarla a cabo.

Son numerosos los estudios e investigaciones realizadas sobre el tema. Los hallazgos resultan diversos: algunas investigaciones vinculan las barreras para la implementación de Lean Construction a las características del sector, otras, a falta de educación, falta de apoyo de políticas gubernamentales o problemas financieros, entre otros.

Luego de haber estudiado y analizado la totalidad de la muestra delimitada para la revisión bibliográfica se ha llegado al número final de 475 barreras encontradas para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción.

A los fines de realizar un tratamiento de la información más profundo se ve la necesidad de clasificar las barreras encontradas según afinidad entre las mismas. En la bibliografía analizada se han encontrado interesantes clasificaciones realizadas por diferentes autores que han desarrollado un trabajo de revisión bibliográfica sobre barreras en la implementación de Lean Construction en diferentes países del mundo. A continuación, en la Tabla 5, se representan algunas de las clasificaciones realizadas en investigaciones anteriores.

Tabla 5

Clasificación de barreras para la implementación de Lean Construction

Clasificación de Barreras	(S. Sarhan y Fox, 2013)	(Al-Aomar, 2012)	(Neeraj et al., 2016)	(Čiarnienė y Vienažindienė, 2015)	(Shang y Sui Pheng, 2014)	(Adegbebo et al., 2016)
----------------------------------	-------------------------	------------------	-----------------------	-----------------------------------	---------------------------	-------------------------



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Fragmentación, subcontratación	✓				✓	✓
Estrategia de contratación de obras	✓				✓	
Cultura y actitud del personal	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Falta de tiempo por presión comercial	✓		✓	✓	✓	✓
Problemas financieros	✓	✓		✓	✓	✓
Falta de compromiso de la alta dirección	✓	✓		✓	✓	✓
Dicotomía entre diseño y construcción	✓				✓	
Falta de comprensión de los principios Lean	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Problemas de educación	✓				✓	
Falta de sistemas de medición del desempeño	✓				✓	
Falta de apoyo gubernamental					✓	✓
Falta de capacitación		✓			✓	
Resistencia al cambio		✓	✓	✓	✓	✓
Falta de comunicación		✓	✓	✓	✓	

A continuación, se desglosan las categorías de barreras mencionadas en Tabla 5 con las barreras asociadas a cada una de las encontradas en la bibliografía.

Fragmentación y subcontratación

La fragmentación y subcontratación de partidas representan una característica propia del sector de la construcción tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo (Ofori, 2012). Son numerosos los artículos que mencionan este aspecto en sí como una barrera para la implementación de Lean Construction mientras que algunos añaden barreras relacionadas.

En la investigación publicada en Reino Unido por Sarhan y Fox (2013), los autores plantean que tanto la fragmentación como la subcontratación le quitan incentivo a los participantes del proyecto para que cooperen entre sí y aprendan juntos. Se entiende que todas las partes que participan tienen como objetivo común terminar con éxito el proyecto que los relaciona, aunque tengan diferentes prioridades y circunstancias. Por ende, plantean necesario implantar una comunicación efectiva entre cada una de las partes involucradas para lograr asociaciones entre las mismas y llevar a cabo un trabajo en equipo

integrado. Esto es esencial, ya que, en el proceso de implantación de los conceptos de Lean Construction, los problemas de comunicación entre las partes provocan un impacto negativo en la efectividad del sistema de entregas y coordinación del proyecto (Bajjou y Chafi, 2018).

Otra barrera relacionada a la fragmentación y subcontratación es mencionada por otros autores como “problemas en la cadena de suministro” (“supply chain” en inglés). Enshassi et al. (2019) plantean como una importante barrera la falta de integración y comunicación entre cliente, contratista, subcontratista, y proveedores. Otros autores agregan las siguientes barreras relacionadas al tema: desconocimiento de la cadena de suministros (Sarhan et al., 2018), falta de coordinación, falta de comunicación y transparencia (Wilkinson et al., 2016) y falta de intereses comunes (Tayeh et al., 2018).

Además, como se dijo con anterioridad, en la mayoría de los proyectos de construcción, los contratistas contratan subcontratistas para ejecutar las diferentes partidas presupuestarias de la obra (Liu et al., 2007). Estos generalmente no tienen contrato con el cliente y en muchos casos deben trabajar con presupuestos insuficientes por más que el cliente pague un precio justo por el contrato principal (Sarhan et al., 2018). Martínez et al. (2019), en su caso de estudio en Ecuador, coinciden y agregan que esta situación representa una de las principales barreras contra la aplicación de herramientas lean de trabajo colaborativo.

Los autores Shang y Sui Pheng (2014) se refieren al tema bajo el nombre de “múltiples capas de subcontratación”, que no solo atentan contra la implementación de principios Lean sino que fomentan la falta de compromiso por las partes en cuanto a la calidad del producto final.

Estrategias de contratación de obras

Las estrategias de contratación de obras tradicionales atentan contra la aplicación de principios de Lean Construction, ya que parecen crear relaciones de confrontación entre las partes involucradas, generando pérdidas o desperdicios en el proceso (Sarhan y Fox, 2013). Además, los contratos que permiten a una de las partes imponer poder sobre otra, crea relaciones adversas. Estas relaciones, a su vez, crean costes de transacción que se consideran pérdidas o desperdicios y, por lo tanto, van en contra de la filosofía lean (Cullen et al., 2005).

Johansen y Walter (2007) plantean que las estrategias de contratación de obra que tienden a delegar el trabajo de diseño a diseñadores externos, sin ninguna clase de incorporación posterior o seguimiento, separa el diseño del proceso de construcción y, por ende, se pierde uno de los objetivos de Lean Construction relacionados al trabajo colaborativo y la integración.

Por esto, se recomiendan estrategias de contratación de obras colaborativas que hagan énfasis en la participación concurrente entre diseño y construcción, para una implementación exitosa de Lean Construction (Koskela y Forgues, 2009).

Otras barreras que se podrían agrupar en esta categoría encontradas en la revisión bibliográfica fueron: Falta de documentación de acuerdos y procedimientos (Alinaitwe, 2009), Falta de claridad en cuanto a las respectivas responsabilidades de cada parte involucrada en el proyecto (Mattos et al., 2016), sistemas deficientes de adjudicación y contratación de obras (Salifu-Asubay y Mensah, 2015).

Dicotomía entre diseño y construcción

En la filosofía de Lean Construction, el diseño y la planificación son de los aspectos fundamentales de un proyecto. El desconocimiento sobre su importancia de estos puede conducir a pérdidas de tiempo, incremento de costes y fallas en el proceso general (Common et al., 2000).



La dicotomía entre diseño y construcción es una barrera que se relaciona en gran medida con las estrategias de contratación de obra. Debido a las estrategias de contratación tradicionales, el diseño y la construcción o implementación del diseño se tratan por separado. Esto puede acarrear problemas de planificación, pérdida de tiempo y aumento de costes innecesarios (Sarhan y Fox, 2013).

Shammas-Toma et al. (1998), relacionan al tratamiento del diseño y la construcción de manera aislada con las siguientes barreras: diseños incompletos e inexactos, rehacer diseños o construcciones, falta de diseños edificables, interrupción de obras debido a los contratistas para diseñar cambios y productos finales con variaciones respecto a lo especificados en el diseño.

Como recomendación para mitigar este tipo de barrera Shang y Sui Pheng (2014) plantean la importancia de la inclusión de contratistas en etapas de diseño para generar una cultura colaborativa que permita realizar correcciones en los proyectos en sus primeras etapas.

Cultura y actitud del personal

La aplicación de los principios de Lean Construction en el sector de la construcción requiere de un nuevo enfoque para poder pensar en el proceso completo, eliminar desperdicios, crear flujo continuo y mejorar el “valor” para el cliente (Sarhan y Fox, 2013).

La mala predisposición a los cambios, que a veces ocurre, tanto en técnicas de trabajo como de gestión son barreras que se repiten por diferentes autores y podría considerarse un aspecto cultural del sector de la construcción. La filosofía Lean tiene aspectos específicos que definen el comportamiento de los empleados, si no existe predisposición a ello, las oportunidades de una implementación exitosa son escasas (Shang y Sui Pheng, 2014). Por lo tanto, pareciera ser un requisito modificar las tradiciones y el comportamiento para poder llevar a cabo la implementación de Lean Construction. Un ejemplo de actitudes a cambiar es lo que plantean Perera et al. (2011) en sus estudios realizados en Australia, donde exponen como un hecho habitual que en la obra de construcción se considere el desperdicio como algo inevitable o cotidiano.

Otros autores se refieren al tema como “resistencia al cambio” (Neeraj et al., 2016) o “miedo a la implementación de técnicas nuevas” (Al-Aomar, 2012) que pueden relacionarse a otra importante barrera como la falta de liderazgo. Bashir et al. (2010), plantean que la implementación de Lean Construction resulta compleja porque no solo involucra la aplicación de nuevas técnicas sino, el desarrollo de una cultura de mejora continua que atraviese a todas las partes intervinientes en un proyecto.

Hay quienes se refieren a esta clase de barreras como problemas de actitud humana o actitud del personal. Alarcón et al. (2008), plantean que actitudes humanas como falta de autocrítica, problemas para desempeñar trabajo en equipo o falta de capacidad de aprender de los errores son barreras para la implementación de Lean Construction. La falta de capacidad de compartir las experiencias entre los profesionales de Lean Construction puede considerarse otra de las barreras relacionadas a la actitud humana (Mossman, 2009).

Falta de tiempo y presión comercial

La falta de tiempo y presión comercial es una barrera que se repite en la bibliografía como el motivo por el cual las empresas tienden a aplicar conceptos de gestión tradicionales en lugar de iniciativas de productividad y calidad (Sarhan y Fox, 2013). Otro aspecto que refuerza el concepto descrito en el apartado anterior de “resistencia al cambio”. Una barrera para la implementación de Lean es que, en algunas empresas, la presión comercial para lograr la adjudicación de contratos tiene más importancia que las cuestiones de producción y calidad (Common et al., 2000).



Otra importante barrera para la implementación de Lean Construction, asociada a esta categoría, es que los directivos o gestores de proyectos no encuentren tiempo para la innovación (Alarcón et al., 2008). Además, otros autores se refieren al tema como “falta de compromiso a largo plazo para aplicación de cambios e innovación” (Small et al., 2017) .

Pero la falta de tiempo y presión comercial no afecta solo en los altos cargos directivos de una empresa u organización. Muchas veces, los contratistas consideran, erróneamente, que aplicar nuevas técnicas les consume tiempo y pueden afectar su ritmo de producción (Enshassi et al., 2019b).

La resistencia al cambio en técnicas de gestión por falta de tiempo o presión comercial es una barrera que también aparece en el ámbito de proveedores (Hussain et al., 2019). Por lo que es evidente la presencia de esta barrera en todas las partes componentes de la cadena productiva en el sector de la construcción.

Problemas financieros.

Los problemas financieros son considerados una de las barreras más comunes para la implementación de Lean Construction en el mundo (Bashir et al., 2010). Small et al. (2017), plantean que, para la implementación exitosa de Lean Construction es necesario contar con fondos apropiados para realizar la inversión inicial. Esto puede incluir la adquisición de herramientas y equipos relevantes, proporcionar salarios suficientes a los profesionales, programas de capacitación, y quizás emplear a un especialista en Lean para brindar orientación a empleadores y empleados durante la implementación inicial (Enshassi y Zaiter, 2014).

Otra barrera hallada con frecuencia en la bibliografía es la falta de fondos para el entrenamiento o consultoría con profesionales del tema (Alarcón et al., 2008).

Se han encontrado otras barreras relacionadas a problemas financieros que aparecen con mayor frecuencia en países en vía de desarrollo, sobretodo en estudios realizados en África o Sudamérica. Salifu-Asubay y Mensah (2015) explican que en proyectos de construcción en los que existen demoras en los pagos a contratistas y proveedores, se generan conflictos y falta de confianza que terminan obstaculizando la implementación de técnicas Lean.

Otras barreras identificadas son la falta de sistemas de incentivos (Harper et al., 2005) y, en algunos casos, bajas remuneraciones a profesionales con la intención de aplicar técnicas innovadoras o encargados de la coordinación e implementación de Lean (Enshassi et al., 2019b). Estas situaciones en una empresa son factores de desmotivación. Ghassemi y Becerik-Gerber (2011), también se refieren a barreras financieras en términos de falta de sistemas de incentivos y remarcan la necesidad de encontrar estructuras de compensación económica para la implementación de técnicas Lean.

También pueden encontrarse barreras asociadas a la inflación (Polat y Ballard, 2014). El aumento de los precios genera inestabilidad y condiciones adversas en el mercado, provocando elevados costes de imprevistos, conflictos con proveedores y financiación inadecuada de proyectos (Alinaitwe, 2009).

Falta de compromiso de la alta dirección

La implementación exitosa de Lean Construction o cualquier otra estrategia innovadora debe ser promovida por la alta dirección de la empresa (Sarhan y Fox, 2013). Los altos directivos son los encargados de propiciar el tiempo y los recursos suficientes para desarrollar un plan eficaz y gestionar los cambios que puedan aparecer durante el proceso de implementación (Bashir et al., 2010).



Por lo anterior, son numerosos los estudios, entre ellos los realizados por Abdullah et al. (2009), que mencionan a la falta de compromiso y liderazgo por parte de los altos directivos de las empresas como una de las principales barreras para la implementación de Lean Construction.

Otras barreras relacionadas a la alta dirección de las empresas y proyectos son las que plantea Alinaitwe (2009), en Uganda, donde mencionan la falta de interpretación de las necesidades de los clientes para establecer objetivos claros de trabajo y la falta de habilidades de liderazgo enfocadas al trabajo en equipo.

En sus estudios realizados en Medio Oriente, AlSehaimi et al. (2017) encontraron que la falta de visión e inversión a largo plazo es otra de las barreras relacionadas con la alta dirección. La falta de estrategias y vínculos a largo plazo con proveedores es un obstáculo para la implementación exitosa de Lean (Small et al., 2017). Esto puede relacionarse sin dudas a cuestiones culturales y falta de tiempo o presión comercial.

Primayuda et al. (2019), en su investigación realizada en Indonesia, plantean que aspectos como falta de políticas alineadas con los principios de Lean, falta de habilidades directivas y de gestión en los altos cargos de empresas, son barreras que atentan contra la implementación de Lean Construction.

Por otro lado, Vignesh (2017), en su caso de estudio aplicado en India, plantea que la falta de eficiencia por parte de los altos directivos o managers a la hora de implementar herramientas como Last Planner® System se debe a que no cuentan con el suficiente control sobre todas las partes intervinientes en el proyecto. Sobre todo, cuando es el cliente quien contrata algunas de las subcontratas.

Además, existen problemas para la implementación de Lean por dificultades en la gerencia de nivel medio. Para los gerentes intermedios, los beneficios no son muy claros y su capacitación y experiencia no son suficientes para proporcionarles la capacidad de gestionar el cambio de pensamiento, responsabilidad y roles (Mossman, 2009).

Falta de comprensión de los principios Lean

Como citaron Sarhan y Fox (2013), los principios de Lean Construction han sido adoptados desde el sector de la manufacturación hacia el sector de la construcción. Por lo tanto, muchos de los principios y técnicas de Lean Construction se refieren a Lean Production, aplicado a la industria manufacturera. Existe un gran debate sobre en qué medida los métodos de Lean Production son aplicables a Lean Construction.

Eriksson (2009) plantea que algunas herramientas de Lean Production no podrían ser aplicadas en la construcción sin algunas modificaciones. Para poder comprender claramente el concepto de Lean Construction es esencial tener, previamente, una comprensión completa de los conceptos de Lean Production.

Sumado a esto, los estudios realizados por Johansen y Walter (2007) remarcan que unas de las principales barreras para la implementación de Lean Construction son la falta de exposición sobre la necesidad de implementar Lean Construction y las dificultades para entender sus conceptos.

Además, Lean Construction ha introducido en la industria de la construcción el uso de nuevas herramientas que tienen una gran diferencia en comparación con las utilizadas en las prácticas tradicionales. Es sumamente importante comprender estas diferencias para poder utilizar las herramientas de manera óptima (Abdullah et al., 2009).

Los estudios realizados por Common et al. (2000) revelaron que existe una importante falta de comprensión de los conceptos fundamentales para la aplicación de Lean Construction en las empresas constructoras de Reino Unido. Los resultados de su investigación establecen que la mayoría de los

encuestados no consideran que Lean Construction sea adecuado para el sector de la construcción debido a las demandas de los clientes de proyectos más rápidos y económicos. Lo anterior es inconsistente debido a que los principios de Lean plantean la eliminación de desperdicio para reducir tiempo y costes y así, agregar valor al cliente. Por lo tanto, se revela la falta de entendimiento y conocimiento sobre los principios.

Pandithawatta et al. (2020), en su investigación realizada en Sri Lanka, plantean que la falta de conocimiento de los conceptos básicos, teorías y principios de Lean en el sector de la construcción de su país limita los beneficios que podría generar la aplicación de sus técnicas. Lo mismo ocurre en la investigación llevada a cabo en Estados Unidos de América por Christensen et al. (2019), donde identifican a la falta de conocimiento como la mayor desmotivación por parte de las empresas a la hora de implementar Lean. Por lo tanto, representa una de las principales barreras para la implementación de Lean Construction de manera masiva.

Las barreras relacionadas a la falta de comprensión de los principios Lean se da a diferentes escalas en la gran mayoría de países en los que se busca implementar Lean Construction y se vincula directamente con barreras relacionadas a la falta de educación, entrenamiento y capacitación.

Problemas de Educación

Las barreras educacionales incluyen a la falta de comprensión de los principios de Lean y a la falta de conocimiento de las herramientas de Lean Construction (Shang y Sui Pheng, 2014). Incluso en Inglaterra, uno de los países pioneros en Lean Construction, pese a los esfuerzos por parte del gobierno, instituciones privadas y académicos, las barreras educativas representan la mayor amenaza para la implementación de Lean (Sarhan y Fox, 2013).

En una primera instancia, proveer a todas las partes involucradas en un proyecto de formación específica y seguimiento para adquirir conocimientos sobre las herramientas de Lean Construction a aplicar, es un factor fundamental para la implementación (Naim et al., 2015).

Otros autores, como Porwal et al. (2010), incluyen a la falta de entrenamiento como una importante barrera para la implementación de Lean Construction que se puede asociar a esta categoría de barreras. Además, se incluyen barreras como: falta de educación, falta de programas de entrenamiento y capacitación (Bashir et al., 2010), falta de habilidades técnicas (Small et al., 2017), falta de experiencia, poca transferencia de conocimientos (Alarcón et al., 2008), falta de profesionales especializados (Cano et al., 2015), falta de técnicas de gestión estandarizadas (Kovvuri et al., 2016), entre otras.

Falta de sistemas de medición del desempeño centrados en el cliente y basados en procesos

Este grupo de barrera está relacionado al hecho de que en el sector de la construcción existe la tendencia a medir el desempeño en función de tiempo y costes. Por esto, generalmente, no se tiene una gran consideración por la medición del desempeño en términos de satisfacción del cliente (Sarhan y Fox, 2013). Estas preferencias en cuanto a la utilización de sistemas de medición de desempeño tradicionales en proyectos como análisis de costes y cronograma, representan un gran desafío para la implementación de técnicas Lean (Khaba y Bhar, 2017). Además de no ser apropiadas para la mejora continua ya que no son efectivas para la identificación de las causas que causan las pérdidas de calidad y productividad (Alarcón et al., 2008).

Los sistemas tradicionales de medición del desempeño se basan en medidas financieras, es decir orientados a resultados. Estos sistemas han sido criticados por investigadores como Moon et al. (2007) quienes argumentan que, al no realizar las mediciones hasta que se completa el proyecto, la información



obtenida llega demasiado tarde para lograr tomar medidas correctivas. En otras palabras, estos indicadores no pueden utilizarse para identificar barreras o problemas que existan durante la ejecución de los procesos.

Barreras Gubernamentales

Otro tipo de barreras para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción, que se presenta con más frecuencia en países en vías de desarrollo, son las que surgen de las actitudes y las faltas de apoyo del gobierno al sector (Enshassi et al., 2019b).

Las barreras gubernamentales están relacionadas con la burocracia e inestabilidad del gobierno. Alinaitwe (2009), plantean que la inconsistencia en las políticas gubernamentales genera un impacto negativo en la planificación de las empresas constructoras y es otra de las grandes barreras que atentan contra la implementación de Lean Construction. Además, agrega que el precio inestable de los productos básicos también puede evitar la implementación de Lean Construction en proyectos de construcción.

En esta categoría de barreras también se incluyen aquellas relacionadas al contexto social del país. Algunos estudios plantean que la pobreza y los problemas sociales son una importante barrera (Cano et al., 2015), problemas con uniones sindicales (Smith y Ngo, 2017), corrupción, fraude (Enshassi et al., 2019b)

Por último, el hecho de que el gobierno forme parte del proceso productivo en el sector de la construcción, generalmente el cliente en obras públicas, puede verse como otra barrera para la implementación de Lean Construction. Los procedimientos de gestión en el gobierno suelen ser rígidos y en algunos casos ineficientes, sumado a demoras en pagos, aprobaciones burocráticas y problemas de comunicación (Martinez et al., 2019).

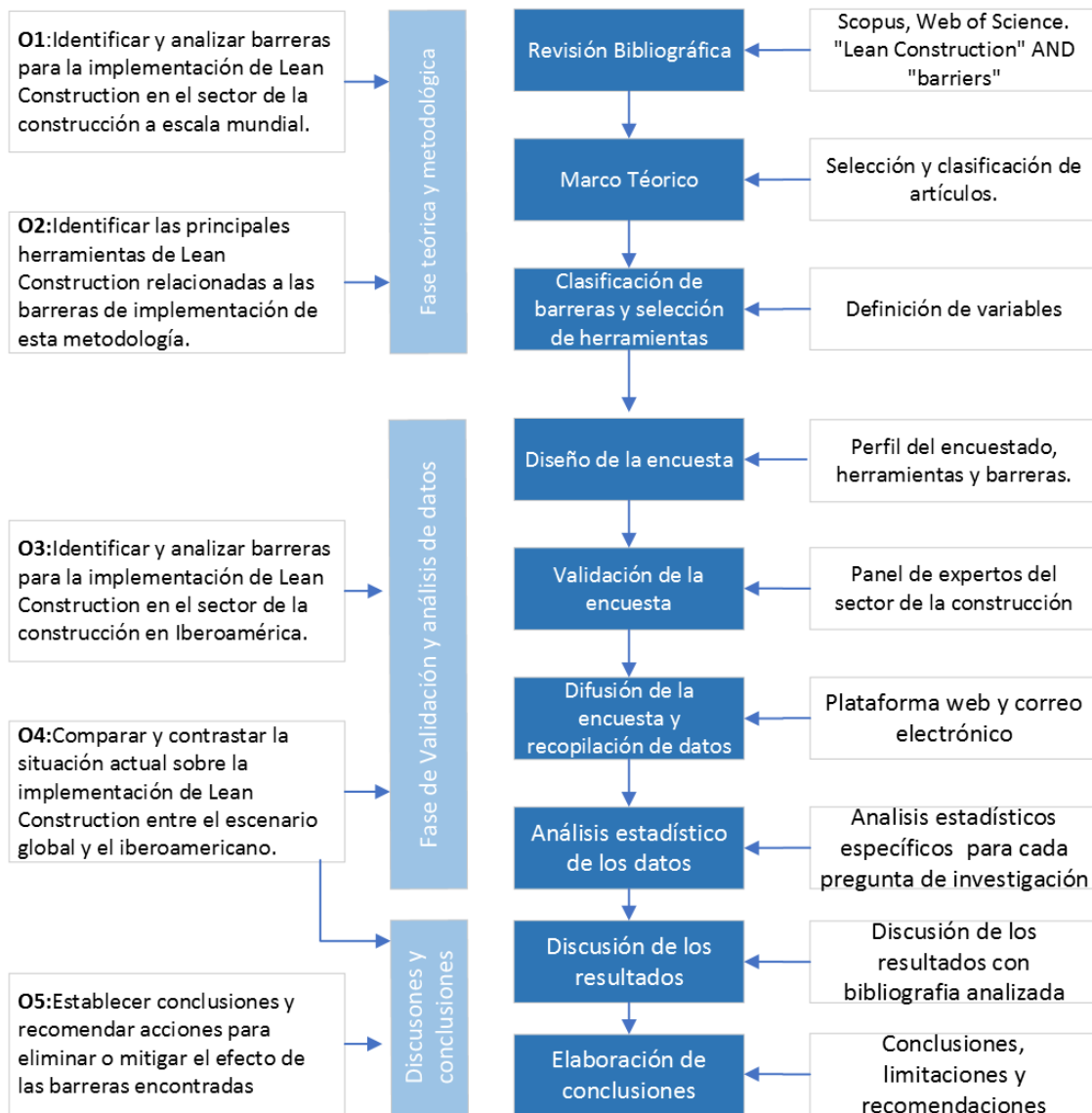
En el Anejo N°1 se resume el trabajo de revisión bibliográfica, representando para cada artículo título de la publicación, fecha, país, herramientas de lean Construction mencionadas y barreras para su implementación.

3. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

El presente Trabajo Final de Máster ha sido dirigido al estudio de las posibles barreras que existan para la implementación de Lean Construction en la región Iberoamericana. Para ello, se establecieron cinco objetivos específicos mencionados en el apartado 1.3. Para la consecución de estos objetivos la investigación ha sido diseñada principalmente en tres fases: primero, una fase teórica y metodológica, luego, una fase de validación y análisis de datos, y posteriormente discusión de resultados y conclusiones. La metodología utilizada en el presente trabajo de fin de máster se representa de manera resumida en el esquema de la Figura 7.

Figura 7

Esquema de metodología de investigación



A continuación, se describe cada uno de los componentes indicados en la Figura 7.

3.1. Fase teórica y metodológica

3.1.1. Revisión bibliográfica

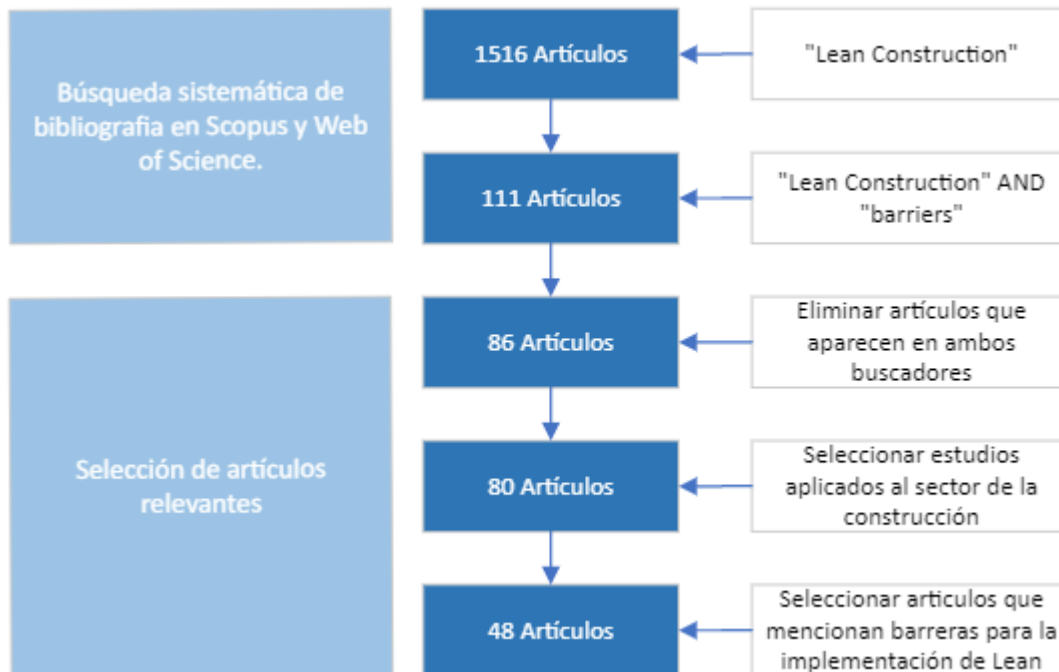
Se llevó a cabo una búsqueda sistemática de bibliografía para analizar el abordaje dado por autores especializados en estudios previos. Para ello, se utilizaron Scopus, Web of Science como motores de búsqueda. En primer lugar, se buscó “Lean Construction” en todas las categorías (Tema, título, nombre de publicación, autor), lo cual arrojó un número de 1.516 artículos publicados. Luego, se refinó la búsqueda utilizando el operador booleano AND e introduciendo la palabra “barriers” (“Lean Construction” AND “barriers”), considerando que la mayoría de los artículos están escritos en inglés. En Scopus la búsqueda arrojó un resultado de 77 artículos o conferencias mientras que en Web of Science 34, por lo que hasta el momento la muestra estaba definida por 111 artículos. Como se ha representado en la Figura 8.

3.1.2. Recopilación y selección de artículos

El paso siguiente fue establecer criterios de selección de artículos relevantes a los fines del presente trabajo de investigación. En primer lugar, se eliminaron aquellos artículos o conferencias que se encontraban repetidos entre los motores de búsqueda Scopus y Web of Science. El número de la muestra pasó de 111 a 86. En segundo lugar, se eliminaron todos aquellos artículos en los que la investigación o análisis de casos de estudio no se llevaba a cabo en el sector de la construcción, llegando a un número de 80 artículos. Por último, se seleccionaron aquellos artículos o conferencias en los que se analizan, mencionan, o listan barreras para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción, llegando a un número final de 48. El proceso queda resumido en la Figura 8.

Figura 8

Muestreo y selección de artículos





El resultado de haber aplicado el mencionado criterio de selección de artículos relevantes arrojó un número final de 48 artículos en los que se basó la revisión bibliográfica de barreras para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción.

3.1.3. Marco teórico

En esta etapa de la investigación se han expuesto los resultados obtenidos de la revisión bibliográfica realizada. Para ello, se desarrollan en profundidad todos los conceptos necesarios para la comprensión del objeto de estudio del presente trabajo de fin de master. Además, se han contextualizado los conceptos describiendo sus orígenes, su historia, y su aplicación en la actualidad en diferentes países del mundo.

De esta manera, se ha buscado describir, a través del análisis bibliográfico realizado, la situación actual a escala global del conocimiento referido a Lean Construction y las posibles barreras para su implementación, apoyándose en los artículos estudiados.

3.1.4. Clasificación de barreras

En el estudio y análisis de la muestra de artículos recopilada en la revisión bibliográfica se recopilaron 475 barreras encontradas para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción.

A los fines de realizar un tratamiento de la información más profundo se ha visto la necesidad de clasificar las barreras encontradas según afinidad entre las mismas. Para ello, se identificaron las clasificaciones utilizadas por los autores de los artículos analizados. Se decidió que las clasificaciones o grupos que mejor se adaptaban a las barreras encontradas en la bibliografía son las enumeradas y descritas a continuación:

1. *Fragmentación y subcontratación*

La fragmentación y la subcontratación de partidas son aspectos que caracterizan a los proyectos en el sector de la construcción, y representan una barrera para la implementación de Lean Construction. En esta categoría se incluyen barreras como: falta de comunicación (Sarhan y Fox, 2013), transparencia, coordinación (Enshassi et al., 2019a), intereses en común, colaboración (Martinez et al., 2019), entre otras.

2. *Estrategia de contratación de obras*

En esta categoría se incluyen barreras relacionadas a las estrategias de contratación de obras, considerando que las estrategias tradicionales, licitación-proyecto-obra, van en dirección contraria a algunos de los principios Lean, como trabajo colaborativo e integración (Johansen y Walter, 2007). Además de la falta de soporte para la implementación de Lean a través de un marco legal (Martinez et al., 2019).

3. *Cultura y actitud del personal*

En este grupo de barreras se incluyen aspectos, comportamientos y actitudes de las personas que pueden dificultar la implementación de Lean. Por ejemplo, falta de predisposición o miedo a la aplicación de nuevas técnicas (Al-Aomar, 2012), resistencia al cambio (Neeraj et al., 2016), falta de trabajo en equipo, falta de compromiso, de convencimiento (Pheng y Shang, 2011), de autocrítica (Alarcón et al., 2008), entre otras.

4. Adherencia a los conceptos de gestión tradicionales debido al tiempo y la presión comercial

Este tipo de barrera se repite en la bibliografía como una de las principales barreras, siendo un aspecto que afecta tanto a directivos de las empresas como a proveedores, contratistas, subcontratistas (Enshassi et al., 2019b).

5. Problemas financieros

En esta categoría se incluyen aspectos financieros que afectan a la implementación de Lean. Por ejemplo, falta de fondos para inversión inicial en capacitación (Small et al., 2017), falta de sistemas de incentivos, bajas remuneraciones en profesionales encargados de la implementación (Enshassi et al., 2019a), pagos fuera de término que generan conflictos entre las partes (Salifu-Asubay y Mensah, 2015), entre otras.

6. Falta de compromiso y apoyo de la alta dirección

Bajo este nombre se agrupan comportamientos por parte de los directivos de empresas u organizaciones que dificultan la correcta implementación de Lean Construction. Considerando que son un factor fundamental en la implementación de nuevas técnicas. Se incluyen barreras como falta de habilidades de liderazgo, falta de apoyo (Sarhan y Fox, 2013), falta de visión e inversión a largo plazo (AlSehaimi et al., 2017), falta de políticas alineadas con los principios Lean (Primayuda et al., 2019), entre otras.

7. Dicotomía entre diseño y construcción

En esta categoría se incluyen barreras relacionadas al tratamiento del diseño y la construcción como fases independientes, situación que, afecta a la implementación correcta de Lean. Algunos autores mencionan barreras relacionadas como: mala planificación, pérdida de tiempo, incremento en costes (Sarhan y Fox, 2013), interrupciones por diseños erróneos (Shammas-Toma et al., 1998), entre otras.

8. Falta de comprensión de los principios Lean

La falta de conocimiento de los principios Lean resulta ser una importante barrera para la implementación de sus técnicas, mencionado por diferentes investigadores como: Sarhan y Fox (2013), Al-Aomar (2012), Čiarnienė y Vienažindienė (2015), entre otros.

9. Problemas de educación

Bajo este nombre se agrupan barreras relacionadas al desconocimiento sobre herramientas de Lean Construction Shang y Sui Pheng (2014), falta de programas de formación y capacitación Bashir et al. (2010), falta de profesionales especializados Cano et al. (2015), entre otras.

10. Falta de sistemas de medición del desempeño centrados en el cliente y basados en procesos

En esta categoría se incluyen barreras relacionadas al hecho de que muchas empresas miden el desempeño de sus proyectos en función de tiempo y costes, sin considerar otros aspectos como la satisfacción del cliente, la calidad, la productividad (Sarhan y Fox, 2013).

11. Barreras gubernamentales

En este grupo se incluyen barreras relacionadas a la falta de apoyo del gobierno al sector, problemáticas relacionadas a decisiones políticas, a procesos burocráticos ineficientes (Alinaitwe, 2009), a la inestabilidad económica y social (Cano et al., 2015), entre otras.

La clasificación escogida es principalmente la propuesta por Sarhan y Fox (2013), en su estudio realizado en Reino Unido, correspondiente a los puntos correspondidos entre 1 y 10. Además, se decidió añadir una clasificación que incluya a las barreras relacionadas a la falta de apoyo gubernamental. Este tipo de barrera se ha visto generalmente en estudios realizados en países en vías de desarrollo y se consideró apropiado incluirla para la presente investigación realizada en países iberoamericanos, bajo el nombre de “barreras gubernamentales”. Estas clasificaciones también han sido utilizadas por otros autores a la hora de analizar barreras para la implementación de Lean Construction en su país, como puede observarse en la Tabla 6.

Tabla 6

Clasificación de barreras propuesta.

Clasificación de Barreras	(Sarhan y Fox, 2013)	(Al-Aomar, 2012)	(Čiarnie n̄ y Vienaži ndien̄, 2015)	(Enshassi et al., 2019a)	(Martinez et al., 2019)	(Neeraj et al., 2016)	(Shang y Sui Pheng, 2014)
1. Fragmentación y subcontratación	✓	✓	✓		✓		✓
2. Estrategia de contratación de obras.	✓		✓				✓
3. Cultura y actitud del personal.	✓	✓	✓			✓	✓
4. Falta de tiempo por presión comercial.	✓	✓	✓			✓	✓
5. Problemas financieros.	✓	✓	✓	✓		✓	✓
6. Falta de compromiso de la alta dirección.	✓	✓	✓			✓	✓
7. Dicotomía entre diseño y construcción.	✓		✓				✓
8. Falta de comprensión de los principios Lean.	✓	✓	✓			✓	✓
9. Problemas de educación.	✓		✓	✓	✓		✓



Clasificación de Barreras	(Sarhan y Fox, 2013)	(Al-Aomar, 2012)	(Čiarnie y Vienaži ndienė, 2015)	(Enshassi et al., 2019a)	(Martinez et al., 2019)	(Neeraj et al., 2016)	(Shang y Sui Pheng, 2014)
10. Falta de sistemas de medición del desempeño.	✓		✓		✓		✓
11. Barreras gubernamentales				✓	✓		

3.1.5. Selección de herramientas

En la bibliografía es posible encontrar cientos de herramientas o técnicas para la aplicación de Lean Construction. Para seleccionar qué herramientas se debían incluir en el cuestionario posteriormente elaborado se ha procedido a identificar en la revisión bibliográfica sobre barreras, aquellos artículos que mencionaban herramientas de Lean asociadas a las mismas. Luego, se han escogido las diez herramientas que aparecían con más frecuencia.

3.2. Fase de validación y análisis de datos

3.2.1. Elaboración de cuestionario y validación

Con el objetivo de recolectar la información necesaria para llevar a cabo la investigación, se diseñó un cuestionario constituido por tres secciones: perfil del encuestado, herramientas de Lean Construction y barreras para la implementación de las mismas.

Perfil del encuestado

La primera sección tiene el objetivo de identificar el perfil de la persona encuestada. Está compuesta por seis preguntas de tipo categóricas. Las preguntas que se han incluido en esta sección se basaron en el cuestionario realizado por Sarhan y Fox (2013), en el que se indaga sobre formación académica, nivel de formación académica, años de experiencia y posición o cargo que ocupa en su organización o empresa. Además, se consideró necesario indagar sobre el país y el sector en el que ejerce su profesión la persona encuestada. A continuación, en la Tabla 7 se muestran las preguntas de la sección “perfil del encuestado” con sus respectivas categorías.

Tabla 7

Preguntas sección de perfil del encuestado

Pregunta	Categorías
1. País	Brasil Chile Colombia Ecuador



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

	España
	México
	Perú
	Portugal
	República Dominicana
	Venezuela
	Otro
2. Formación académica	Arquitectura
	Ingeniería civil
	Otra
3. Nivel de formación académica	Grado
	Máster
	Doctor
	Otro
4. Años de experiencia	Menos de 5 años
	Entre 5 y 10 años
	Entre 10 y 20 años
	Más de 20 años
5. Cargo que ocupa en su compañía/organización	Académico – investigador
	Calculista
	Diseñador
	Director general
	Gerente de departamento
	Gerente Regional
	Jefe de obra
	Oficina técnica
	Gestor de proyectos
	Otro
6. Sector en el que se desenvuelve su compañía/organización	Educación superior
	Aeropuertos
	Consultoría
	Diseño y cálculo



Edificación
Instalaciones de infraestructura
Obras viales
Obras ferroviarias
Otro

Herramientas de Lean Construction

En la segunda sección del cuestionario se decidió indagar en la percepción de la persona encuestada sobre la frecuencia con la que se utilizan diferentes herramientas de Lean Construction en su país. Para ello, se consideró apropiado incluir en esta sección preguntas de escala, particularmente una escala Likert de cuatro puntos. Por lo tanto, para cada una de las diez herramientas que se evaluaron en esta sección, el encuestado debía responder con una escala Likert de 1 a 4, donde 1 significa que la herramienta no se utiliza, y, 4, que la herramienta se utiliza frecuentemente. Las diez herramientas que se evaluaron en esta sección son las seleccionadas a partir de la revisión bibliográfica, descritas en apartados anteriores:

- Last Planner[®] System (LPS)
- 5S
- Just in time (JIT)
- Visual Management (VM)
- 5 why's
- Increased visualisation (IV)
- Poka-yoke
- Kaizen
- Kanban system
- Standardisation

Barreras para la implementación de Lean Construction

En la tercer y última sección del cuestionario se buscó evaluar la percepción de las personas encuestadas sobre once barreras para la implementación de Lean Construction que se le proponen y describen brevemente. Para ello, al igual que en la sección anterior, se utilizaron preguntas con escala de Likert de 4 cuatro puntos. En este caso, para cada una de las barreras que se le proponen, el encuestado responde con una escala de 1 a 4. En esta sección el valor de 1 indica que la persona no está de acuerdo con la barrera propuesta, mientras que el valor de 4 significa que se está totalmente de acuerdo. Las once barreras propuestas en esta sección han surgido de la selección y clasificación realizada a partir de la revisión bibliográfica descrita en apartados anteriores:

- Fragmentación y subcontratación
- Estrategia de contratación de obras
- Cultura y actitud del personal
- Adherencia a los conceptos de gestión tradicionales debido al tiempo y la presión comercial
- Problemas financieros (5.FI)
- Falta de compromiso y apoyo de la alta dirección
- Dicotomía entre diseño y construcción

- Falta de comprensión de los principios Lean
- Problemas de educación
- Falta de sistemas de medición del desempeño centrados en el cliente y basados en procesos
- Barreras gubernamentales

Por último, para concluir el cuestionario, se ha incluido una pregunta de tipo abierta en la que se le indaga a la persona encuestada sobre su opinión respecto a posibles propuestas para eliminar o mitigar alguna de las barreras evaluadas en la encuesta.

Validación del cuestionario

Una vez finalizado el desarrollo del cuestionario, ha sido enviado y sometido a la revisión de un panel de expertos en el sector de la construcción. El grupo de expertos estuvo conformado por dos docentes e investigadoras de la Universidad Politécnica de Valencia y un docente de la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso especializado en Lean Construction. El panel de expertos realizó críticas y observaciones sobre las preguntas con el objetivo de asegurar la consistencia y validez de la encuesta.

3.2.2. Difusión del cuestionario

La difusión del cuestionario se ha realizado de manera virtual, a través de una plataforma web y por correo electrónico. Este medio se consideró ventajoso respecto al envío en formato físico por su rapidez, considerando que la encuesta debía enviarse a diferentes países. Además, la plataforma permitía realizar un seguimiento en tiempo real sobre la recepción del mismo y así gestionar el envío de recordatorios para aquellos encuestados que no habían recibido la encuesta o aun no la habían contestado. El cuestionario fue enviado a una base de datos conformada por 300 autores de Iberoamérica con publicaciones sobre Lean Construction. Se envió la encuesta en su versión en portugués para aquellos autores provenientes de Brasil y Portugal y en castellano para el resto de autores.

3.2.3. Recolección de datos

Las respuestas a las encuestas fueron recopiladas pasado un mes de la fecha de envío. Para ello, se utilizó la misma plataforma web que para el envío, de donde se pudo obtener el total de las respuestas a las encuestas completadas. Se recolectaron 108 respuestas, representando un índice de respuesta del 36.00 %. Finalmente, los datos obtenidos fueron organizados y tabulados para su posterior análisis.

3.2.4. Fiabilidad de los datos

Una vez recolectados los datos obtenidos a partir del cuestionario fue necesario demostrar que existía consistencia interna entre los mismos antes de computar puntuaciones totales o realizar cualquier otro análisis estadístico. Esto implica que todos los datos miden un mismo constructo y por lo tanto están correlacionados entre sí (Frías, 2019). En el caso del presente trabajo de fin de máster, la consistencia interna debería darse entre los grupos de variables de herramientas y barreras por separado.

La fiabilidad de la consistencia interna de los ítems que forman una escala de medida se puede estimar a través del alfa de Cronbach (α). Este índice, como plantea Frías (2019), se refiere a la media de las correlaciones entre las variables de la prueba realizada, cuyo cálculo se muestra en la ecuación (1).

(1)

$$\alpha = \frac{N \times \bar{r}}{1 + (N - 1) \times \bar{r}}$$

Donde:



- α : Alfa de Cronbach
- N: Número de ítems
- \bar{r} : Correlación media entre los ítems

El valor del alfa de Cronbach varía entre 0 y 1. Como se puede observar en la fórmula, si se incrementa el número de ítems, aumenta el alfa de Cronbach. Si la correlación media entre los ítems es baja, luego el alfa de Cronbach será menor.

En cuanto a la interpretación del valor del alfa de Cronbach, como criterio general se considera que un valor mayor a 0,7 es aceptable, por lo que la muestra analizada es fiable (George y Mallery, 2019). El resto de las recomendaciones propuestas por los autores en cuanto a la interpretación del valor de alfa de Cronbach puede observarse en la Tabla 8.

Tabla 8

Interpretación de valores de alfa de Cronbach. Fuente: Adaptación de (George y Mallery, 2019)

Alfa de Cronbach	Interpretación
$\alpha > 0,9$	Excelente
$\alpha > 0,8$	Bueno
$\alpha > 0,7$	Aceptable
$\alpha > 0,6$	Cuestionable
$\alpha > 0,5$	Pobre
$\alpha < 0,5$	Inaceptable

3.2.5. Análisis estadístico de los datos

Una vez determinada la fiabilidad de los datos obtenidos a través de la encuesta realizada, debió decidirse cómo analizarlos, es decir qué herramientas estadísticas utilizar para el estudio de los mismos. Para ello debió analizarse puntualmente cada interrogante planteado en la presente investigación y decidir cuál es el estadístico adecuado para cada caso en función del tipo de variable y las características de la muestra.

En la Tabla 9 se resumen los estadísticos utilizados en este estudio. Como puede observarse, se aplicaron índices estadísticos como Índice de Frecuencia (FI), Relative Important Index (RII), análisis no paramétricos como la técnica U de Mann-Whitney, H de Kruskal Wallis y análisis de correlación y factorial entre otros.

Tabla 9

Estadísticos utilizados según pregunta de investigación.

Pregunta de investigación	Estadístico utilizado
---------------------------	-----------------------



a. ¿Cuál es la herramienta de Lean Construction que se utiliza con más frecuencia en Iberoamericana?	Índice de Frecuencia (FI)
b. ¿Cómo Influyen las características del encuestado en su opinión sobre la frecuencia con la que se utilizan las herramientas de Lean Construction?	Análisis no paramétricos: H de Kruskal Wallis Test de Bonferroni U de Mann-Whitney
c. ¿Cuál es la barrera más influyente para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica?	Relative Important Index (RII)
d. ¿Cómo Influyen las características del encuestado en la opinión sobre las barreras que existen para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica?	Análisis no paramétricos: H de Kruskal Wallis Test de Bonferroni U de Mann-Whitney
e. ¿Cómo se correlacionan entre sí las frecuencias con la que se utilizan cada una de las herramientas de Lean Construction?	Análisis Factorial
f. ¿Cuál es la correlación que existe entre las diferentes barreras para la implementación de Lean Construction?	Análisis Factorial
g. ¿Existe relación entre la frecuencia de uso de herramientas Lean y las posibles barreras para su implementación?	Chi Cuadrado de Pearson

3.2.5.1. Índice de Frecuencia (FI)

Para identificar cuál es la herramienta que se utiliza con mayor frecuencia en la región Iberoamericana, se analizaron las respuestas obtenidas utilizando un índice estadístico denominado Índice de Frecuencia (FI) cuya fórmula de cálculo es la se representa en la ecuación (2) (Assaf y Al-hejji, 2006).

(2)

$$FI = \frac{4xn_4 + 3xn_3 + 2xn_2 + 1x n_1}{AxN}$$

En el numerador se tiene una suma de variables ponderadas donde n_4 hace referencia al número de encuestados que han respondido 4 en la escala de Likert (se utiliza frecuentemente). Luego, n_3 y n_2 representan a aquellos que contestaron 3 y 2 respectivamente. Por último, n_1 indica el número de encuestados que han respondido 1 en la escala de Likert (no se utiliza). En el denominador se realiza el producto entre la constante "A" que representa el valor máximo de la escala, en este caso 4 y la variable "N" que indica el número total de encuestados con respuestas válidas.

3.2.5.2. Relative Important Index (RII)

Para dar respuesta al interrogante **c.** planteado en la Tabla 9, cuál o cuáles son las barreras más influyentes para la implementación de Lean Construction en la región Iberoamericana, se analizaron las respuestas obtenidas de manera similar al apartado anterior, pero en este caso, utilizando un índice estadístico denominado Relative Important Index (RII). Este método ha sido utilizado por Gündüz et al. (2013), para realizar un ranking en causas de retraso de obra, y es aplicable para el caso de barreras para la implementación de Lean Construction. La fórmula de cálculo se muestra en la ecuación (3).

(3)

$$RII = \frac{4xn_4 + 3xn_3 + 2xn_2 + 1x n_1}{AxN}$$

Si bien la fórmula es similar al caso de FI, las diferencias aparecen en el significado de “n”. Para el cálculo de RII, n_4 hace referencia al número de encuestados que han respondido 4 en la escala de Likert. En este caso, “totalmente de acuerdo”. Luego, n_3 y n_2 representan a aquellos que contestaron 3 y 2 respectivamente. Por último, n_1 indica el número de encuestados que han respondido 1 en la escala de Likert, “totalmente en desacuerdo”. En el denominador se realiza el producto entre la constante “A” que representa el valor máximo de la escala, nuevamente 4 y la variable “N” que indica el número total de encuestados con respuestas válidas.

3.2.5.3. Análisis no paramétricos

Cuando se tienen muestras pequeñas, como en el caso de esta investigación, es probable que los datos obtenidos no cumplan con los parámetros poblacionales necesarios para aplicar técnicas de análisis por contrastes paramétricos, que son las más utilizadas por analistas e investigadores. Sin embargo, existe una pequeña familia de pruebas que permiten poner a prueba hipótesis sin la necesidad de establecer existentes supuestos poblacionales ni trabajar con datos obtenidos con una escala de medida de intervalo (Pardo y Ruiz, 2002). Estas técnicas son conocidas como pruebas no paramétricas.

En esta investigación se decidió usar las pruebas no paramétricas de U de Mann-Whitney y H de Kruskal Wallis para contestar a los interrogantes **b.** y **d.** de la Tabla 9.

En el primer caso, lo que se buscó analizar es cómo influyen las características del encuestado (país, formación académica, experiencia, etc.) en su opinión respecto de la frecuencia con la que se usan determinadas herramientas de Lean Construction en su país.

En el segundo caso, se indagó si existen diferencias significativas en cuanto a la opinión del encuestado sobre las barreras que existen para la implementación de Lean Construction con respecto a las variables que caracterizan a la muestra (país, formación académica, ámbito, sector, etc.).

A continuación, se explican las pruebas estadísticas utilizadas.

3.2.5.4. U de Mann-Whitney

La prueba U de Mann-Whitney es una prueba análoga al t-test sobre diferencia de medias, que se aplica a dos variables de datos independientes, ordinales o numéricas, cuando la muestra no cumple con supuestos paramétricos y de normalidad (Field, 2013).

Para su cálculo, se toman a las “n” observaciones de las dos variables independientes. Con sus valores, se definen rangos de menor a mayor (los empates se resuelven asignando un rango promedio) (Pardo y Ruiz, 2002). Luego, con estos valores definidos, se calcula el estadístico “U” para cada variable,

U_1 y U_2 . Si ambos valores son muy diferentes entre sí podría entenderse que las muestras provienen de poblaciones distintas.

La hipótesis nula que se formula es que no existen diferencias significativas entre las medianas de las variables. La decisión para determinar si esta hipótesis se acepta o se rechaza se basa en la probabilidad concreta asociada al estadístico U. Es decir, si el p valor es menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula y si el p valor es mayor a 0,05 se acepta (Pardo y Ruiz, 2002).

Esta prueba se puede utilizar cuando la variable categórica tiene solo dos categorías. En el caso de la presente investigación esto se dio al agrupar categorías de comportamiento similar. Luego, en la mayoría de los casos se utilizó el análisis no paramétrico H de Kruskal Wallis.

3.2.5.4.1. *H de Kruskal Wallis*

Cuando las variables tienen más de dos categorías se utiliza la prueba H de Kruskal Wallis. Este test es similar a la prueba de Mann Whitney, es decir, analiza y compara los datos utilizando rangos. Por lo tanto, ordena los puntajes de menor a mayor, ignorando el grupo o categoría, y luego asigna un rango de 1 al puntaje más bajo, 2 al siguiente y así sucesivamente (Field, 2013). Luego calcula el estadístico H, de manera similar al estadístico U.

La hipótesis nula planteada es que no existen diferencias significativas entre las medianas de las variables analizadas. Al igual que en el caso anterior, la decisión de aceptar o rechazar esta hipótesis se basará en la probabilidad asociada al estadístico H. Si el p valor es mayor a 0,05 la hipótesis nula se acepta, si es menor, se rechaza.

Esta prueba nos permitió conocer cómo influyen las variables que caracterizan la muestra: País, formación académica, nivel de formación académica, experiencia, cargo, sector y ámbito, en la opinión del encuestado sobre herramientas y barreras para la aplicación de Lean Construction.

En este caso el test nos permite asegurar que hay diferencias significativas en cuanto a los valores de la variable "Last Planner® System" (**H7**) con respecto a la variable país. De todas formas, el test no nos da información acerca de cuáles son las categorías de la variable país que presentan diferencias significativas. Para realizar este análisis fue necesario aplicar el Test de Bonferroni.

3.2.5.4.2. *Test de Bonferroni*

El Test de Bonferroni es un análisis post-hoc que se utiliza luego de haber aplicado un análisis no paramétrico con Kruskal Wallis. Consiste en realizar comparaciones por pares de categorías. Podría decirse que es como realizar una prueba t-test o U de Mann-Whitney para cada combinación de pares posibles entre las categorías de la variable que presenta diferencias significativas. Pero realizar estas múltiples pruebas daría un error elevado. Para controlar el error, el test de Bonferroni corrige el nivel de significancia en función del número de combinaciones posibles (Field, 2013).

3.2.5.5. *Análisis factorial*

Definido por De la Fuente (2011) ,"el análisis factorial es una técnica de reducción de datos que sirve para encontrar grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto numeroso de variables"(p. 1). A partir de aplicar este análisis, es posible encontrar grupos de variables con significado similar, y así, disminuir el número de dimensiones necesarias para explicar la información con la que se cuenta. Por lo tanto, el objetivo de aplicar esta técnica, es encontrar el número mínimo de dimensiones capaces de explicar la mayor cantidad de información contenida en los datos. Además, esto ayuda a interpretar los resultados con mayor facilidad.

En este trabajo de investigación, el análisis factorial se utilizó en dos situaciones. Primero, para analizar cómo se correlacionan entre sí las variables de herramientas de Lean Construction. Por otro lado, se aplicó para comprender las correlaciones existentes entre las variables que explican a las diferentes barreras que existen para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica.

La primera fase del análisis factorial es la verificación de la conveniencia del uso del mismo para los datos que se tienen. Entonces lo primero que se calcula es la matriz de correlación entre las variables. Hair et al., (2013) plantean que el análisis factorial es conveniente si en la matriz de correlación hay un número sustancial de correlaciones mayores a 0,30 y el determinante de la matriz de correlación es mayor de 10^{-5} , lo que indica el grado de interrelaciones.

También se puede estudiar la conveniencia del análisis factorial para la muestra analizada a través del índice de Kaiser Meyer Olkin (KMO). Se trata de una medida de adecuación muestral que permite comparar la magnitud de los coeficientes de correlación observados con la magnitud de las correlaciones parciales entre las variables. El estadístico varía entre 0 y 1, donde los valores pequeños indican que las correlaciones entre los pares de variables no pueden ser explicadas por otras variables. Por lo tanto cuando el KMO tiene un valor menor a 0,5 no es aconsejable utilizar el análisis factorial (Pardo y Ruiz, 2002)

Para concluir con la verificación de la conveniencia del uso del análisis factorial se analiza la matriz de correlaciones anti-imagen. En ella pueden observarse los valores negativos de los coeficientes de correlación parcial, lo que indica la relación que existe entre dos variables. La diagonal principal de la matriz contiene los valores de una medida de adecuación muestral para variables individuales. Al igual que en el caso del índice KMO, si los valores son menores a 0,5, se desaconseja el análisis factorial (Hair et al., 2013).

Una vez comprobada la conveniencia de uso del análisis factorial para la muestra de datos estudiada, se debe elegir un método para la extracción de factores. En el caso de la presente investigación se escogió el análisis de componentes principales tanto para el estudio de herramientas de Lean Construction como para las barreras para su implementación. Este método se utiliza cuando se quiere representar la varianza de las variables originales a través de un número reducido de factores.

El análisis de componentes principales resume la matriz de correlación en sus componentes principales. El valor asociado al componente principal es el que permite determinar la importancia del mismo (Hair et al., 2013). La regla de Kaiser plantea que se extraerán tantos factores como componentes principales con valor mayor a 1. De la Fuente (2011), plantea que este criterio tiende a infra estimar el número de factores por lo que recomienda su uso para establecer un límite inferior. Luego un límite superior apropiado para la extracción de factores sería 0,7.

Los factores extraídos explicarán una porción de la varianza total de la muestra cuyo valor porcentual será el asociado a la varianza acumulada correspondiente al último componente principal. Se considera aceptable que los factores extraídos expliquen al menos un 60% de la varianza total de la muestra (Hair et al., 2013).

Otro aspecto a considerar en el análisis factorial es la comunalidad de las variables. De la Fuente (2011) define a la comunalidad como la proporción de la varianza explicada por los factores comunes en una variable. Un valor de comunalidad inferior a 0,5 indica que la variable no está aceptablemente representada por la solución factorial, podría considerarse eliminar esta variable y volver a realizar el análisis sin ella.

Por último, una vez obtenidos los factores se debe analizarlos y encontrarles un significado en base a las variables asociadas a los mismos. Para facilitar este proceso se suele realizar una rotación en la matriz factorial. El método más utilizado para ellos es el de Varimax, donde se minimiza el número de

variables con cargas factoriales altas en un factor. Las cargas factoriales se consideran significativas a partir de $\pm 0,50$, las cargas inferiores a $\pm 0,30$ son consideradas bajas, por lo tanto, despreciables (De la Fuente, 2011). En el caso de la presente investigación se incluyeron en cada factor a aquellas variables con carga factorial superior a $\pm 0,40$.

3.2.5.6. Chi-cuadrado de Pearson

Para responder al interrogante planteado en la presente investigación sobre la posible relación entre las variables de herramientas y las de barreras para la implementación de Lean Construction se ha decidido utilizar el estadístico Chi-cuadrado de Pearson.

Mendivelso y Rodríguez (2018), plantean que la prueba o estadístico chi-cuadrado o χ^2 “es una prueba de libre distribución (no paramétrica) que mide la discrepancia entre una distribución de frecuencias observadas y esperadas” (p. 93). Mediante la aplicación de χ^2 es posible determinar si dos variables cualitativas están asociadas o no (Fernández y Díaz, 2004). Se basa en la idea de comparar la frecuencia que se observa en la categoría de una variable con la que podría esperar tener si esta tuviera relación con la variable con la que se la compara (Field, 2013).

En el presente trabajo de fin de máster se ha realizado la prueba de χ^2 entre cada una de las diez variables de herramientas y cada una de las once variables de barreras para la implementación de Lean Construction. Tanto las variables de herramientas como las de barreras son consideradas ordinales, cuyos valores pueden ser 1,2,3 o 4. Como consecuencia de ello, las tablas de contingencias para la realización de esta prueba estadística han sido de 4 filas por 4 columnas.

El estadístico se calcula con la fórmula representada en la ecuación (4) (Fernández y Díaz, 2004).

(4)

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^k \frac{(O_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

Donde:

- r: número de filas, r=4 en la presente investigación
- k: número de columnas, k=4 en la presente investigación
- O_{ij} : frecuencias observadas
- E_{ij} : frecuencias esperadas o teóricas

Según Fernández y Díaz (2004), “ χ^2 mide la diferencia entre el valor que debiera resultar si las dos variables analizadas fuesen independientes y el que se ha observado en la realidad, mientras mayor sea la diferencia, mayor será la relación entre ambas” (p. 2).

Cada vez que se ha aplicado esta prueba en la presente investigación se ha aplicado una hipótesis nula de independencia: H_0 : No hay asociación entre las variables H_x y B_y . Al igual que en los estadísticos ya definidos, para un nivel de significancia del 5% la decisión de aceptar o rechazar esta hipótesis se basará en la probabilidad asociada al estadístico χ^2 . Si el p valor es mayor a 0,05 la hipótesis nula se acepta, si es menor, se rechaza (Fernández y Díaz, 2004).

Si se acepta la hipótesis nula planteada, no existe relación entre las variables analizadas. Mientras que, si se rechaza la hipótesis nula, se puede confirmar que existe una asociación o relación de dependencia entre las variables analizadas. La prueba estadística de χ^2 , no brinda la información, en el



caso de que haya relación de dependencia entre dos variables, sobre la intensidad de la misma, ni la dirección (De la Fuente, 2011).

La intensidad o grado de asociación entre variables con relación de dependencia puede medirse a través del coeficiente de contingencia "C". Los valores de C oscilan entre 0 (independencia) y 1 (asociación perfecta) (De la Fuente, 2011).

Cuando las variables analizadas son de datos ordinales, como el caso de las de la presente investigación, una vez determinada si existe o no relación de dependencia entre dos variables por el método estadístico de χ^2 , tiene sentido analizar la dirección de la misma. Una dirección positiva indica que los valores superiores de una de las variables tienen relación con los valores superiores de la otra variable, o los inferiores con los inferiores. Mientras que, una relación negativa, indica que los valores inferiores de una de las dos variables se asocian con los superiores de la otra. Es posible realizar este análisis mediante el cálculo del coeficiente Gamma (γ) cuyos valores van de -1 a 1. Donde -1, indica perfecta asociación negativa, 0, indica independencia y 1, indica perfecta asociación positiva (De la Fuente, 2011).

3.2.6. Resultados y discusiones

En esta fase de la investigación se han expuesto todos los resultados obtenidos de los análisis de datos realizados en base a los interrogantes planteados en la Tabla 9.

Luego se ha intentado contrastarlos y discutirlos en base al marco teórico y la revisión bibliográfica.

3.2.7. Conclusiones y recomendaciones prácticas

Por último, en base a la consecución de los objetivos planteados para la presente investigación se han abordado conclusiones, se analizaron las limitaciones identificadas y se han propuesto recomendaciones prácticas.



4. RESULTADOS

4.1. Identificación de barreras para la implementación de Lean Construction – Revisión de literatura

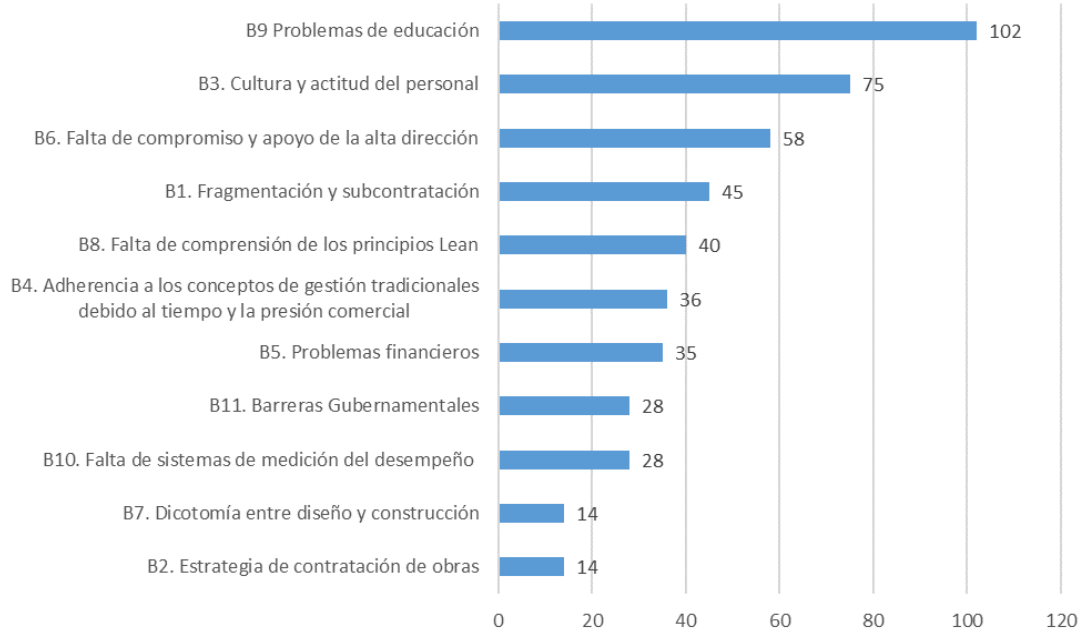
Como se ha mencionado en apartados anteriores, las clasificaciones de barreras para la implementación de Lean Construction que se han escogido para el estudio de las mismas en la presente investigación son:

- B1.** Fragmentación y subcontratación
- B2.** Estrategia de contratación de obras
- B3.** Cultura y actitud del personal
- B4.** Adherencia a los conceptos de gestión tradicionales debido al tiempo y la presión comercial
- B5.** Problemas financieros
- B6.** Falta de compromiso y apoyo de la alta dirección
- B7.** Dicotomía entre diseño y construcción
- B8.** Falta de comprensión de los principios Lean
- B9.** Problemas de educación
- B10.** Falta de sistemas de medición del desempeño centrados en el cliente y basados en procesos
- B11.** Barreras gubernamentales

En base a la clasificación de barreras para la implementación de Lean Construction adoptada, se ha procedido a agrupar las barreras que coincidían con cada uno de estos grupos o clases. Considerando que, de los 48 artículos analizados, se encontraron 475 barreras, estas han quedado distribuidas en las 11 diferentes clases propuestas como se muestra a continuación en el gráfico de la Figura 9.

Figura 9

Frecuencia según clasificación de barreras



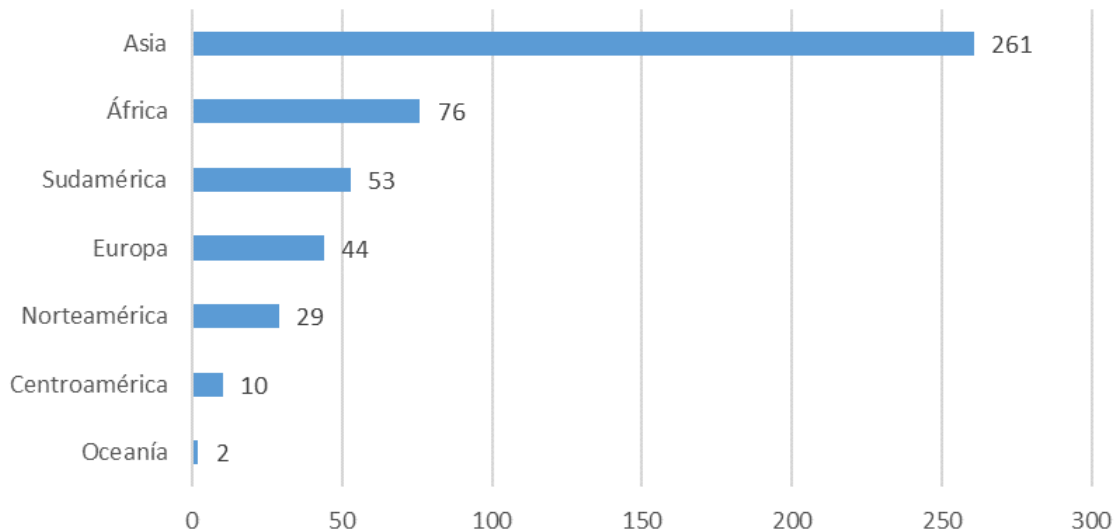
Como puede apreciarse en la Figura 9, las barreras relacionadas a problemas de educación son las que se repiten con mayor frecuencia en la bibliografía, en particular 102 veces. El segundo lugar lo ocupan las barreras relacionadas con problemas culturales y de actitud humana del personal con una frecuencia de 75 veces. Luego siguen las barreras relacionadas con la falta de compromiso y apoyo de la alta dirección de las empresas, donde se han identificado 58 barreras en la bibliografía. Las barreras que se repiten con menos frecuencia son las relacionadas a la dicotomía entre diseño y construcción y las vinculadas a las estrategias de contratación de obras con 14 menciones de cada una.

4.1.1. Barreras más influyentes según región – Revisión de literatura

De los 48 artículos analizados, se pudo identificar que las investigaciones o análisis de casos de estudios han sido realizados en 7 distintas regiones del mundo: África, Asia, Centroamérica, Europa, Norteamérica, Oceanía y Sudamérica. La distribución de las 475 barreras encontradas en la revisión bibliográfica según región del mundo puede observarse en la Figura 10.

Figura 10

Barreras según región



Por lo tanto, en los artículos analizados se han identificado un total de 261 barreras en estudios realizados en la región asiática, 76 en la africana, 53 sudamericana, 44 europea, 29 norteamericana, 10 centroamericana y, por último, solo 2 en la región de Oceanía.

Con esta información se ha buscado identificar cuáles son las barreras para la implementación de Lean Construction que se repiten con mayor frecuencia en la literatura según la región, utilizando para ello la clasificación de barreras que se ha propuesto, con los siguientes resultados:

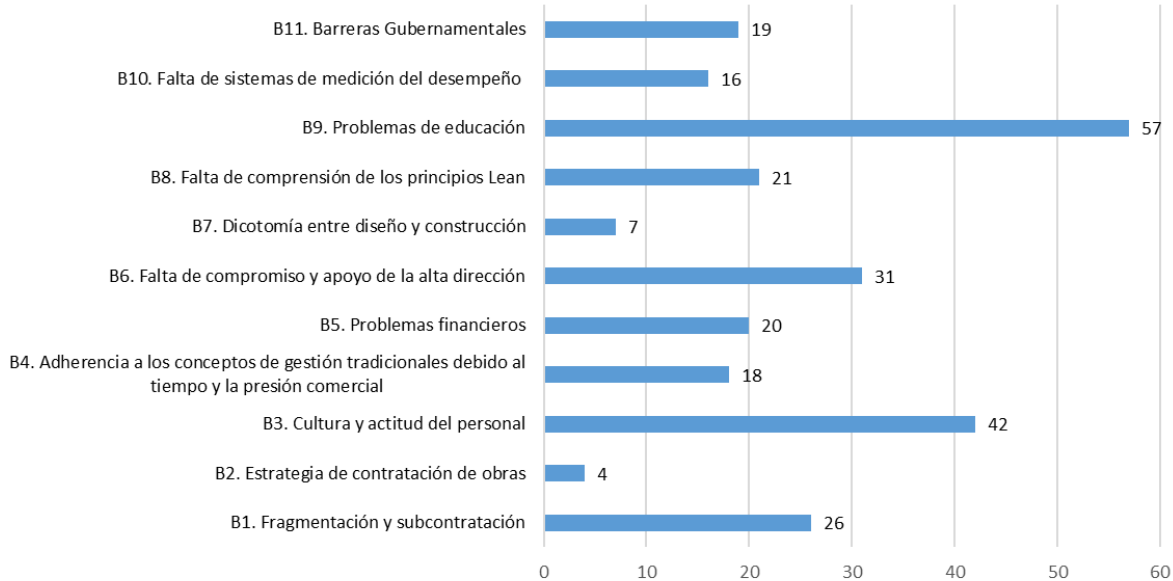
Barreras en la región asiática

El gráfico de la Figura 11 se representa la frecuencia con la que se mencionan barreras según las categorías propuestas, en los artículos analizados realizados en países de la región asiática. En este caso, las barreras más mencionadas son las relacionadas a los problemas de educación, con una frecuencia igual a 57. Luego, con 42 menciones, se han encontrado las barreras relacionadas a la cultura y actitud del personal. En tercer lugar, se encuentran las barreras referidas a la falta de apoyo de la alta dirección.

Las barreras que se mencionan con menos frecuencia, por lo tanto, consideradas de menor importancia, son las relacionadas a la dicotomía diseño-construcción y estrategias de contratación de obra.

Figura 11

Barreras en la región asiática



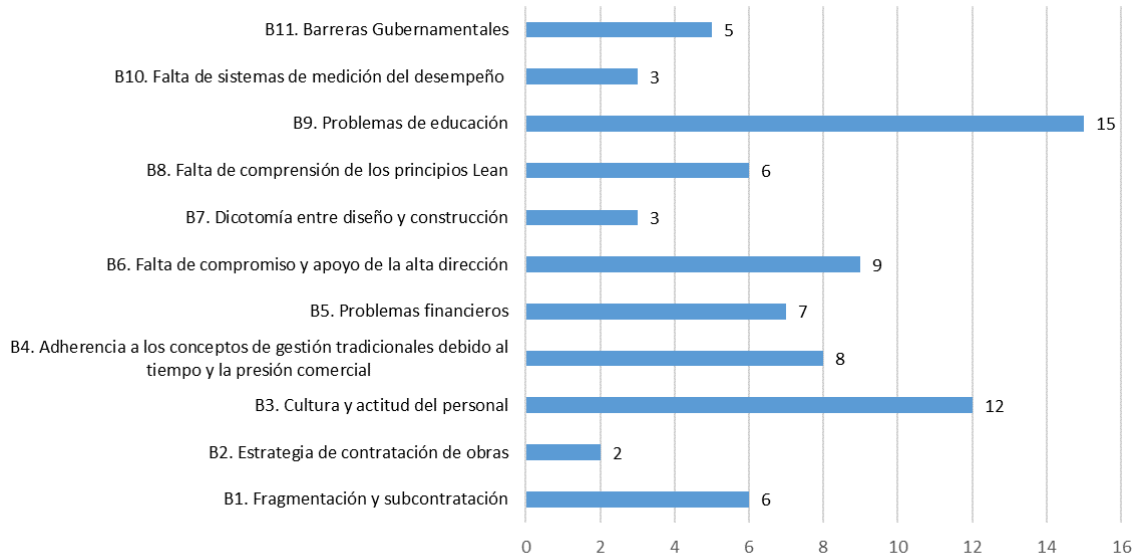
Barreras en la región africana.

Como puede observarse en el gráfico de la Figura 12, en los artículos analizados realizados en países de la región africana las barreras más mencionadas, al igual que en la región asiática, son las relacionadas a los problemas de educación, con 15 barreras encontradas. En segundo lugar, se han encontrado las barreras relacionadas a la cultura y actitud del personal, con 12 menciones. Las barreras referidas a la falta de apoyo de la alta dirección son las terceras en orden de aparición, aunque a las barreras de gestión tradicional y problemas financieros, se encuentran apenas por debajo.

Las barreras que se repiten con menos frecuencia son las relacionadas a la falta de sistemas de medición del desempeño, dicotomía diseño-construcción y estrategias de contratación.

Figura 12

Barreras en la región africana

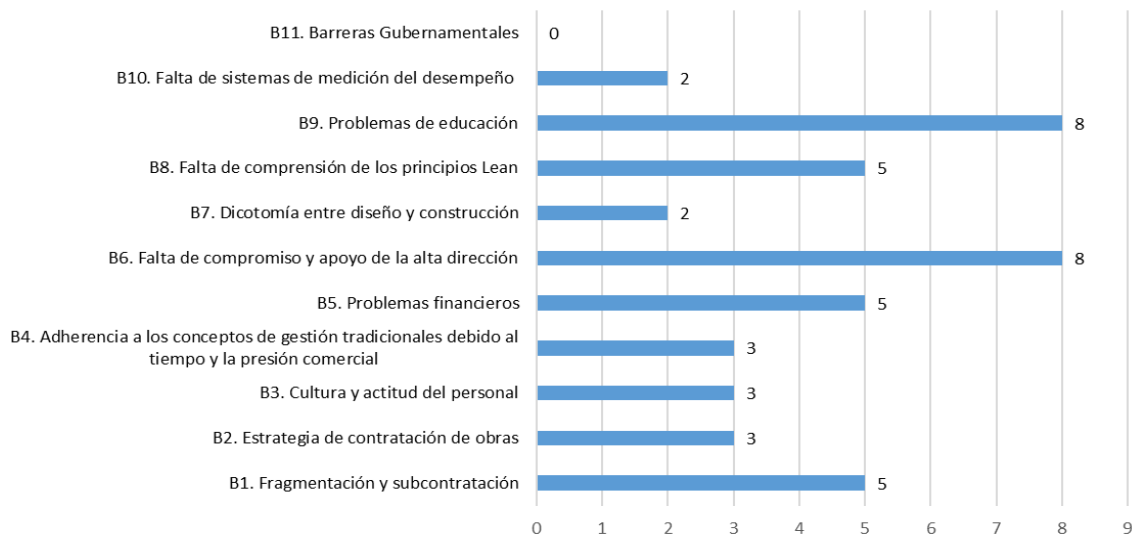


Barreras en la región europea.

En los artículos analizados correspondientes a la región europea la tendencia se repite, donde las barreras que se mencionan con mayor frecuencia son las relacionadas a los problemas de educación y falta de apoyo de la alta dirección. La principal diferencia encontrada con respecto a los artículos de otras regiones es que, en este caso, no hay barreras gubernamentales como puede observarse en la Figura 13.

Figura 13

Barreras en la región europea

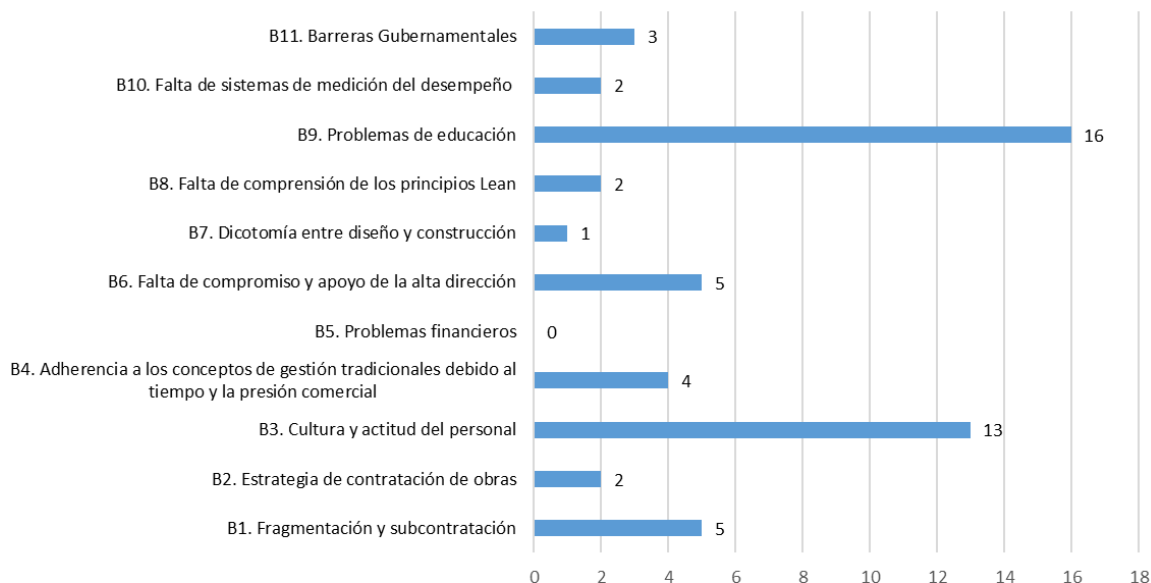


Barreras en la región sudamericana

Por último, al analizar las barreras encontradas en artículos realizados en países de la región sudamericana, se ha encontrado que la tendencia, aquí también, se repite considerando que las barreras más influyentes son las relacionadas a los problemas de educación y cultura y actitud del personal como puede verse representado en Figura 14.

Figura 14

Barreras en la región sudamericana



4.2. Identificación de herramientas para la implementación de Lean Construction – Revisión de literatura

Como resultado de la revisión bibliográfica sobre barreras para la implementación de Lean Construction se identificaron aquellas herramientas que se relacionaban a las mismas en cada artículo. En la Tabla 10, se representa un listado con las 44 herramientas identificadas en la bibliografía y el número de veces que se ha mencionado cada una.

Tabla 10

Identificación de herramientas en la bibliografía

Herramienta de Lean Construction	Menciones	%
Last Planner [®] System (LPS)	19	19,4%
5S	7	7,1%
Just in time (JIT)	7	7,1%
Visual Management (VM)	5	5,1%
5 why's	4	4,1%
Increased visualisation (IV)	4	4,1%



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Herramienta de Lean Construction	Menciones	%
Poka-yoke	4	4,1%
Kaizen	3	3,1%
Kanban system	3	3,1%
Standardisation	3	3,1%
BIM	2	2,0%
First run studies (FRS)	2	2,0%
Failure modes, effects, and criticality analysis (FMECA)	2	2,0%
Gemba	2	2,0%
Ishikawa diagram	2	2,0%
Total quality management (TQM)	2	2,0%
A3	1	1,0%
Big Room	1	1,0%
Choosing by Advantages (CBA)	1	1,0%
Continuous improvement	1	1,0%
Daily Huddle meetings (DHM)	1	1,0%
Fail Safe for Quality	1	1,0%
Hoshin	1	1,0%
Huddle Meetings	1	1,0%
Integrated teams	1	1,0%
Integration of information technology	1	1,0%
IPD	1	1,0%
ITF codes	1	1,0%
Kitting	1	1,0%
Lean Layout	1	1,0%
Milk Run	1	1,0%
Pareto Analysis	1	1,0%
Prebafrication	1	1,0%
Pre-task hazard analysis	1	1,0%
Process Map	1	1,0%
RFID tags	1	1,0%



Herramienta de Lean Construction	Menciones	%
Standard operating procedures (SOP)	1	1,0%
Supply Chain Management (SCM)	1	1,0%
Target Value Design	1	1,0%
Total Productive Maintenance (TPM)	1	1,0%
Value Stream Mapping	1	1,0%
Vendor Managed Inventory (VMI)	1	1,0%
Waste elimination	1	1,0%

Para la elaboración del cuestionario se decidió seleccionar las diez herramientas con mayor frecuencia de aparición, según lo representado en la Tabla 10. A continuación, se listan ordenadas según el código asignado para su tratamiento en este trabajo de investigación:

H1. 5 s

H2. 5 Why's

H3. Increased Visualisation

H4. Just in time

H5. Kaizen

H6. Kanban System

H7. Last Planner® System

H8. Poka-Yoke

H9. Standardisation

H10. Visual Management

4.3. Análisis de datos

4.3.1. Caracterización de la muestra

Luego de haber recopilado y organizado todas las encuestas recibidas se identificó un total de 108 respuestas, lo que representa un 36.00% de la muestra. A partir de esto se analizó la validez de las mismas a los fines de la investigación. En este caso, se decidió eliminar 12 de ellas debido a que 3 provenían de países que no pertenecen a Iberoamérica, por lo tanto, están fuera del alcance de la investigación, mientras que, las 9 restantes se eliminaron por haber sido respondidas parcialmente. Finalmente, el tamaño de la muestra quedó definido por las 96 respuestas válidas.

A continuación, se representa la caracterización de la muestra en base a las respuestas obtenidas.

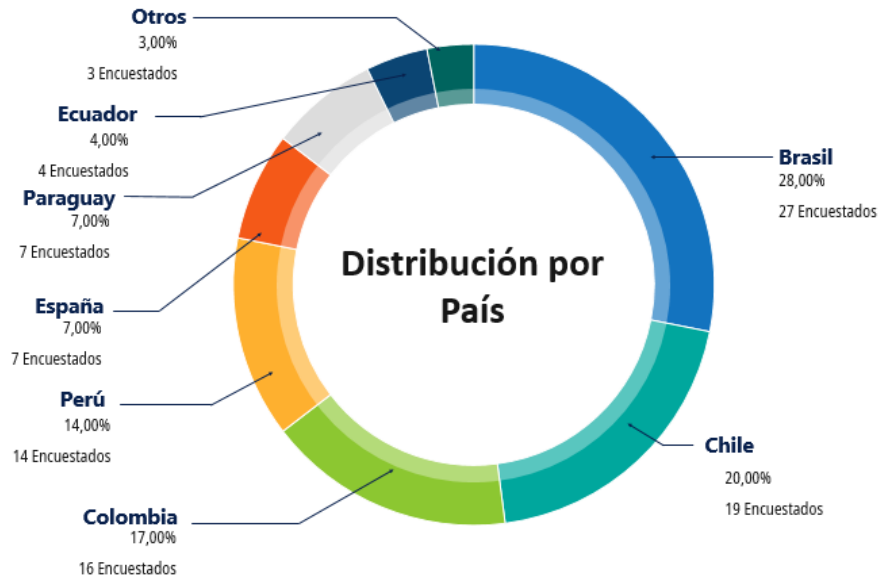
Caracterización de la muestra según País

Como puede observarse en la Figura 15, la mayoría de los encuestados ejerce su profesión en Brasil y Chile representando un total de 28% y 20% respectivamente. Luego, le siguen Colombia y Perú que representan aproximadamente un 15% de la muestra cada uno. El 7% de la muestra proviene de España y

Paraguay. Por último, con menor presencia, se recibieron respuestas de Ecuador (4%), México y Bolivia, agrupados como “otros” debido a su baja frecuencia (2 encuestados en México y 1 encuestado en Bolivia).

Figura 15

Distribución de la muestra según País



Caracterización de la muestra según formación académica

En la Figura 16 puede apreciarse la caracterización de la muestra en cuanto a formación académica de los encuestados. La gran mayoría de los encuestados se han formado académicamente en ingeniería civil, representando el 68% del total de la muestra. Luego el 17% de los encuestados tiene formación en arquitectura, mientras que el 7% se ha formado académicamente en ingeniería industrial. Finalmente, en proporciones menores, la muestra queda definida por profesionales formados en ingeniería mecánica, sanitaria, electrónica, en producción y geología. Posteriormente, para realizar el Test H de Kruskal Wallis, se agrupó a las categorías con menos del 10% bajo el nombre de “otras ingenierías”, representando un 15% de la muestra.

Figura 16

Distribución de la muestra según formación académica



Caracterización de la muestra según nivel de formación académica

De los 96 encuestados el 43% tiene una titulación de Máster, como puede observarse en la Figura 17. El 30% de la muestra tiene una titulación de Grado, mientras que el 27% ha alcanzado un nivel de Doctorado en su formación académica.

Figura 17

Distribución de la muestra según nivel de Formación Académica



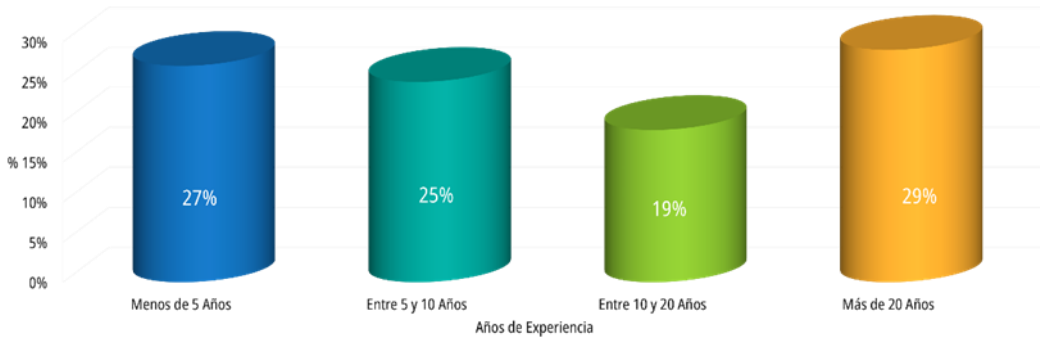
Caracterización de la muestra según nivel de experiencia en su profesión

Al caracterizar la muestra según años de experiencia en su profesión, puede observarse en la Figura 18 una distribución homogénea en cuanto a las cuatro categorías propuestas en la encuesta. El 29

% de los encuestados tiene entre 5 y 10 años de experiencia, luego el 27% tiene entre 10 y 20 años de experiencia. Los profesionales más experimentados, con más de 20 años de experiencia, representan el 25% del total de la muestra, mientras que aquellos con menos de 5 años alcanzan el 19%.

Figura 18

Distribución de la muestra según nivel de experiencia



Caracterización de la muestra según cargo que ocupa en su organización

En cuanto a la posición o cargo que ocupan los encuestados en su organización o empresa, el 39% de los encuestados son académicos o investigadores. Luego, en el ámbito profesional, la distribución de la muestra presenta cierta heterogeneidad. El 16% del total son Directores Generales de su compañía mientras que el 19% son jefes de obra. Tanto Project Managers como Gerentes de Departamento representan el 9% de la muestra cada uno, seguido por Oficina Técnica con un 8%. Por último, en menor proporción, la muestra se completa con supervisores y diseñadores, como puede apreciarse en la Figura 19.

Figura 19

Distribución de la muestra según cargo



En función de lo anterior, es posible caracterizar la muestra en función del ámbito en el cual ejercen su profesión, es decir, diferenciar aquellos encuestados que se desenvuelven en el ámbito

profesional del ámbito académico, como puede observarse en la Figura 20. El 64% de los encuestados pertenecen al ámbito profesional mientras que el 36% restante al académico.

Figura 20

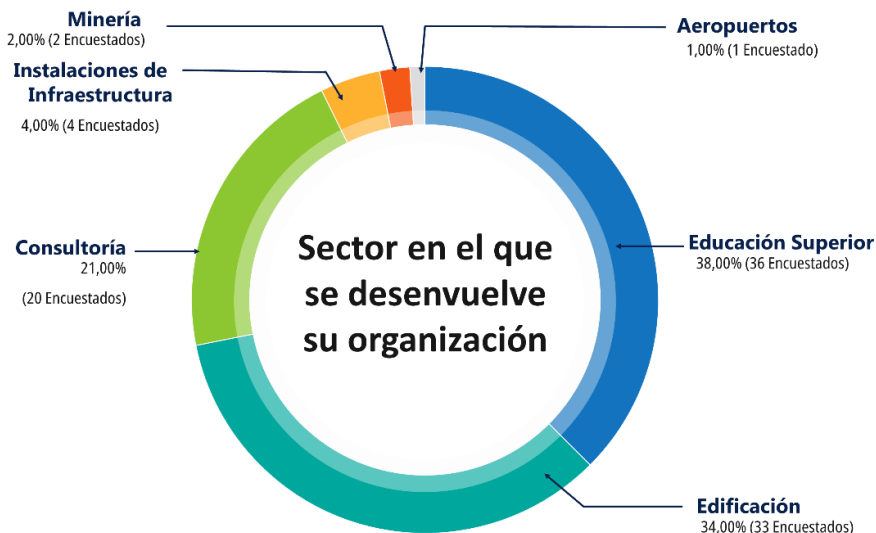
Distribución de la muestra según ámbito



Por último, se ha caracterizado la muestra según el sector en el que se desenvuelve la empresa u organización del encuestado. Como puede apreciarse en la Figura 21 la mayoría de los profesionales encuestados pertenecen al sector de la educación superior y edificación, con un 38% y 34% respectivamente. En menor medida, representando un 21% del total, se encuentra el sector de consultoría. Por último, con menor presencia en el total de la muestra, quedan representados los sectores de instalaciones de infraestructura, minería y aeropuertos. Para análisis posteriores las categorías: aeropuertos, consultoría e instalaciones de infraestructura se han agrupado bajo el nombre de “Ingeniería civil”.

Figura 21

Distribución de la muestra según sector de su organización



4.3.2. Fiabilidad de la muestra

La fiabilidad de la muestra se ha calculado por separado para los dos grupos de variables: herramientas de Lean Construction y barreras para la implementación de Lean Construction. Vale la pena aclarar que ambos grupos cuentan con variables numéricas, cuyos valores van de 1 a 4 en función de la respuesta del encuestado a la mencionada escala de Likert de 4 niveles. Se han eliminado de este cálculo aquellas observaciones en las que el encuestado ha respondido “No sabe/ No contesta”. Por lo tanto, como puede observarse en la Tabla 11, para el grupo de variables de barreras de Lean Construction, el número válido de observaciones es 75.

Tabla 11

Casos válidos para análisis de fiabilidad en herramientas

Casos	N	%
Válido	75	78,9
Excluido	20	21,1
Total	95	100,0

Un valor del alfa de Cronbach superior a 0.7 indica una fiabilidad aceptable. En este caso, para las 10 variables del grupo herramientas de Lean Construction, se obtuvo un alfa de Cronbach de 0.863 como puede observarse en la Tabla 12.

Tabla 12

Alfa de Cronbach para variables de herramientas de Lean Construction

Alfa de Cronbach	N de elementos
0,860	10

Para las 11 variables que forman el grupo de barreras para la implementación de Lean Construction el cálculo se ha realizado con 90 observaciones válidas, como puede observarse en la Tabla 13. En este caso, se obtuvo un alfa de Cronbach de 0.749, reflejado en la Tabla 14. Por lo tanto, se puede decir que el grupo de variables de barreras para la implementación de Lean Construction es confiable.

Tabla 13

Casos válidos para análisis de fiabilidad en barreras

Casos	N	%
Válido	90	94,7
Excluido	5	5,3
Total	95	100,0

Tabla 14

Alfa de Cronbach para variables de barreras

Alfa de Cronbach	N de elementos
0,749	11

Por último, en la Tabla 15 se muestra un resumen del cálculo de Alfa de Cronbach para cada una de las variables de los dos grupos en conjunto. Aquí se puede observar que el cálculo para cada una arroja un resultado mayor a 0.7 por ende se puede concluir que la fiabilidad de la muestra es aceptable.

Tabla 15

Resumen de fiabilidad de la muestra en conjunto

Alfa de Cronbach		Alfa de Cronbach	
H1	0,720	B1	0,726
H2	0,716	B2	0,736
H3	0,720	B3	0,720
H4	0,725	B4	0,736
H5	0,721	B5	0,739
H6	0,717	B6	0,725
H7	0,722	B7	0,735
H8	0,729	B8	0,727
H9	0,725	B9	0,721
H10	0,716	B10	0,726
		B11	0,750

4.3.3. Herramienta utilizada con mayor frecuencia en Iberoamérica

Para identificar cuál es la herramienta que se utiliza con mayor frecuencia en la región Iberoamericana, se analizaron las respuestas obtenidas utilizando un índice estadístico denominado Índice de Frecuencia (FI).

Por lo tanto, se procedió a calcular el Índice de Frecuencia (FI) para cada una de las 10 variables del grupo herramientas de Lean Construction. Para ello, primeramente, se contabilizan para cada herramienta la cantidad de respuestas obtenidas en cada categoría (1 a 4) y se calcula el índice FI, como se representa a continuación, en la Tabla 16.

Tabla 16:

Cálculo de FI para las variables de herramientas de Lean Construction

Cód.	Herramientas	Respuesta					Cálculo				
		1	2	3	4	NS/NC	Total	N	A	FI	Ranking
H1	5 s	6	43	31	16	0	249	96	4	0,6484	4
H2	5 Why's	11	43	29	12	1	232	95	4	0,6105	6
H3	Increased Visualisation	18	38	21	6	13	181	83	4	0,5452	9
H4	Just in time	14	37	33	11	1	231	95	4	0,6079	7
H5	Kaizen	6	37	32	19	2	252	94	4	0,6702	3
H6	Kanban System	15	46	22	12	1	221	95	4	0,5816	8
H7	Last Planner® System	4	21	32	39	0	298	96	4	0,7760	1
H8	Poka-Yoke	22	42	15	7	10	179	86	4	0,5203	10
H9	Standardisation	12	36	32	14	2	236	94	4	0,6277	5
H10	Visual Management	9	24	39	20	4	254	92	4	0,6902	2

Una vez obtenidos los valores de FI para cada variable, se ordenaron de mayor a menor asignándole la posición número 1 del ranking a aquella variable con valor más alto. Este proceso queda resumido en la Tabla 17, donde puede observarse que la herramienta de Lean Construction que se utiliza con más frecuencia en Iberoamérica es Last Planner® System (H7), con un valor de FI igual a 0.776. En segundo y tercer lugar, con un FI igual a 0.690 y 0.670 respectivamente, quedaron las herramientas: visual management (H10) y kaizen (H5). En los puestos centrales del ranking, con valores de FI entre 0.648 y 0.608 se encuentran las herramientas 5S (H1), standardisation (H9), 5 Why's (H2) y just in time (H4). Las 3 herramientas de Lean Construction que se utilizan con menos frecuencia en Iberoamérica con valores de FI entre 0.582 y 0.520 son kanban system" (H6), increased visualisation (H3) y poka-yoke (H8), en último lugar.

Tabla 17:

Ranking de herramientas de Lean Construction más utilizadas en Iberoamérica

Ranking	Cód.	Herramientas	FI
1	H7	Last Planner® System	0,7760
2	H10	Visual management	0,6902
3	H5	Kaizen	0,6702
4	H1	5 s	0,6484
5	H9	Standardisation	0,6277

6	H2	5 Why's	0,6105
7	H4	Just in time	0,6079
8	H6	Kanban System	0,5816
9	H3	Increased visualisation	0,5452
10	H8	Poka-Yoke	0,5203

A la hora de contrastar los resultados obtenidos a partir de la encuesta con los obtenidos en la revisión bibliográfica, puede observarse que Last Planner® System es la herramienta más utilizada en Iberoamérica, y a su vez fue la más mencionada en los artículos analizados. Alsehaimi y Koskela (2014), luego de aplicar LPS en Arabia Saudita, plantean que no solo es una de las herramientas más utilizadas por su eficiencia en la gestión de un proyecto sino por la facilidad a adaptarla en diferentes circunstancias. Lo mismo puede plantearse con respecto a las herramientas 5S y visual management ya que se encuentran entre los primeros cuatro puestos de la lista. Por lo que la tendencia a nivel global, con respecto al uso de estas herramientas es similar a nivel iberoamericano.

4.3.4. Barreras más influyente para la implementación en Iberoamérica

Para identificar cuál o cuáles son las barreras más influyentes para la implementación de Lean Construction en la región Iberoamericana, se analizaron las respuestas obtenidas de manera similar al apartado anterior, pero en este caso, utilizando un índice estadístico denominado Relative Important Index (RII).

Siguiendo este procedimiento, se calculó el valor de RII para cada una de las 11 variables pertenecientes al grupo barreras para la implementación de Lean Construction, como puede observarse, a continuación, en la Tabla 18.

Tabla 18:

Cálculo de RII en variables de barreras para la implementación de Lean Construction

Cód.	Barreras	Respuesta					Cálculo				
		1	2	3	4	NS/ NC	Total	N	A	RII	Ran
B1	Fragmentación y subcontratación	7	14	26	46	3	297	93	4	0,7984	7
B2	Estrategia de contratación	3	16	26	50	1	313	95	4	0,8237	4
B3	Cultura y actitud	6	9	20	61	0	328	96	4	0,8542	3
B4	Gestión tradicional	2	8	33	52	1	325	95	4	0,8553	2
B5	Problemas financieros	20	28	32	15	1	232	95	4	0,6105	10
B6	Falta de compromiso de la alta dirección	3	7	27	58	1	330	95	4	0,8684	1
B7	Dicotomía diseño-construcción	4	16	33	40	3	295	93	4	0,7930	8

Cód.	Barreras	Respuesta					Cálculo				
		1	2	3	4	NS/ NC	Total	N	A	RII	Ran
B8	Falta de comprensión de "principios Lean"	6	17	23	49	1	305	95	4	0,8026	6
B9	Problemas de educación	9	11	43	32	1	288	95	4	0,7579	9
B10	Falta de sist. de medición de desempeño	5	9	39	42	1	308	95	4	0,8105	5
B11	Barreras gubernamentales	28	31	25	11	1	209	95	4	0,5500	11

Abordando un proceso similar al análisis realizado para identificar las herramientas que se utilizan con más frecuencia, se ordenaron las variables de menor a mayor en relación con el resultado obtenido para RII. Es decir, desde la barrera con mayor importancia o influencia en el puesto 1 a la de menor importancia o influencia en el puesto 11.

En la Tabla 19 puede observarse que "falta de compromiso de la alta dirección" (**B6**) es la barrera más influyente para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica, con un valor de RII de 0.68. La tendencia generalizada en el sector de utilizar métodos de "gestión tradicional" (**B4**) es la segunda barrera más importante junto "cultura y actitud" (**B3**) del personal de la empresa, con un RII de 0.855 y 0.854 respectivamente. Las barreras: "estrategias de contratación" (**B2**), "falta de sistemas de medición de desempeño" (**B10**), "falta de comprensión de principios Lean" (**B8**), "fragmentación y subcontratación" (**B1**) y "dicotomía entre diseño y construcción" (**B7**) ocupan la parte central del ranking, pero con elevados valores de RII, entre 0.824 y 0.793. Finalmente, las barreras menos importantes para los encuestados han sido "problemas de educación" (**B9**), "problemas financieros" (**B5**) y, por último, con un valor de RII considerablemente inferior, "barreras gubernamentales" (**B11**).

Tabla 19

Ranking de barreras más influyentes para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica

Ranking	Cód.	Barreras	RII
1	B6	Falta de compromiso de la alta dirección	0,8684
2	B4	Gestión tradicional	0,8553
3	B3	Cultura y actitud	0,8542
4	B2	Estrategia de contratación	0,8237
5	B10	Falta de sist. de medición de desempeño	0,8105
6	B8	Falta de comprensión de "principios Lean"	0,8026
7	B1	Fragmentación y subcontratación	0,7984
8	B7	Dicotomía diseño-construcción	0,7930
9	B9	Problemas de educación	0,7579
10	B5	Problemas financieros	0,6105



Si se contrastan los resultados obtenidos en Iberoamérica con los obtenidos a escala global a partir de la revisión bibliográfica, representada en el Capítulo 2, es posible observar que las barreras de falta de compromiso de la alta dirección (B6) y cultura y actitud del personal (B3) aparecen entre las tres más importantes en ambos contextos. Por lo que la percepción en Iberoamérica respecto a estas variables es similar a la que se percibe en la literatura a nivel global.

Vale la pena remarcar que, los resultados obtenidos en la revisión bibliográfica apuntan a los problemas de educación (B9) como la barrera más influyente para la implementación de Lean, mientras que en Iberoamérica aparece como una de las menos influyentes.

Por otro lado, los resultados en Iberoamérica apuntan a la tendencia del sector a utilizar técnicas de gestión tradicional (B4) como una de las principales barreras. Las tres barreras más influyentes en Iberoamérica tienen un denominador común que podría verse como falta de actitud hacia el cambio o “lo nuevo” reflejado en todos los niveles jerárquicos de una empresa. Además, estas barreras podrían clasificarse como culturales y enfatiza la importancia de generar una cultura Lean para apoyar estas nuevas técnicas en diferentes empresas y proyectos (Sarhan y Fox, 2013).

Además, en Iberoamérica, a diferencia de lo obtenido en la revisión bibliográfica, se les da una gran importancia a las barreras referidas a las estrategias de contratación (B2). Se considera que sería un gran impulso para la utilización de estas técnicas que se especifique en contratos tanto de obras públicas como privadas.

Si se analizan las barreras que resultaron menos influyentes en Iberoamérica pueden encontrarse a problemas financieros (B5) y barreras gubernamentales (B11). Esto contrasta al compararlo con el análisis realizado en la región africana o asiática. Donde, por ejemplo, en el estudio realizado por Enshassi et al., (2019), estas resultaron las barreras más influyentes, junto con problemas de educación (B9).

4.3.5. Influencia de las características del encuestado en su percepción sobre la frecuencia de uso de herramientas Lean

Para analizar cómo influyen las variables que caracterizan al encuestado en cuanto a su opinión sobre la frecuencia con la que se utilizan diferentes herramientas de Lean Construction en Iberoamérica se ha utilizado el análisis no paramétrico “H de Kruskal Wallis”.

Las mencionadas variables que caracterizan a la muestra son 7: País, Formación Académica, Nivel de Formación Académica, Experiencia, Posición o Cargo, Sector y Ámbito. En la Tabla 20 pueden observarse las categorías de cada variable utilizadas para realizar este análisis estadístico. Vale la pena aclarar, que en la variable “País”, se ha hecho el análisis sin Bolivia, ya que había solo una respuesta en esta categoría y podría resultar en resultados poco significativos.

Además, en la variable formación académica se han agrupado bajo el nombre de “Otras Ingenierías” las siguientes carreras de ingeniería: Ingeniería electrónica, geología, sanitaria, industrial, mecánica y en producción.

Por último, para la variable “Sector”, se han agrupado en la categoría “Ingeniería Civil” los siguientes sectores: aeropuertos, consultoría e instalaciones de infraestructura.



Tabla 20

VARIABLES QUE CARACTERIZAN A LA MUESTRA

País	For. Académica	Nivel de For. Académica	Experiencia	Posición o Cargo	Sector	Ámbito
Brasil	Arquitectura	Grado	0 a 5 años	Investigador	Edificación	Académico
Chile	Ingeniería Civil	Máster	5 a 10 años	Director general	Educación Superior	Profesional
Colombia	Otras Ingenierías	Doctor	10 a 20 años	Gerente de departamento	Ingeniería Civil	
Ecuador			Más de 20 años	Jefe de obra	Minería	
España				Oficina técnica		
México				Project Manager		
Paraguay						
Perú						

Se utilizó el estadístico H de Kruskal Wallis para cada una de las variables que definen la muestra y cada una de las diez herramientas de Lean Construction, planteando la siguiente hipótesis nula: "No existen diferencias significativas entre las medianas de las variables". Lo que significa que, no existen diferencias significativas en cuanto a la frecuencia de utilización de una herramienta de Lean Construction en relación con las categorías de las variables que definen a la muestra.

De esta manera se pudo conocer si hay diferencias significativas con respecto a la opinión sobre la frecuencia con la que se utilizan herramientas de Lean Construction según las características del encuestado. A continuación, en la Tabla 21 se muestra un resumen con el valor obtenido para el estadístico, o "p value", que nos permite en cada caso aceptar o rechazar la hipótesis nula formulada. Si el valor es mayor a 0,05, se acepta, si es menor, se rechaza como puede observarse en los valores coloreados de rojo.

Como puede observarse en la Tabla 21, no existen diferencias significativas en la frecuencia de utilización de ninguna de las diez herramientas de Lean Construction propuestas en relación con las variables "experiencia", "cargo", "sector" y "ámbito".

Luego de identificar los casos en los que hay diferencias significativas, se buscó descubrir cuáles son las categorías de la variable que presentan diferentes opiniones respecto a la herramienta de Lean Construction analizada. Para ello, fue necesario aplicar un test post-hoc denominado test de Bonferroni, que realiza comparaciones por pares de categorías, calculando un nuevo p-value que permite aceptar o rechazar la hipótesis nula entre la pareja analizada. Esta herramienta nos permitió agrupar aquellas categorías que no presentan diferencias significativas entre ellas.

Una vez agrupadas las categorías se aplicaron los análisis no paramétricos de U de Mann Whitney para aquellas variables con dos categorías y H de Kruskal Wallis para las variables con más de dos categorías.

Como puede observarse en la Tabla 21, para la variable de caracterización de la muestra “país”, se ha rechazado la hipótesis nula en seis de las diez herramientas, por lo que puede decirse que, existen diferencias significativas en la frecuencia de uso de las herramientas “5 why’s” (H2), “increased visualisation” (H10), “Kaizen” (H5), “Kanban System” (H6), “Last Planner® System” (H7) y “visual management”(H10) con respecto a los diferentes países de donde provienen los encuestados.

Tabla 21

Resumen de H de Kruskal Wallis para herramientas de Lean Construction

Cód.	Herramientas	Variables de caracterización de la muestra						
		País	For. Académica	Niv. For. Académica	Experiencia	Cargo	Sector	Ámbito
H1	5 s	0,088	0,147	0,468	0,545	0,584	0,206	0,477
H2	5 Why's	0,005	0,251	0,455	0,762	0,409	0,312	0,852
H3	Increased Visualisation	0,002	0,011	0,841	0,684	0,839	0,559	0,577
H4	Just in time	0,665	0,291	0,420	0,913	0,241	0,709	0,811
H5	Kaizen	0,032	0,059	0,097	0,728	0,450	0,512	0,239
H6	Kanban System	0,002	0,412	0,255	0,617	0,135	0,152	0,101
H7	Last Planner® System	0,015	0,950	0,377	0,112	0,830	0,708	0,495
H8	Poka-Yoke	0,168	0,575	0,326	0,096	0,226	0,441	0,315
H9	Standardisation	0,195	0,661	0,035	0,224	0,565	0,177	0,632
H10	Visual Management	0,029	0,192	0,057	0,322	0,104	0,970	0,060

Análisis de la herramienta 5 why's respecto a la variable país

En el caso de la herramienta “5 why’s” (H2), se aplicó el mencionado test de Bonferroni, y se agruparon aquellos países que no presentaban diferencias significativas entre sí llegando a dos grupos:

- Grupo 1: Brasil, Chile, Perú y Colombia.
- Grupo 2: Ecuador, España, México y Paraguay.

Al aplicar el análisis no paramétrico para variables independientes de dos categorías U de Mann-Whitney. Como puede observarse en la Tabla 22 se obtuvo que existen diferencias significativas entre ambos grupos, donde la significancia tiene un valor de 0,00 por lo tanto menor a 0,05 y se rechaza la hipótesis nula.

Tabla 22

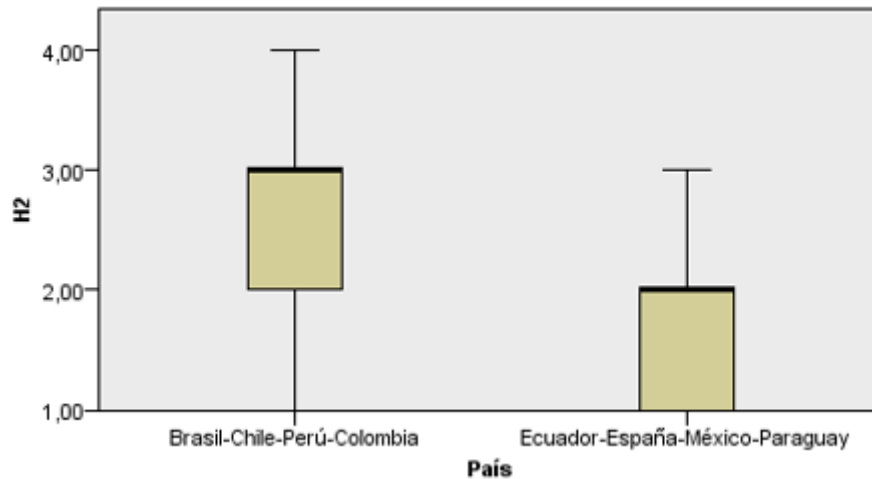
Prueba U de Mann-Whitney para la herramienta “5 why's”(H2) respecto a país

Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
País	290,00	-4,437	0,000

El diagrama de cajas de la Figura 22 se expone que la mediana del grupo 1 tiene un valor igual a 3,00 mientras que la mediana del grupo 2 un valor igual a 2,00. En base a esto podemos concluir que en Brasil, Chile, Perú y Colombia la herramienta “5 Why’s” (**H2**) se utiliza con mayor frecuencia que en Ecuador, España, México y Paraguay.

Figura 22

Diagrama de cajas para la herramienta “5 Why’s” (H2) respecto a “país”



Análisis de la herramienta increased visualisation respecto a la variable país

El segundo caso en el que se encontraron diferencias significativas respecto a la variable país fue en la herramienta “increased visualisation” (**H3**), por lo que se realizó el mismo procedimiento que en el caso de la herramienta anterior.

Por lo tanto, se agruparon las categorías utilizando el test de Bonferroni de la siguiente manera:

- Grupo 1: Brasil y Colombia
- Grupo 2: Chile, Ecuador, España, México, Paraguay y Perú

Al aplicar el análisis estadístico U de Mann-Whitney se obtuvo un nivel de significancia de valor 0,00 como se ha representado en la Tabla 23 por lo que se rechaza la hipótesis nula. De esta manera, se puede asegurar que existen diferencias significativas entre ambos grupos respecto a la opinión con la que se utiliza la herramienta “increased visualisation” (H3) en sus respectivos países.

Tabla 23

Prueba U de Mann-Whitney para la herramienta “increased visualisation” (H3) respecto a “país”

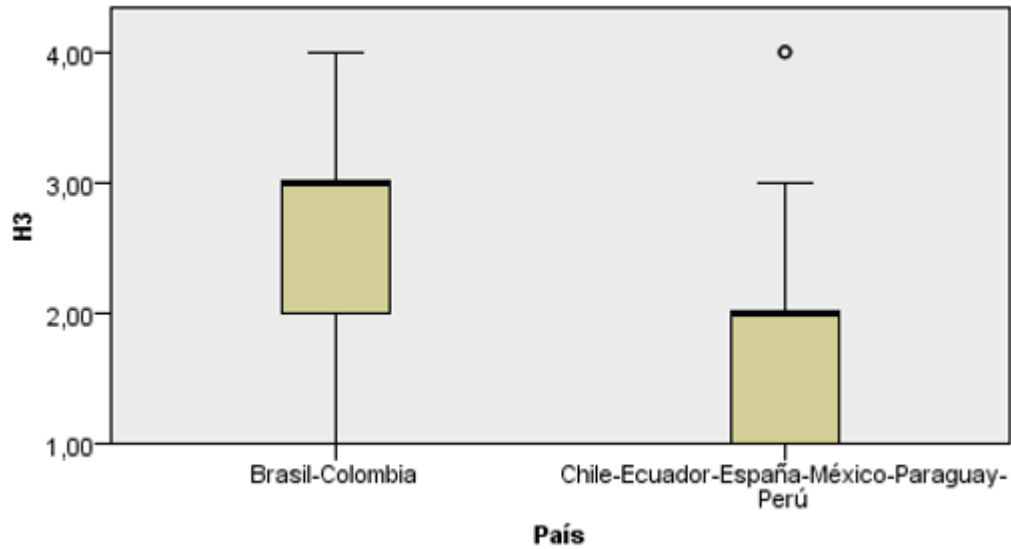
Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
País	449,00	-3.808	0,000

Como puede observarse en el diagrama de cajas de la Figura 23 la mediana del grupo 1 tiene un valor igual a 3,00 mientras que en el grupo 2 los datos presentan mayor variabilidad y la mediana tiene un valor igual a 2,00. De esta manera se puede decir que la herramienta “increased visualisation” (**H3**) se

utiliza con frecuencia en Brasil y Colombia, mientras que en el resto de los países analizados se utiliza con menor frecuencia.

Figura 23

Diagrama de cajas para País respecto a la herramienta Increased Visualisation



Análisis de la herramienta kaizen respecto a la variable país

El análisis no paramétrico de H de Kruskal Wallis arrojó que existen diferencias significativas para la variable “kaizen” (**H5**) con respecto a la variable “país”. Al agrupar los países que no presentan diferencias significativas entre sí utilizando el test de Bonferroni, se llegaron a los siguientes grupos de categorías:

- Grupo 1: Brasil, Chile, Colombia, España, México y Perú.
- Grupo 2: Ecuador y Paraguay

Al tener ahora dos categorías en la variable país, se realizó el análisis no paramétrico U de Mann-Whitney, como puede observarse en la Tabla 24. El valor de significancia arrojado por el estadístico es de 0,018, menor a 0,05 por lo que se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se puede afirmar que existen opiniones diversas respecto a la frecuencia de uso de la herramienta “kaizen” (**H5**) entre los países de ambos grupos.

Tabla 24

Prueba U de Mann-Whitney para la herramienta “kaizen” (**H5**) respecto a “país”

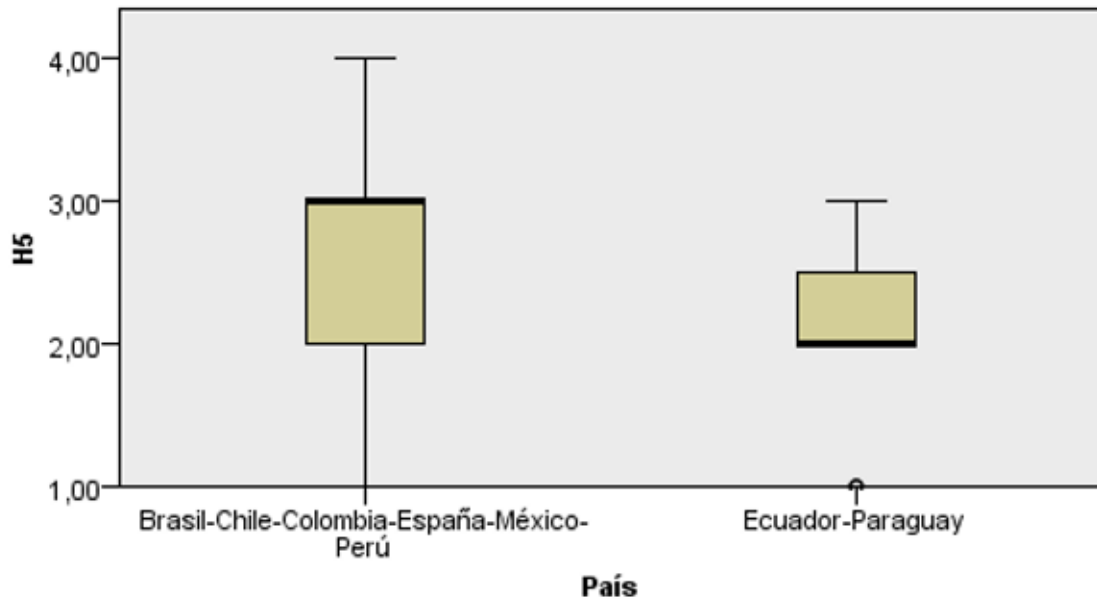
Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
País	263,50	-2,361	0,018

En la Figura 24, pueden observarse los diagramas de cajas realizados según los datos obtenidos respecto a la opinión sobre la frecuencia de uso de “kaizen” (**H5**) según los mencionados grupos 1 y 2. La mediana del grupo 2, conformado por Ecuador y Paraguay tiene un valor igual a 2,00, lo que indica baja frecuencia de uso de la herramienta analizada. Por otro lado, los datos del grupo 1 presentan mayor

variabilidad y una mediana igual a 3,00, por lo que se puede decir que la herramienta “kaizen” (H5) se utiliza con mayor frecuencia.

Figura 24

Diagrama de cajas la herramienta “kaizen” (H5) respecto a “país”



Análisis de la herramienta kanban system respecto a la variable país

Siguiendo con la misma metodología que los casos anteriores, pero analizando el caso de la herramienta “Kanban System” (H6), las agrupaciones de categorías realizadas a partir del test de Bonferroni quedaron de la siguiente manera:

- Grupo 1: Brasil, Chile, Ecuador, España, México y Perú
- Grupo 2: Colombia
- Grupo 3: Paraguay

En este caso al tener tres categorías en la variable país el análisis se realizó en base a los resultados obtenidos con Kruskal Wallis y el test de Bonferroni. Como puede observarse en la Tabla 25, al comparar el grupo 1 con el grupo 2, la significancia para Kruskal Wallis da un valor de 0,040, menor a 0,050. Mientras que la significancia ajustada por Bonferroni un valor de 0,119, mayor a 0,050 por lo que acepta la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre ambos grupos.

Por otro lado, puede observarse que el grupo 3, Paraguay, presenta diferencias significativas con los grupos 1 y 2. En ambos casos las significancias obtenidas a partir del test de Bonferroni son menores a 0,05.

Tabla 25

Test de Bonferroni para la herramienta “Kanban System” (H6) respecto a “país”

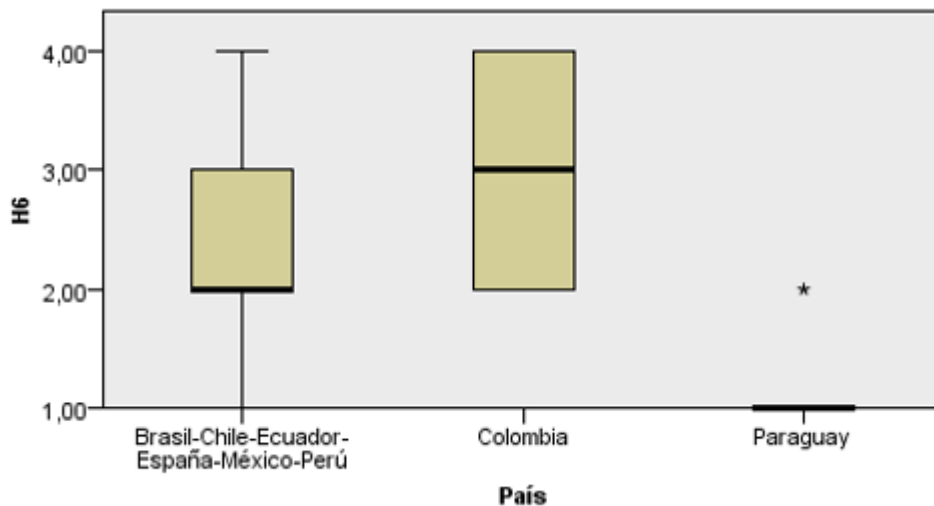
Comparación entre:		Significancia	Significancia Ajustada
Grupo 1	Grupo 2	0,040	0,119
Grupo 1	Grupo 3	0,000	0,001
Grupo 2	Grupo 3	0,000	0,000

Si bien en la primera comparación entre pares la hipótesis nula se ha aceptado, se decidió mantener a la variable país dividida en estas tres categorías basándose en el diagrama de cajas.

Como puede observarse en la Figura 25, los datos del grupo 1 presentan una considerable variabilidad y una mediana igual a 2,00 por lo que la herramienta “Kanban System” (H6) se utiliza con poca frecuencia. Además, los datos registrados para Colombia tienen una mediana igual a 3,00 en donde los encuestados opinan que se utiliza con frecuencia. Por último, los datos obtenidos para los encuestados provenientes de Paraguay presentan una mediana con un valor igual a 1,00, por lo que se puede afirmar que en este país la herramienta tiene una baja frecuencia de uso.

Figura 25

Diagrama de Cajas “Kanban System” (H6) con respecto a “país”



Análisis de la herramienta Last Planner® System respecto a la variable país

Analizando la herramienta “Last Planner System” (H7) con respecto a la variable país, se han agrupado las categorías de esta última de la siguiente manera:

- Grupo 1: Brasil, España, Paraguay y Perú
- Grupo 2: Chile, Colombia y México.

Al aplicar el análisis no paramétrico de U de Mann-Whitney se puede observar en la Tabla 26, que existen diferencias significativas entre ambos grupos. El valor de significancia arrojado por el estadístico es de 0,02 y por ser menor a 0,05 la hipótesis nula se rechaza.

Tabla 26

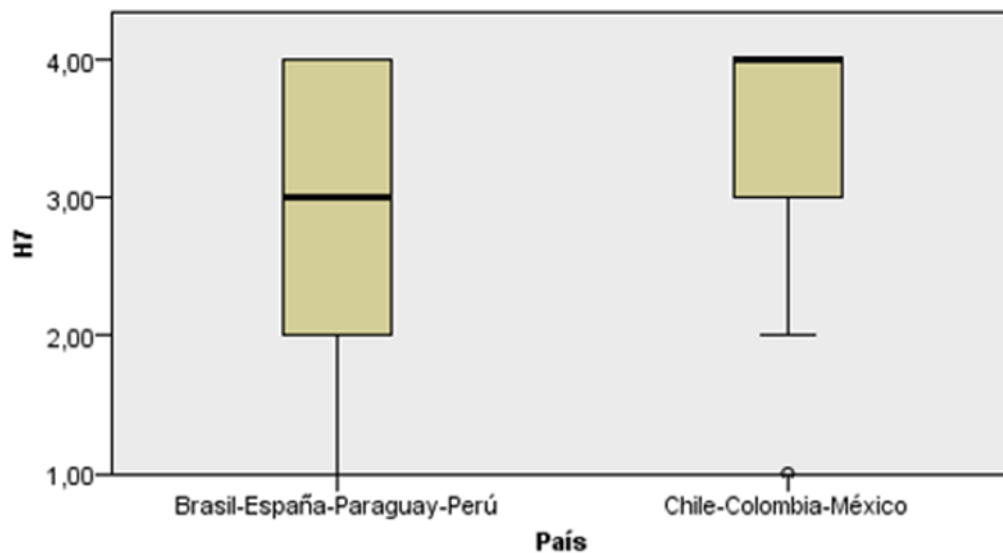
Prueba U de Mann-Whitney “Last Planner® System” (H7) respecto a “país”

Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
País	1449,50	-3,060	0,002

Vale la pena recordar que en el presente estudio se ha identificado a la herramienta “Last Planner® System” (H7) como la que se utiliza con más frecuencia en la región Iberoamericana. Si se analizan los diagramas de cajas de la Figura 26, puede observarse que por más que se hayan encontrado diferencias significativas entre los dos grupos, las medianas de ambos están en los valores máximos posibles. Para el grupo 1 los datos presentan mayor variabilidad que en el grupo 2 y la mediana tiene un valor de 3,00. En el grupo 2 los datos están concentrados en los valores más altos de la escala y la mediana tiene un valor de 4,00. Por lo anterior, puede afirmarse que donde más se utiliza esta herramienta es en Chile, Colombia y México.

Figura 26

Diagrama de cajas para Last Planner® System respecto a “país”



Análisis de la herramienta visual management respecto a la variable país

El último caso en el que se han encontrado diferencias significativas respecto a la variable país es en el de la herramienta “visual management” (H10). Al realizar la agrupación de países según el test de Bonferroni, las nuevas categorías de la variable país quedan definidas de la siguiente manera:

- Grupo 1: Chile, Brasil y Colombia
- Grupo 2: Ecuador, España, México, Paraguay y Perú

En esta ocasión, el valor de significancia arrojado por el estadístico U de Mann-Whitney es igual a 0,00, como puede observarse en la Tabla 27. Al ser menor a 0,05 la hipótesis nula se rechaza y se puede

decir que existen diferencias significativas entre los dos grupos respecto a la opinión sobre la frecuencia de uso de la herramienta “visual Management” (H10) en sus respectivos países.

Tabla 27

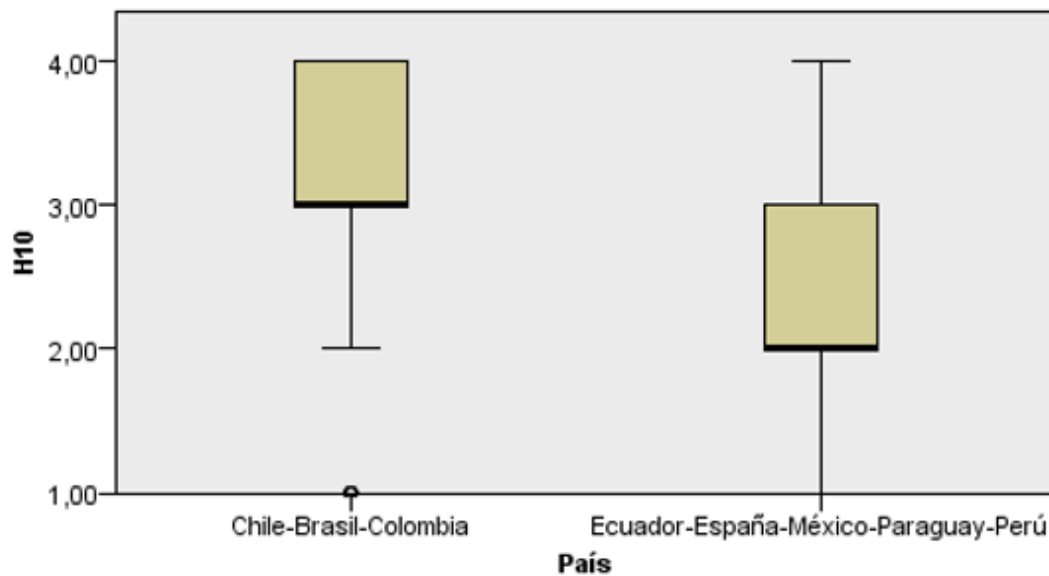
Prueba U de Mann-Whitney la herramienta “visual management” (10) respecto a “país”

Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
País	535,50	-3,495	0,000

Como puede observarse en la Figura 27, el diagrama de cajas muestra que para el grupo 1 formado por Chile, Brasil y Colombia los datos tienen una mediana igual a 3,00 por lo que se puede inducir que la herramienta se utiliza frecuentemente. Por otro lado, los datos del grupo 2 presentan mayor variabilidad y el valor de la mediana es igual a 2,00.

Figura 27

Diagrama de cajas la herramienta “visual management” (H10) respecto a “país”



Como conclusión sobre la influencia de la variable país sobre la percepción respecto al uso de herramientas de Lean Construction puede remarcarse que las diferencias en Iberoamérica son pequeñas. En los casos en los que ha habido diferencias, las medianas han oscilado entre 2 y 3 en la mayoría de los casos. Salvo en el caso de la herramienta Last Planner® System, claramente la más utilizada. Los resultados dejan entrever que ninguna de las herramientas se percibe como “muy utilizada”, lo que indica que la implementación de Lean en estos países es un hecho, aunque se dé de manera progresiva.

Análisis de la herramienta increased visualisation respecto a la variable formación académica

Volviendo a los resultados mostrados al inicio de este apartado en la Tabla 21 se puede afirmar que, existen diferencias significativas en cuanto a la opinión de la frecuencia de uso sobre la herramienta “increased visualisation” (H3) entre las tres categorías de la variable “formación académica”: arquitectura, ingeniería civil y otras ingenierías.

Aplicando el test de Bonferroni, se decidió agrupar las categorías de Arquitectura e ingeniería civil ya que no presentaban diferencias significativas entre sí. Posteriormente, al haber quedado dos categorías en la variable formación académica, se aplicó el análisis no paramétrico de U de Mann-Whitney.

Como puede observarse en la Tabla 28, se obtuvo un nivel de significancia igual a 0,008. Al ser menor a 0,05 la hipótesis nula se rechaza. Lo que quiere decir que, existen diferencias significativas en cuanto a la opinión respecto a la frecuencia con la que se utiliza la herramienta “increased visualisation” (**H3**) entre aquellos encuestados con formación académica en arquitectura e ingeniería civil y aquellos con formación en otras ingenierías.

Tabla 28

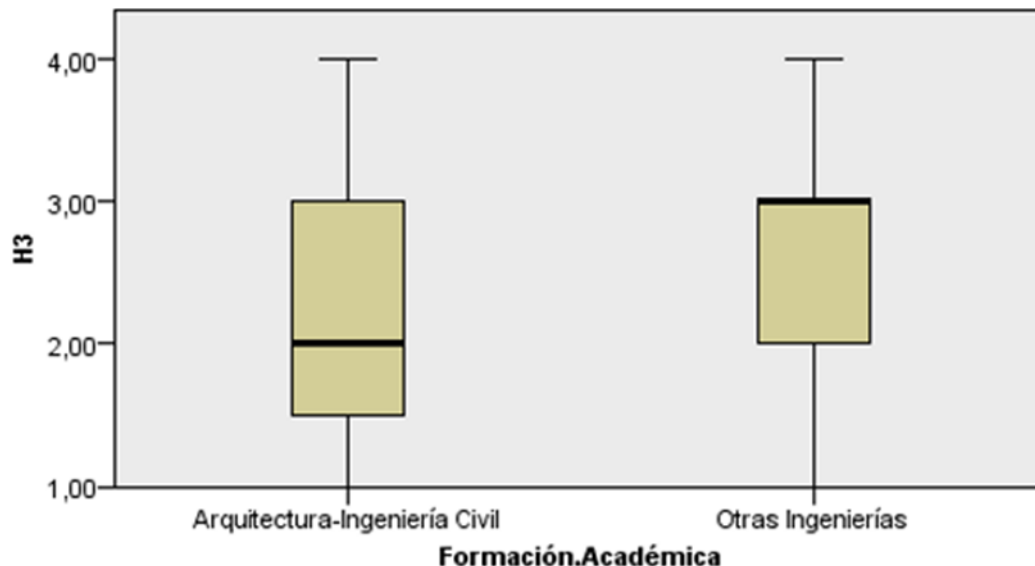
Prueba U de Mann-Whitney para “increased visualisation” (H3) respecto a F. académica

Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
Formación académica	709,00	2,640	0,008

En la Figura 28 se han representado los diagramas de cajas en base a las respuestas obtenidas para ambas categorías. Como puede apreciarse en el primer diagrama, la categoría formada por formación en arquitectura e ingeniería civil presenta gran variabilidad y una mediana igual a 2,00. Lo que indica una baja frecuencia de utilización de la herramienta analizada. Por otro lado, en el diagrama correspondiente a la categoría que representa a los encuestados con formación en otras ingenierías, principalmente industrial, la mediana tiene un valor de 3,00.

Figura 28

Diagrama de cajas para la herramienta “increased visualisation” (H3) respecto a “F. académica”



Estos resultados pueden asociarse a que dentro del grupo “otras ingenierías” se encuentran profesionales con formación en ingeniería industrial. En este ámbito profesional las técnicas de Lean Manufacturing, previo a Lean Construction, llevan implementándose tempranamente respecto al sector



de la construcción por lo que es entendible que estén más familiarizados con algunas de las herramientas (Enshassi y Zaiter, 2014).

Análisis de la herramienta standardisation respecto a la variable formación académica

Por último, se han encontrado diferencias significativas para el caso de la herramienta “standardisation” (H9), con respecto a la variable “nivel de formación académica”. Recordando que las categorías de esta variable son: grado, máster y doctor, se realizó nuevamente el test de Bonferroni para analizar entre qué pares de categorías se encontraban diferencias significativas.

El análisis dio como resultado que no hay diferencias significativas entre las categorías grado y doctor. Por lo tanto, se agruparon ambas categorías y se realizó el análisis no paramétrico U de Mann-Whitney con las nuevas categorías propuestas: por un lado, máster y por el otro grado y doctor.

En la Tabla 29, puede observarse que el estadístico ha dado como resultado un valor de significancia igual a 0,010. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se concluye en que existen diferencias significativas con respecto a la opinión sobre la frecuencia con la que se utiliza la herramienta “Standardisation” (H9) entre los encuestados con nivel de formación académica en máster y aquellos que han alcanzado el nivel de doctor y grado.

Tabla 29

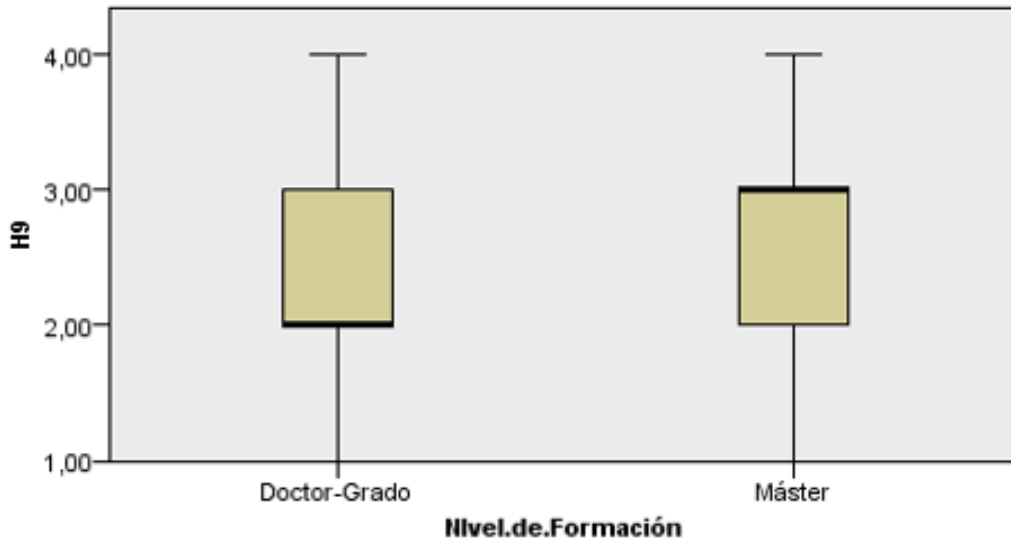
Prueba U de Mann-Whitney para la herramienta “Standardisation” (H9) con respecto a “nivel de f. académica”

Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
Nivel de formación académica	1380,50	2,571	0,010

En la Figura 29, se muestran los diagramas de cajas realizados a partir de las respuestas obtenidas para “Standardisation” (H9) respecto a las dos categorías propuestas para nivel de formación académica. En el primer diagrama puede observarse que la mediana es igual a 2,00 mientras que en el segundo tiene un valor igual a 3,00. Por lo tanto, se puede afirmar que los encuestados con nivel de formación académica de máster consideran que la herramienta se utiliza con mayor frecuencia que aquellos con nivel de grado y doctorado.

Figura 29

Diagrama de cajas para la herramienta “standardisation” (H9) respecto a nivel de formación académica



4.3.6. Influencia de las características del encuestado en la percepción sobre las barreras que existen para la implementación en Iberoamérica

Para identificar cómo influyen las características del encuestado en la opinión sobre las barreras que existen para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica, se ha realizado un análisis similar al expuesto en el apartado anterior. Se ha utilizado nuevamente el análisis no paramétrico H de Kruskal Wallis.

En este caso, se han comparado las 7 variables que caracterizan la muestra con las 11 variables pertenecientes al grupo “Barreras para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica”.

Con respecto a las variables que caracterizan a la muestra se han hecho las mismas consideraciones que en el análisis de herramientas. Es decir, se ha excluido a la categoría “Bolivia” de la variable “país”. Además, las carreras de ingeniería industrial, mecánica, en producción, sanitaria y geológica se agruparon con el nombre de “otras ingenierías” para la variable “formación académica”. Con respecto a la variable “sector” se agruparon los sectores de consultoría, aeropuertos e instalaciones de infraestructuras con el nombre de “ingeniería civil”.

Para cada combinación de variables posible se ha planteado la siguiente hipótesis nula: “no existen diferencias significativas entre las medianas de las variables”. Lo que quiere decir que, las opiniones de los encuestados sobre las diferentes barreras por las que se le ha consultado, no presentan diferencias significativas según las siete características que los definen.

A continuación, en la Tabla 30 se pueden ver representados los valores de significancia obtenidos por el método H de Kruskal Wallis para cada caso planteado. A partir de este valor, el método nos permite aceptar o rechazar la hipótesis nula en cada situación. Se han remarcado en color rojo aquellos valores menores a 0,05 que indican la necesidad de rechazar la hipótesis nula. De esta manera se pudo determinar si hay diferencias significativas en cuanto al grado de acuerdo con respecto a una u otra barrera según las características que definen a la muestra.

Tabla 30

Resumen de H de Kruskal Wallis para barreras en la implementación de Lean Construction en Iberoamérica

Cód.	Barreras	Variables de caracterización de la muestra						
		País	For. Académica	Niv. For. Académica	Experiencia	Cargo	Sector	Ámbito
B1	Fragmentación y Subcontratación	0,466	0,097	0,702	0,976	0,177	0,160	0,262
B2	Estrategia de Contratación	0,077	0,010	0,256	0,891	0,478	0,067	0,034
B3	Cultura y actitud	0,061	0,352	0,069	0,471	0,026	0,136	0,027
B4	Gestión Tradicional	0,013	0,723	0,482	0,139	0,270	0,113	0,027
B5	Problemas Financieros	0,666	0,351	0,360	0,338	0,649	0,898	0,798
B6	Falta de compromiso de la Alta Dirección	0,188	0,922	0,512	0,201	0,769	0,986	0,818
B7	Dicotomía Diseño-Construcción	0,119	0,043	0,365	0,969	0,221	0,649	0,804
B8	Falta de comprensión de "principios Lean"	0,488	0,753	0,053	0,111	0,196	0,183	0,110
B9	Problemas de Educación	0,146	0,699	0,235	0,977	0,256	0,004	0,020
B10	Falta de Sist. de Medición de Desempeño	0,822	0,033	0,398	0,218	0,462	0,548	0,657
B11	Barreras Gubernamentales	0,106	0,331	0,441	0,386	0,400	0,841	0,430

En base al análisis realizado se puede afirmar que no existen diferencias significativas en el grado de acuerdo con las once barreras propuestas por parte del encuestado en relación a su nivel de formación académica, experiencia y cargo que ocupa en su organización, es decir, se ha aceptado la hipótesis nula en estos casos.

Análisis de la barrera gestión tradicional respecto a la variable país

Al analizar las variables de barreras para la implementación de Lean Construction con respecto a la variable "país", nos encontramos con que existen diferencias significativas en cuanto al grado de acuerdo con la barrera "gestión tradicional" (**B4**) en relación a los ocho países que categorizan a la variable país.

Para identificar entre qué categorías, en este caso países, se han presentado diferencias significativas se realizó el Test de Bonferroni, que realiza la prueba de hipótesis entre todas las

combinaciones de pares de categorías posibles. En base a lo anterior, se decidió agrupar a aquellas categorías que no presentaban diferencias significativas, quedando la variable “país” representada por los siguientes dos grupos de categorías:

- Grupo 1: Brasil, Ecuador y Paraguay
- Grupo 2: Chile, Colombia, México, España y Perú.

Luego se realizó el análisis no paramétrico de U de Mann-Whitney para la variable “país”, con sus dos categorías, y la barrera para la implementación de Lean Construction “gestión tradicional” (B4). Como puede observarse en la Tabla 31, el estadístico arroja un valor de significancia igual a 0,002. Al resultar menor a 0,05 se decide rechazar la hipótesis nula. Esto significa que existen diferencias significativas con respecto a la consideración de que la gestión tradicional representa una barrera para la implementación de Lean Construction entre los países incluidos en el grupo 1 y 2.

Tabla 31

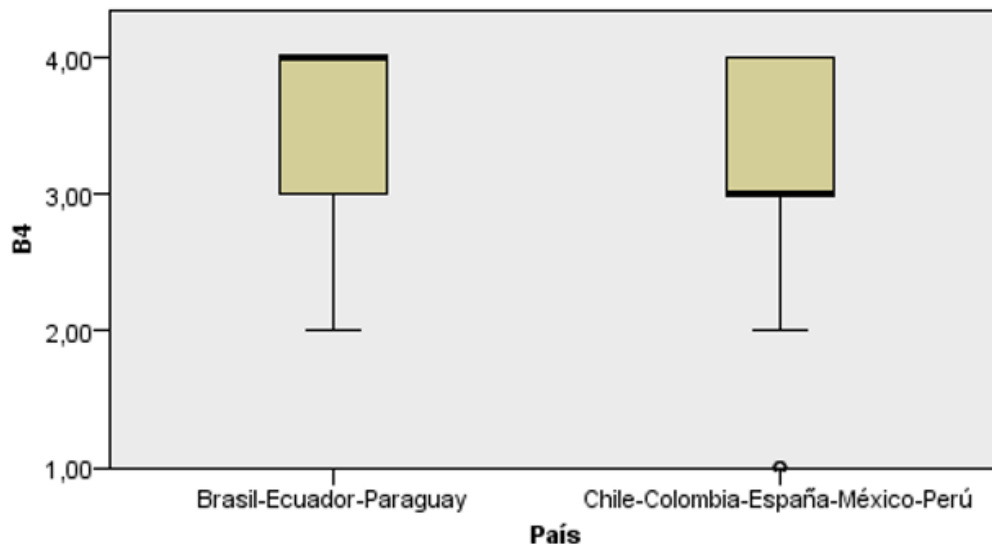
Prueba U de Mann-Whitney para la barrera "gestión tradicional" (B4) respecto a "país"

Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
País	708,00	-3,073	0,002

Al analizar los diagramas de caja realizados con las respuestas obtenidas por parte de los encuestados de cada uno de los dos grupos puede observarse en la Figura 30 que en ambos casos las medianas se encuentran en los valores superiores de la escala (3,00 y 4,00). Por lo que en ambos países están de acuerdo con que la gestión tradicional es una barrera para la implementación de Lean Construction. La diferencia radica en que en Brasil, Ecuador y Paraguay están totalmente de acuerdo mientras que en Chile, Colombia, España, México y Perú están de acuerdo en menor medida. Esta barrera no es una barrera técnica, sino cultural. Es necesaria la generación de cultura Lean en todos los niveles jerárquicos de la empresa para afianzar la implementación de sus técnicas (Sarhan y Fox, 2013).

Figura 30

Diagrama de cajas para "gestión tradicional" (B4) respecto a "país"





Análisis de la barrera estrategias de contratación respecto a la variable formación académica

Además, se encontraron diferencias significativas en cuanto al grado de acuerdo en relación a las barreras “estrategias de contratación” (B2), “dicotomía diseño-construcción” (B7) y “falta de sistemas de medición de desempeño” (B10) con respecto a las tres categorías de la variable “formación académica”: arquitectura, ingeniería civil y otras ingenierías.

Para analizar el primer caso, diferencias significativas para la barrera “estrategias de contratación” (B2) con respecto a “formación académica”, se aplicó el test de Bonferroni. El objetivo de ello fue identificar entre qué categorías de formación académica existen diferencias significativas.

En base a lo anterior, se encontró que no existen diferencias significativas entre los encuestados con formación académica en arquitectura y otras ingenierías. Por lo tanto, se decidió agruparlos en una única categoría y compararlo con la categoría “ingeniería civil”. Para ello, se realizó el análisis no paramétrico U de Mann-Whitney, cuyos resultados se muestran en la Tabla 32.

El valor de significancia obtenido con el estadístico fue igual a 0,005. Por lo tanto, al ser menor a 0,05 la hipótesis nula se rechaza. Esto quiere decir que existen diferencias significativas con respecto a la consideración de que las estrategias actuales de contratación son una barrera para la implementación de Lean Construction entre los encuestados con formación académica en arquitectura u otras ingenierías e ingeniería civil.

Tabla 32

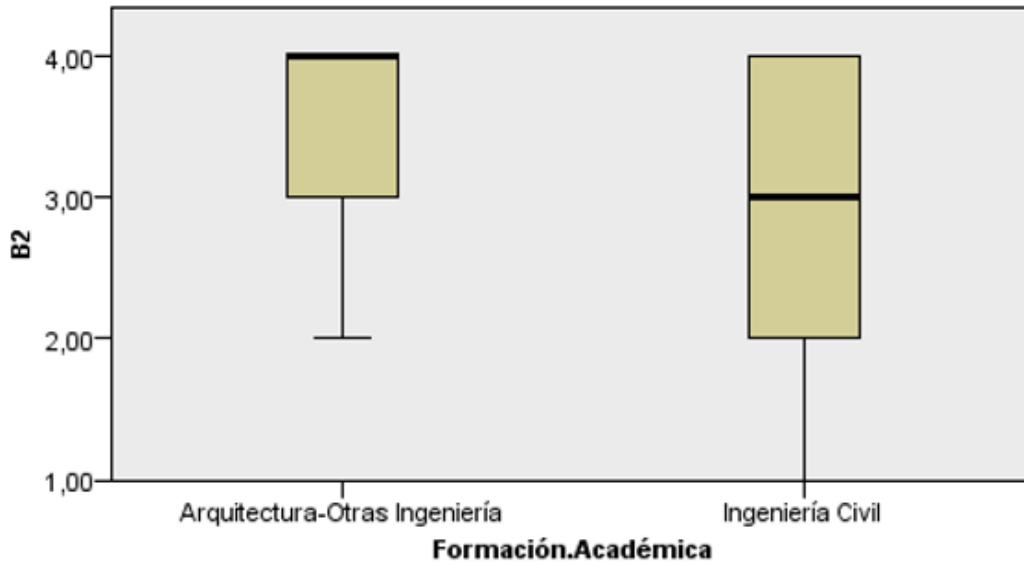
Prueba U de Mann-Whitney para la barrera estrategias de contratación (B2) respecto a “formación académica”

Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
Formación Académica	657,00	-2,830	0,005

En la Figura 31, pueden observarse los diagramas de cajas obtenidos a partir de las respuestas de los encuestados. Puede decirse que los encuestados con formación académica en arquitectura y otras ingenierías están totalmente de acuerdo con que las estrategias de contratación actuales representan una barrera para la implementación de Lean Construction. La mediana en esta categoría tiene un valor igual a 4,00, el máximo de la escala. Por otro lado, entre los encuestados con formación académica en ingeniería civil las respuestas presentan mayor variabilidad, aunque la mediana tiene un valor igual a 3,00. Por lo tanto, se puede decir que están de acuerdo, pero en menor medida. Martínez et al., (2019) en su estudio realizado en Ecuador, plantea que la existencia de un marco legal, contractual, tanto en el ámbito público como privado, que motive al uso de herramientas Lean es necesario para la implementación de las mismas en países de Sudamérica y el Caribe.

Figura 31

Diagrama de cajas para la barrera “estrategias de contratación” (B2) respecto a “formación académica”



Análisis de la barrera dicotomía diseño-construcción respecto a la variable formación académica

En el caso de la barrera “dicotomía diseño-construcción” (B7) se realizó un procedimiento similar al de los casos anteriores. En primer lugar, se realizó el test de Bonferroni para identificar entre qué categorías de formación académica se encontraban diferencias significativas. En base a esto, se agruparon las categorías de arquitectura e ingeniería civil, ya que no presentaban diferencias significativas entre ellas.

Luego se aplicó la prueba U de Mann-Whitney para la variable “formación académica” donde sus dos categorías eran Otras Ingenierías y Arquitectura e Ingeniería Civil con respecto a la barrera “dicotomía diseño-construcción” (B7).

A continuación, en la Tabla 33 se puede observar que la prueba encuentra diferencias significativas entre ambas categorías, con un valor de significancia igual a 0,015. Esto quiere decir que existen diferencias significativas en cuanto a la consideración de que la dicotomía entre diseño y construcción representa una barrera para la implementación de Lean Construction entre los encuestados con formación en arquitectura o ingeniería civil y aquellos con formación en otras ingenierías.

Tabla 33

Prueba U de Mann Whitney para “dicotomía diseño-construcción” (B7) respecto a “formación académica”

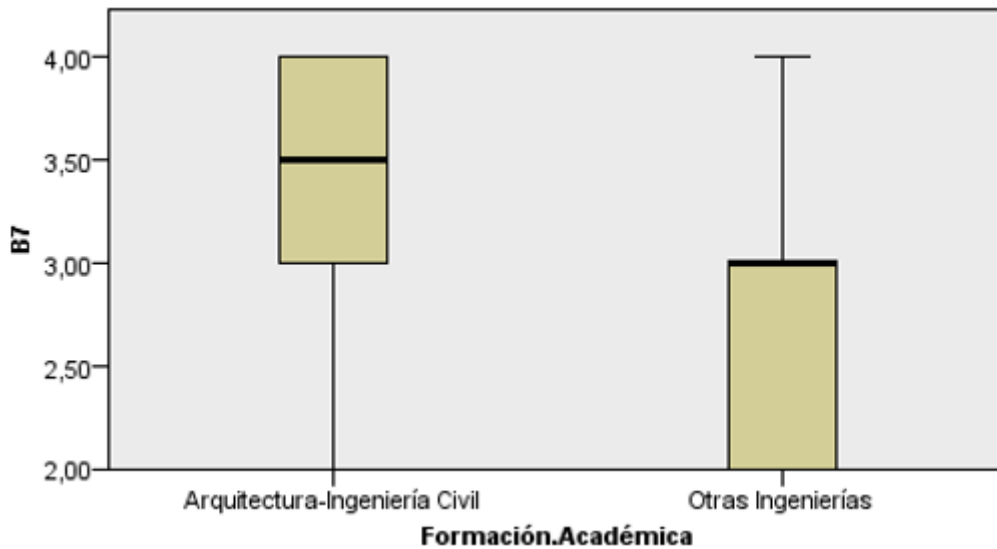
Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
Formación Académica	338,00	-2,421	0,015

Si se analizan las respuestas obtenidas por los encuestados cuando se les preguntó por esta barrera según su formación académica se puede afirmar que en ambos casos se está de acuerdo con la existencia de la misma. Como puede observarse en los diagramas de cajas representados en la Figura 32, las medianas de ambos están en los valores más altos de la escala, aunque los datos de la categoría “otras

ingenierías” presenta mayor variabilidad. Por lo tanto, puede decirse que la diferencia entre las categorías radica en que los encuestados con formación en ingeniería civil y arquitectura están de acuerdo en mayor medida que aquellos con formación en otras ingenierías con respecto a que la dicotomía entre el diseño y la construcción es una barrera para la implementación de Lean Construction. Probablemente este resultado se deba a que este problema es más característico en proyectos de arquitectura e ingeniería civil, y no tanto en proyectos de ingeniería industrial o mecánica.

Figura 32

Diagrama de cajas para la barrera "dicotomía diseño-construcción" (B7) respecto a "formación académica"



Análisis de la barrera falta de sistemas de medición de desempeño respecto a la variable formación académica

Al analizar el caso de las diferencias significativas encontradas para la barrera “falta de sistemas de medición de desempeño” (B10) con respecto a la variable formación académica, se identificó que, al realizar el test de Bonferroni, existen diferencias significativas en cuanto a la opinión de aquellos encuestados con formación académica en arquitectura y aquellos con formación en ingeniería civil. Mientras que no había diferencias entre los encuestados con formación en otras ingenierías y arquitectura, por lo tanto, se agruparon en una sola categoría.

Habiendo definido nuevas categorías para la variable formación académica, con ingeniería civil por un lado y arquitectura junto a otras ingenierías por otro, se realizó el análisis no paramétrico U de Mann-Whitney obteniendo los resultados que se representan en la Tabla 34. El valor de significancia arrojado por el estadístico es de 0,012 por lo que la hipótesis nula se rechaza.

Tabla 34

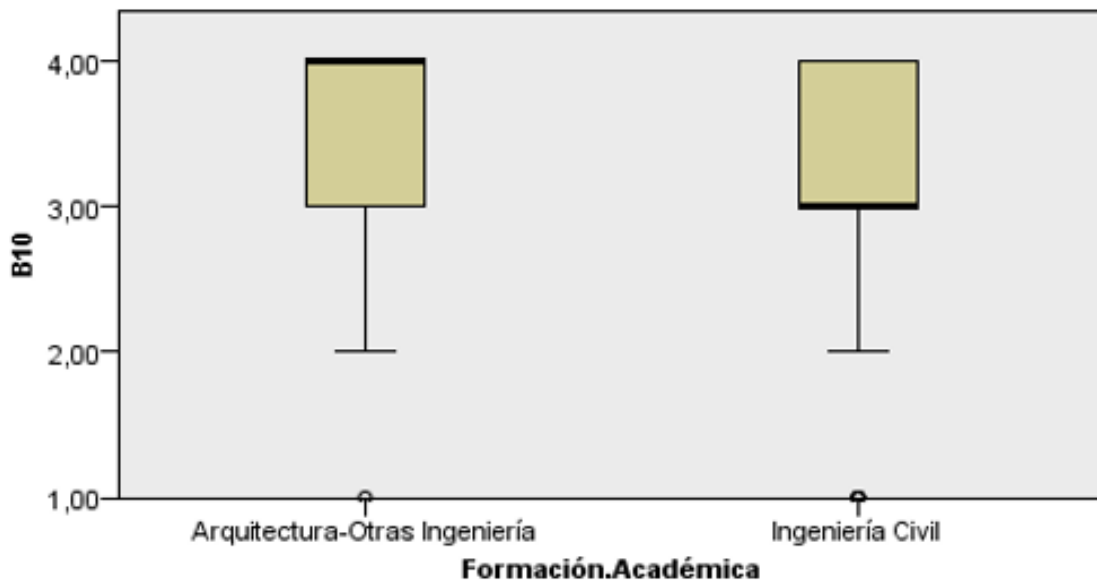
Prueba U de Mann Whitney para la barrera “falta de sistemas de medición de desempeño” (B10) con respecto a “formación académica”

Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
Formación Académica	690,00	-2,507	0,012

Vale la pena mencionar que en dos de los tres casos en los que hubo diferencias significativas entre las categorías de la variable formación académica, es decir, en los análisis de las barreras “estrategias de contratación” (B2) y “falta de sistemas de medición de desempeño” (B10) las agrupaciones de categorías han sido las mismas. Por lo que puede reconocerse que aquellos encuestados con formación en arquitectura y otras ingenierías tienen líneas de opiniones similares entre sí y diferentes a las de los ingenieros civiles. Además, las tendencias de las opiniones, analizando las medianas, se han repetido. En donde ambos grupos tienen medianas en los valores más altos de la escala con 3,00 y 4,00. Como puede verse en la Figura 33 el análisis para la barrera “falta de sistemas de medición de desempeño” (B10) no fue la excepción. Ambos grupos coinciden en que es una barrera para la implementación de Lean Construction, pero los encuestados con formación en ingeniería civil en menor medida.

Figura 33

Diagrama de cajas para la barrera “falta de sistemas de medición de desempeño” (B10) respecto a “formación académica”



Análisis de la barrera cultura y actitud respecto a la variable cargo

También se han encontrado diferencias significativas para la barrera “cultura y actitud” (B3) con respecto a la variable “cargo”. Al igual que para las variables anteriores, se realizó el test de Bonferroni para entender entre qué categorías se encuentran las mismas. Además, se agruparon a las categorías que no presentaban diferencias significativas entre sí, formando dos grupos de nuevas categorías para la variable:

- Grupo 1: Director general, Gerente de departamento, investigador, oficina técnica y Project manager.
- Grupo 2: Jefe de obra

Con las mencionadas categorías se realizó el análisis no paramétrico U de Mann-Whitney, cuyos valores se muestran en la Tabla 35, en donde se obtuvo un nivel de significancia de 0,001 y por lo tanto se rechazó la hipótesis nula. Esto quiere decir que existen diferencias significativas en cuanto a la consideración de que la cultura y actitud del personal son una barrera para la implementación de Lean Construction entre los jefes de obras y el resto de los cargos que tenían los encuestados en sus empresas.

Tabla 35

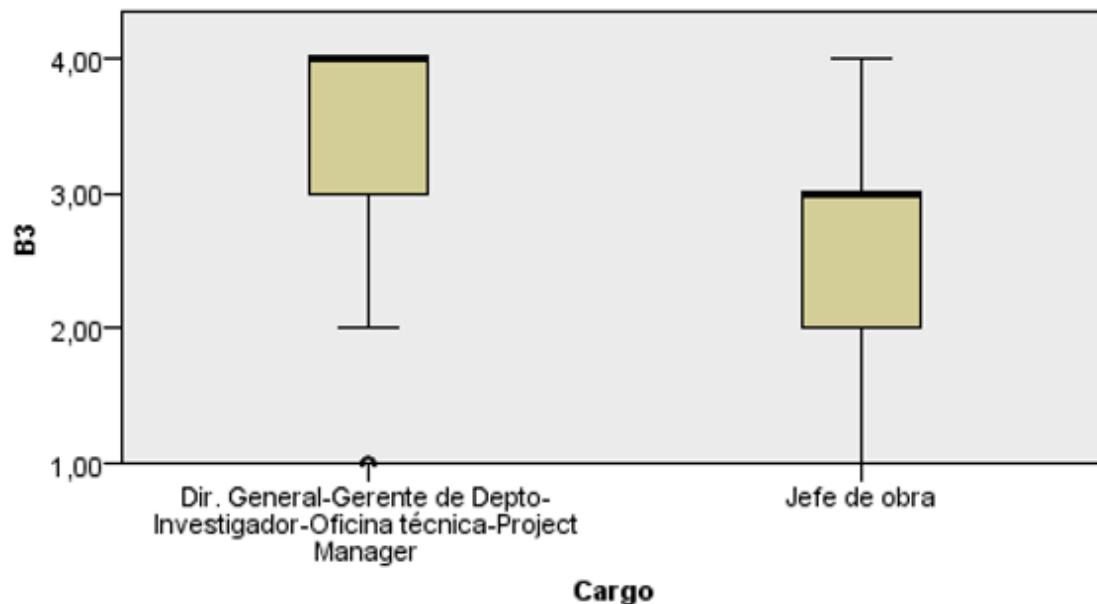
U de Mann Whitney para la barrera "cultura y actitud" (B3) respecto a "cargo"

Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
Cargo	269,50	-3,351	0,001

En la Figura 34, se muestran los diagramas de cajas realizados en base a las respuestas obtenidas para cada categoría. Como puede observarse las respuestas dadas por los encuestados con cargo de jefe de obra presentan gran variabilidad y una mediana con un valor de 3,00. Por otro lado, en la categoría que agrupa al resto de los cargos o posiciones la variabilidad es menor y la mediana tiene un valor de 4,00.

Figura 34

Diagrama de cajas para la barrera "cultura y actitud" con respecto a "cargo".



Aunque, en diferente medida, ambos grupos están de acuerdo con que la cultura y la actitud del personal es una barrera para la implementación de Lean Construction. Resulta algo llamativa que haya tanta variabilidad en las respuestas por parte de los encuestados con cargo de jefe de obra. Según Pons, (2014), su rol es fundamental en la implementación de Lean, ellos son los que deben ejercer un papel de líderes más que de jefes, fomentando el trabajo colaborativo en equipo y la cultura Lean.

Análisis de la barrera problemas de educación respecto a la variable sector

Además, se encontraron diferencias significativas respecto al grado de acuerdo con la variable B9, que representa a la barrera problemas de educación, en relación a la variable "sector". Al realizar el test de Bonferroni, se descubrió que existen diferencias significativas con respecto al grado de acuerdo o desacuerdo con esta barrera entre las categorías: educación superior y edificación. Al no haber diferencias significativas entre educación superior e ingeniería civil, se decidió agruparlas en una nueva categoría.

Consecuentemente se procedió a aplicar la prueba U de Mann-Whitney, donde se obtuvo que existen diferencias significativas entre las nuevas categorías propuestas respecto a la variable de la barrera

“problemas de educación” (B9). Como puede observarse en la Tabla 36, se obtuvo un nivel de significancia igual a por lo que se rechazó la hipótesis nula.

Tabla 36

Prueba U de Mann-Whitney para la barrera "problemas de educación"(B9) respecto a "sector".

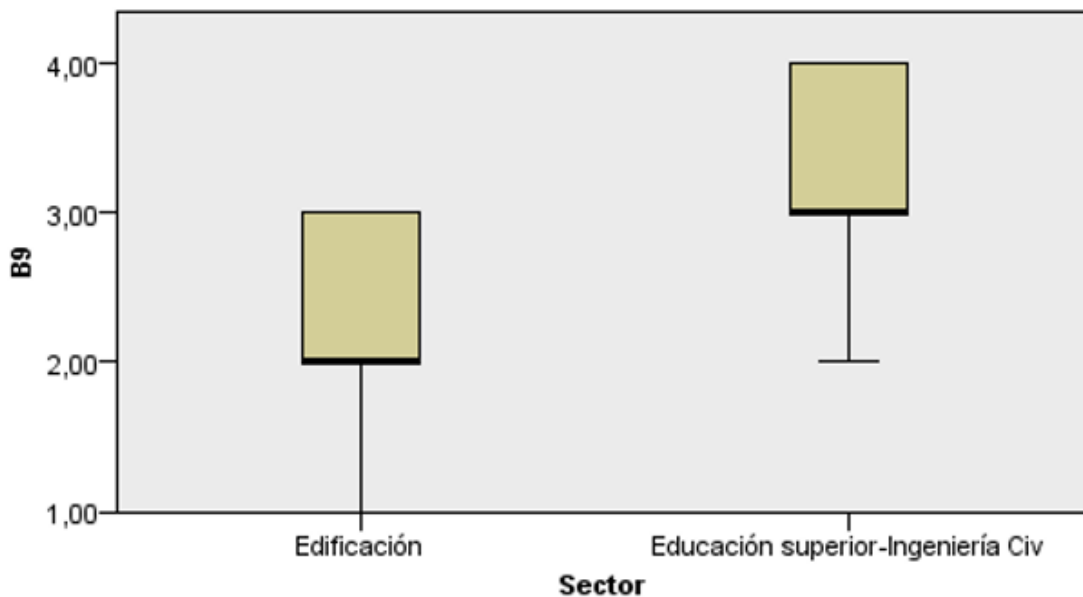
Variable	U Mann Whitney	Z	Significancia
Sector	1.660,00	6,245	0,000

Si se analizan los diagramas de cajas realizados en base a las respuestas obtenidas para cada categoría puede observarse en la Figura 35 que las respuestas realizadas por los encuestados que se desempeñan en el sector de la edificación presentan gran variabilidad. Además, la mediana tiene un valor igual a 2,00. Por lo que puede decirse que este grupo de la muestra no está de acuerdo en que los problemas de educación son una barrera para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica.

En contrapartida, las respuestas de los encuestados del sector de la educación superior y la ingeniería civil tienen una mediana igual a 3,00. Por ello se puede afirmar que están de acuerdo en que los problemas de educación son una barrera para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica.

Figura 35

Diagrama de cajas para la barrera "problemas de educación" (B9) con respecto a "cargo"



Análisis de la barrera respecto a la variable ámbito

Por último, al analizar la variable “ámbito”, que hace referencia a los encuestados que desarrollan sus actividades en el ámbito profesional o académico, con respecto a las diferentes barreras propuestas, se identificó que existen diferencias significativas en cuanto al grado de acuerdo con 4 de ellas: “estrategias de contratación” (B2), “cultura y actitud” (B3), “gestión tradicional” (B4) y “problemas de educación” (B9).

En este caso, como la variable “ámbito” tiene solo dos categorías, en lugar de aplicar el test de Bonferroni, se utilizó el índice estadístico “Relative Importan Index” (RII) para elaborar un ranking de las barreras más importantes según cada grupo, como se muestra en la Tabla 37.

Si se comparan los rankings realizados para cada uno de los grupos de encuestados, vale la pena remarcar que las barreras que ocupan los primeros tres lugares, aunque no en el mismo orden, son las mismas. Por lo que, se puede afirmar que las barreras: “cultura y actitud” (B3), “gestión tradicional” (B4) y “falta de compromiso de la alta dirección” (B6) son las más influyentes a la hora de implementar Lean Construction en Iberoamérica.

Tabla 37

Ranking de barreras para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica según "ámbito"

Ámbito Académico			Ámbito Profesional	
Ran	Cód	Barrera	Cód	Barrera
1	B3	Cultura y actitud	B6	Falta de compromiso de la Alta Dirección
2	B4	Gestión tradicional	B4	Gestión tradicional
3	B6	Falta de compromiso de la Alta Dirección	B3	Cultura y actitud
4	B2	Estrategia de Contratación	B10	Falta de Sist. De Medición de Desempeño
5	B8	Falta de comprensión de "principios Lean"	B2	Estrategia de Contratación
6	B1	Fragmentación y Subcontratación	B7	Dicotomía diseño-construcción
7	B9	Problemas de Educación	B8	Falta de comprensión de "principios Lean"
8	B10	Falta de Sist. De Medición de Desempeño	B1	Fragmentación y Subcontratación
9	B7	Dicotomía diseño-construcción	B9	Problemas de Educación
10	B5	Problemas financieros	B5	Problemas financieros
11	B11	Barreras gubernamentales	B11	Barreras gubernamentales

En cuanto a los últimos puestos del ranking de barreras, ambos grupos coinciden en que los problemas financieros y las barreras gubernamentales no son los mayores obstáculos para la implementación de Lean Construction. Luego, ambos grupos están de acuerdo en que las estrategias de contratación son una barrera importante ya que se encuentra entre los primeros 5 lugares.

Por último, en los puestos centrales hay marcadas diferencias entre los dos grupos, como puede verse en la Tabla 37. Se puede mencionar que para los encuestados que ejercen sus actividades en el ámbito profesional, la falta de sistemas de medición de desempeño es la cuarta barrera más importante mientras que para los académicos es una de las menos importante.

4.3.7. Correlación entre variables de herramientas de Lean Construction

Para analizar cómo se relacionan entre sí la percepción de la frecuencia con la que se utiliza cada una de las herramientas por parte de los encuestados, se utilizó una técnica estadística denominada análisis factorial por el método de componentes principales. La finalidad de este análisis es determinar si existen herramientas que puedan agruparse en base a su frecuencia de uso que luego puedan explicarse a través de las características propias de cada herramienta analizadas en el Capítulo 2.

Para comenzar es necesario conocer si es factible realizar un análisis factorial con las características que presenta la muestra. Para ello, en primer lugar, se realiza un análisis de correlación. Como puede observarse en la Tabla 38, no se han obtenidos mayores o iguales a 0,80 por lo que se mantienen todas las variables.

Tabla 38

Matriz de correlación para herramientas

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
H1	1,000	0,533	0,301	0,264	0,533	0,389	0,334	0,382	0,393	0,500
H2	0,533	1,000	0,394	0,462	0,708	0,409	0,291	0,411	0,312	0,380
H3	0,301	0,394	1,000	0,130	0,255	0,299	0,299	0,396	0,365	0,449
H4	0,264	0,462	0,130	1,000	0,472	0,541	0,109	0,337	0,196	0,215
H5	0,533	0,708	0,255	0,472	1,000	0,559	0,386	0,451	0,411	0,424
H6	0,389	0,409	0,299	0,541	0,559	1,000	0,412	0,432	0,318	0,470
H7	0,334	0,291	0,299	0,109	0,386	0,412	1,000	0,135	0,237	0,475
H8	0,382	0,411	0,396	0,337	0,451	0,432	0,135	1,000	0,367	0,411
H9	0,393	0,312	0,365	0,196	0,411	0,318	0,237	0,367	1,000	0,597
H10	0,500	0,380	0,449	0,215	0,424	0,470	0,475	0,411	0,597	1,000

En la Tabla 39 pueden observarse los resultados obtenidos luego de realizar el Test de KMO y la esfericidad de Bartlett. Al haber obtenido un valor de 0,820 en el primer test mencionado, se puede afirmar que existe una alta correlación entre las variables analizadas. La prueba de esfericidad de Bartlett arroja un nivel de significancia de 0,000, menor a 0.005 por lo que se puede concluir en que es factible realizar este análisis factorial.

Tabla 39

Indicadores de factibilidad del análisis factorial para herramientas

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo	0,820
Prueba de esfericidad de Aprox. Chi-cuadrado	286,671
Bartlett	
Grados de libertad	45
Significancia	0,000

Además, se ha calculado la matriz de correlación anti-imagen para las variables de herramientas de Lean Construction, cuyos valores están reflejados en la Tabla 40. Coloreado en rojo puede apreciarse que las medidas de adecuación muestral en la matriz de correlaciones anti imagen tienen un valor mayor a 0,5, lo que indica que el análisis factorial es factible para la muestra seleccionada.

Tabla 40

Matriz de correlación anti-imagen para herramienta de Lean Construction

	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10
H1	0,921	-0,232	0,034	0,053	-0,129	-0,028	-0,055	-0,083	-0,066	-0,206
H2	-0,232	0,781	-0,298	-0,248	-0,521	0,148	0,015	-0,015	0,102	-0,017
H3	0,034	-0,298	0,790	0,106	0,213	-0,078	-0,136	-0,233	-0,140	-0,144
H4	0,053	-0,248	0,106	0,781	-0,072	-0,420	0,154	-0,067	-0,015	0,047
H5	-0,129	-0,521	0,213	-0,072	0,806	-0,241	-0,190	-0,149	-0,207	0,067
H6	-0,028	0,148	-0,078	-0,420	-0,241	0,821	-0,226	-0,151	0,058	-0,168
H7	-0,055	0,015	-0,136	0,154	-0,190	-0,226	0,771	0,206	0,115	-0,291
H8	-0,083	-0,015	-0,233	-0,067	-0,149	-0,151	0,206	0,884	-0,056	-0,116
H9	-0,066	0,102	-0,140	-0,015	-0,207	0,058	0,115	-0,056	0,815	-0,429
H10	-0,206	-0,017	-0,144	0,047	0,067	-0,168	-0,291	-0,116	-0,429	0,825

Medidas de adecuación muestral (diagonal)

La Tabla 41, muestra las comunales asignadas inicialmente a las variables y las reproducidas por la extracción de factores. La comunalidad de una variable es la proporción de su varianza que puede ser explicada por el modelo factorial obtenido. Como puede observarse todas las herramientas tienen valores de comunales mayores a 0,5, por lo que puede decirse que están satisfactoriamente representadas por el modelo obtenido.

Tabla 41

Comunalidades para herramientas de Lean Construction

Cód.	Herramienta	Inicial	Extracción
H1	5 s	1,000	0,713
H2	5 Why's	1,000	0,788
H3	Increased Visualisation	1,000	0,578
H4	Just in time	1,000	0,799
H5	Kaizen	1,000	0,785
H6	Kanban System	1,000	0,814
H7	Last Planner® System	1,000	0,871
H8	Poka-Yoke	1,000	0,686
H9	Standardisation	1,000	0,601
H10	Visual Management	1,000	0,745

En la Tabla 42, se pueden observar los autovalores de la matriz de varianzas asociados al porcentaje de varianza que representa cada uno de ellos. Para extraer los factores, se ha aplicado la Regla

de Kaiser. Este criterio se basa en el análisis de componentes principales en el que se escogen tantos factores como autovalores mayores a uno. Se ha verificado que este criterio infraestima el número de factores y se recomienda escoger los factores estableciendo el valor mínimo de los autovalores entre 0,7 y 1,0 (De la Fuente, 2011).

En nuestro caso se extrajeron tantos factores como autovalores mayores a 0,75. Como puede observarse en la Tabla 42 con el criterio adoptado se obtienen 4 factores o componentes que representan o explican el 73,81% de la variabilidad de la muestra.

Tabla 42

Varianza total explicada para herramientas

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	4,496	44,957	44,957	4,496	44,957	44,957	2,206	22,058	22,058
2	1,212	12,125	57,082	1,212	12,125	57,082	2,068	20,677	42,735
3	0,915	9,146	66,228	0,915	9,146	66,228	1,777	17,770	60,505
4	0,758	7,577	73,805	0,758	7,577	73,805	1,330	13,300	73,805
5	0,719	7,191	80,996						
6	0,553	5,532	86,528						
7	0,468	4,683	91,210						
8	0,351	3,511	94,721						
9	0,318	3,180	97,901						
10	0,210	2,099	100,000						

Por último, en la Tabla 43, se muestra la matriz de componentes rotada con la solución factorial. En este caso la tabla contiene las cargas factoriales o coordenadas para cada variable de herramientas de Lean Construction. Este valor tiene un rango de -1 a 1 y representa la correlación entre la variable y el factor obtenido. Las cargas factoriales de valores cercanos a 1 representan una alta correlación.

Tabla 43

Matriz de componentes rotada para herramientas de Lean Construction

Código	Herramientas	Factores/componentes			
		1	2	3	4
H3	Increased Visualisation	0,738			
H9	Standardisation	0,724			



H10	Visual Management	0,683	
H8	Poka-Yoke	0,628	
H2	5 Why's	0,807	
H1	5 s	0,755	
H5	Kaizen	0,724	
H4	Just in time	0,854	
H6	Kanban System	0,742	
H7	Last Planner® System		0,894

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser. La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

De esta manera, las 10 variables de herramientas de Lean Construction pueden ser divididas en cuatro grupos según la correlación que existe entre ellas dados por los dos factores obtenidos. Recordando que las variables representan la percepción de los encuestados en cuanto a la frecuencia con la que se utilizan ciertas herramientas de Lean Construction en su país, los componentes o factores han quedado conformados de la siguiente forma:

- **Factor 1: Herramientas para evitar errores**

El factor número 1 está compuesto por las siguientes 4 herramientas: “increased visualisation” (**H3**) representada en un 73,8 %, “standardisation” (**H9**) representada en un 72,4%, “visual management” (**H10**) con el 68,4% y, por último, “poka-yoke” (**H8**) con un 62,8%.

- **Factor 2: Herramientas para la mejora continua**

Por otro lado, el factor 2 está compuesto por las herramientas: “5 Why’s” (**H2**) representada por el factor en un 80,7%, “5s” (**H1**) con el 75,5% y “kaizen” (**H5**) representada en un 72,4%.

- **Factor 3: Herramientas complementarias entre sí**

El factor número 3 está compuesto por las siguientes herramientas: “just in time” (**H4**) representada por el factor en un 85,4% y “Kanban System” (**H6**) representada en un 74,2%.

- **Factor 4: Last Planner® System**

El factor número 4 está compuesto exclusivamente por Last Planner® System (**H7**), donde el factor explica el 89,4% de su varianza.

4.3.8. Correlación entre variables de barreras para la implementación de Lean Construction

Para analizar cuál es la correlación que existe entre las diferentes barreras para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica se aplicó el mismo procedimiento que en el apartado 4.3.7 para el grupo de variables de herramientas de Lean Construction. Es decir, se utilizó la técnica estadística de análisis factorial.

Evaluando la factibilidad de la realización del análisis para las características de la muestra en cuanto a las variables barreras para la implementación de Lean Construction, se ha realizado un análisis de correlación entre las mismas. En este caso, no se ha obtenido ningún valor mayor o igual a 0,80, como puede verse en la Tabla 44. Por ende, en primera instancia, el análisis factorial puede realizarse para todas las variables de la muestra.

Tabla 44

Matriz de correlación para barreras

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
B1	1,000	0,606	0,197	0,274	-0,003	0,069	0,237	0,155	0,024	0,313	0,090
B2	0,606	1,000	0,194	0,316	-0,057	0,108	0,136	0,264	0,097	0,282	0,214
B3	0,197	0,194	1,000	0,312	-0,010	0,426	0,049	0,344	0,405	0,162	0,138
B4	0,274	0,316	0,312	1,000	0,101	0,259	0,187	0,435	0,246	0,186	0,326
B5	-0,003	-0,057	-0,010	0,101	1,000	0,236	0,198	0,023	0,288	0,100	0,396
B6	0,069	0,108	0,426	0,259	0,236	1,000	0,151	0,387	0,451	0,142	0,180
B7	0,237	0,136	0,049	0,187	0,198	0,151	1,000	0,112	0,201	0,327	0,187
B8	0,155	0,264	0,344	0,435	0,023	0,387	0,112	1,000	0,347	0,283	0,204
B9	0,024	0,097	0,405	0,246	0,288	0,451	0,201	0,347	1,000	0,266	0,252
B10	0,313	0,282	0,162	0,186	0,100	0,142	0,327	0,283	0,266	1,000	0,216
B11	0,090	0,214	0,138	0,326	0,396	0,180	0,187	0,204	0,252	0,216	1,000

Además, como se muestra en la Tabla 45 el Test de KMO ha arrojado un valor de 0,724. Al ser mayor que 0,600 es posible concluir en que existe un alto nivel de correlación entre las variables de la muestra analizada. Por otro lado, la prueba de esfericidad de Bartlett da como resultado un nivel de significancia de 0,000 por lo que se rechaza la hipótesis nula del método. Lo que indica que es factible realizar el análisis de factibilidad con las características de la muestra.

Tabla 45

Indicadores de factibilidad del análisis factorial para barreras

Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adecuación de muestreo		0,724
Prueba de	Aprox. Chi-cuadrado	214,530
esfericidad de Bartlett	Grados de libertad	55
	Significancia	0,000

El último paso para corroborar la factibilidad del método para el grupo de variables de barreras para la implementación de Lean Construction fue calcular la matriz de correlación anti-imagen como puede observarse en la Tabla 46. Las medidas de adecuación muestral que forman la diagonal de la matriz tienen valores superiores a 0,5 por lo que se puede concluir en que es factible realizar el análisis factorial para esta muestra de variables.

Tabla 46

Matriz de correlación anti-imagen para barreras

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
B1	0,607	-0,549	-0,142	-0,113	-0,077	0,029	-0,161	0,062	0,141	-0,170	0,127



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

B2	-0,549	0,658	0,019	-0,086	0,154	-0,011	0,058	-0,104	-0,028	-0,065	-0,184
B3	-0,142	0,019	0,749	-0,127	0,172	-0,273	0,097	-0,072	-0,270	0,000	-0,036
B4	-0,113	-0,086	-0,127	0,812	0,000	-0,022	-0,088	-0,293	-0,017	0,067	-0,210
B5	-0,077	0,154	0,172	0,000	0,551	-0,184	-0,089	0,112	-0,208	0,010	-0,368
B6	0,029	-0,011	-0,273	-0,022	-0,184	0,778	-0,065	-0,221	-0,215	0,053	0,036
B7	-0,161	0,058	0,097	-0,088	-0,089	-0,065	0,748	0,044	-0,090	-0,231	-0,045
B8	0,062	-0,104	-0,072	-0,293	0,112	-0,221	0,044	0,790	-0,126	-0,171	-0,027
B9	0,141	-0,028	-0,270	-0,017	-0,208	-0,215	-0,090	-0,126	0,778	-0,154	-0,033
B10	-0,170	-0,065	0,000	0,067	0,010	0,053	-0,231	-0,171	-0,154	0,786	-0,096
B11	0,127	-0,184	-0,036	-0,210	-0,368	0,036	-0,045	-0,027	-0,033	-0,096	0,693

Medidas de adecuación muestral (diagonal)

Para el grupo de variables de barreras para la implementación de Lean Construction, las comunalidades reproducidas por la extracción de factores son las que se exponen a continuación en la Tabla 47. Como puede observarse todos los valores son mayores a 0,5 lo que significa que las barreras están suficientemente representadas por los factores que se extraen. A partir de estos valores puede asegurarse que el modelo factorial representa aproximadamente entre el 55% y 75% la variabilidad de cada barrera lo que se considera aceptable.

Tabla 47

Comunalidades para barreras

Cód.	Barreras	Inicial	Extracción
B1	Fragmentación y Subcontratación	1,000	0,709
B2	Estrategia de Contratación	1,000	0,726
B3	Cultura y actitud	1,000	0,612
B4	Gestión Tradicional	1,000	0,579
B5	Problemas Financieros	1,000	0,718
B6	Falta de compromiso de la Alta Dirección	1,000	0,607
B7	Dicotomía Diseño-Construcción	1,000	0,662
B8	Falta de comprensión de "principios Lean"	1,000	0,540
B9	Problemas de Educación	1,000	0,644
B10	Falta de Sist. de Medición de Desempeño	1,000	0,600
B11	Barreras Gubernamentales	1,000	0,734

Posteriormente se utilizó el método de extracción de análisis de componentes principales. A partir de esto se obtuvieron 4 factores, que representan el 65% de la varianza total de la muestra, como puede verse en la Tabla 48.



Tabla 48

Varianza total explicada para barreras

Factor	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción			Sumas de cargas al cuadrado de la rotación		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	3,254	29,583	29,583	3,254	29,583	29,583	2,303	20,933	20,933
2	1,597	14,520	44,103	1,597	14,520	44,103	1,923	17,481	38,414
3	1,324	12,039	56,142	1,324	12,039	56,142	1,518	13,800	52,214
4	0,954	8,674	64,815	0,954	8,674	64,815	1,386	12,601	64,815
5	0,786	7,148	71,963						
6	0,712	6,469	78,433						
7	0,610	5,549	83,981						
8	0,514	4,672	88,654						
9	0,501	4,555	93,209						
10	0,426	3,877	97,085						
11	0,321	2,915	100,000						

Finalmente, se ha calculado la carga factorial o coordenada de cada una de las 11 variables estudiadas en este apartado, como puede observarse en la matriz de componentes rotadas en la Tabla 49.

Tabla 49

Matriz de componentes rotada para barreras

Código	Barreras	1	2	3	4
B3	Cultura y actitud	0,753			
B6	Falta de compromiso de la Alta Dirección	0,750			
B9	Problemas de Educación	0,693			
B8	Falta de comprensión de "principios Lean"	0,662			
B4	Gestión Tradicional	0,526			
B2	Estrategia de Contratación		0,837		
B1	Fragmentación y Subcontratación		0,778		
B11	Barreras Gubernamentales			0,808	
B5	Problemas Financieros			0,791	

B7	Dicotomía Diseño-Construcción	0,789
B10	Falta de Sist. de Medición de Desempeño	0,694

Método de extracción: análisis de componentes principales.

Método de rotación: Varimax con normalización Kaiser. La rotación ha convergido en 3 iteraciones.

Los 4 factores extraídos que explican la variabilidad de las 11 barreras para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica están compuestos de la siguiente manera:

- **Factor 1: Adhesión a métodos tradicionales de gestión, ¿temor al cambio?"**

Este factor está compuesto por las siguientes barreras: "cultura y actitud" (B3) representada en un 75,3%, "falta de compromiso de la alta dirección" (B6) representada en un 75,0%, "problemas de educación" (B9) 69,3%, "falta de comprensión de "principios Lean"" (B8) en un 66,2% y, por último, "gestión tradicional" (B4) representada en un 52,6%.

- **Factor 2: Características propias del sector de la construcción**

Este factor está compuesto por las siguientes barreras: "estrategias de contratación" (B2), representada en un 83,7% y "fragmentación y subcontratación" (B1) representada por el factor en un 77,8%.

- **Factor 3: Barreras de base o estructurales**

El tercer factor está formado por: "barreras gubernamentales" (B11) representado en 80,8% y "problemas financieros" (B5) representado por el factor en un 79,1%.

- **Factor 4: Falta de visión global sobre el proyecto**

Por último, el cuarto factor está formado por las barreras: "dicotomía diseño-construcción" (B7) representada por el factor en un 78,9% y "falta de sistemas de medición de desempeño" (B10) con un 69,4%.

4.3.9. Relación entre variables de herramientas Lean y barreras para su implementación

Para determinar si existe alguna relación entre los dos grupos de variables analizados en el presente trabajo de fin de máster se utilizó el análisis estadístico Chi-Cuadrado de Pearson. Se buscó identificar si existe algún grado de dependencia entre alguna variable que represente la frecuencia con la que se utiliza una herramienta Lean y alguna variable del grupo de barreras para la implementación de Lean Construction.

Para ello se aplicó la prueba de χ^2 para cada par posible entre las diez variables de herramientas de lean Construction y las once variables de barreras para la implementación de Lean Construction.

En cada caso, se planteó la siguiente hipótesis nula: "no existe relación de dependencia entre la variable H y la variable B". Por ejemplo: "no existe relación de dependencia entre la frecuencia de uso de Last Planner® System (H7) y la barrera de fragmentación y subcontratación (B1)".

Luego para cada uno de los 110 casos, se han obtenido las significaciones asintóticas relacionadas al estadístico χ^2 calculado en cada oportunidad, representados, a continuación, en la Tabla 50. A partir de este valor, el método nos permite aceptar o rechazar la hipótesis nula en cada situación. Se han coloreado en rojo aquellos valores menores a 0,05 que indican la necesidad de rechazar la hipótesis nula.

Tabla 50

Prueba de Chi-Cuadrado: Significación asintótica

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
H1	0,814	0,924	0,102	0,067	0,766	0,477	0,388	0,746	0,883	0,907	0,742
H2	0,638	0,772	0,411	0,741	0,711	0,178	0,816	0,687	0,794	0,927	0,160
H3	0,324	0,429	0,699	0,971	0,979	0,215	0,258	0,607	0,416	0,372	0,862
H4	0,679	0,929	0,905	0,902	0,088	0,866	0,261	0,551	0,806	0,724	0,287
H5	0,953	0,534	0,618	0,371	0,035	0,533	0,305	0,475	0,619	0,622	0,082
H6	0,306	0,323	0,684	0,856	0,998	0,485	0,110	0,996	0,078	0,576	0,098
H7	0,866	0,136	0,190	0,586	0,672	0,436	0,015	0,344	0,423	0,214	0,558
H8	0,446	0,682	0,984	0,191	0,226	0,178	0,584	0,605	0,792	0,199	0,061
H9	0,367	0,696	0,789	0,150	0,884	0,864	0,154	0,717	0,757	0,673	0,060
H10	0,269	0,080	0,007	0,171	0,739	0,086	0,031	0,169	0,555	0,462	0,418

De esta manera es posible confirmar, que existe relación de dependencia en cuatro pares de variables. Por lo tanto, para cada par, parte de la variabilidad de una variable puede ser explicada por la otra variable. A continuación, se detallan los pares de variables en los que se ha encontrado relación de dependencia.

1. H5 (Kaizen) – B5 (problemas Financieros)
2. H7 (Last Planner System) – B7 (Dicotomía Diseño-Construcción)
3. H10 (Visual Management) – B3 (Cultura y actitud del personal)
4. H10 (Visual Management) – B7 (Dicotomía Diseño-Construcción)

Los resultados obtenidos, significan que la variabilidad de la frecuencia de uso de la herramienta Kaizen, mejora continua, tiene relación de dependencia con el grado de acuerdo o desacuerdo en que los problemas financieros significan una barrera para la implementación de la misma.

Además, la variabilidad de la frecuencia de uso de la herramienta Last Planner[®] System, tiene relación de dependencia con el grado de acuerdo o desacuerdo en que la dicotomía diseño-construcción representa una barrera para la aplicación de Lean Construction.

Por último, se ha encontrado que, la variabilidad de la frecuencia de uso de la herramienta Visual Management, tiene relación de dependencia con el grado de acuerdo o desacuerdo en que la dicotomía diseño-construcción y la cultura y la actitud del personal son una posible barrera para la implementación de Lean.

Por otro lado, se ha calculado para cada uno de los mencionados cuatro pares de variables, el coeficiente Gamma (γ), buscando identificar la dirección y la intensidad o grado de asociación entre las variables. Los resultados se exponen a continuación, en la Tabla 51.



Tabla 51

Dirección y grado de asociación entre variables

	Significancia	Gamma	Intensidad
H5-B5	0,035	-0,051	Baja
H7-B7	0,015	0,028	Baja
H10-B3	0,007	0,151	Baja
H10-B7	0,031	-0,059	Baja

Como puede observarse, en los cuatro casos, los valores de gamma tienden a cero, por lo que la intensidad de asociación o dependencia se puede considerar baja. Por otro lado, puede confirmarse que la relación de dependencia entre Kaizen (H5) y problemas financieros (B5) y la relación de dependencia entre Visual Management (H10) y dicotomía diseño-construcción (B7) tienen dirección negativa. Lo que significa que, para valores altos de una variable, los de la variable asociada son bajos o viceversa.

Además, el hecho de que los pares de variables Last Planner[®] System (H7) – dicotomía diseño-construcción (B7) y Visual Management (H10) – Cultura y actitud del personal (B3) tengan relaciones de asociación positivas indican que por más que existan estas barreras para la implementación de Lean Construction, la frecuencia uso de estas herramientas es alta, por lo que no resultan las barreras más influyentes.

5. DISCUSIÓN

En el presente apartado se discuten los resultados considerados de mayor relevancia obtenidos en el Capítulo 4. Para ello, se discuten primero, las preguntas de investigación planteadas de la Tabla 9 relacionadas a herramientas de Lean Construction y luego, las relacionadas a barreras para su aplicación.

Herramienta utilizada con mayor frecuencia en Iberoamérica

Los resultados obtenidos en la presente investigación muestran que la herramienta de Lean Construction más utilizada en Iberoamérica según la percepción de los encuestados es Last Planner® System (H7). Esta situación coincide con lo observado en la literatura analizada a escala global, donde resultó ser la herramienta más mencionada por los autores (19.50% del total).

Es cierto que Last Planner® System es una de las herramientas de Lean que lleva más tiempo estudiándose e implementándose y también la más difundida (Perez y Ghosh, 2018). Una muestra de ello es la publicación realizada por Porwal et al. (2010) en la que plantean que LPS se ha vuelto la herramienta más utilizada en el sector de la construcción ya que le permite a las empresas una planificación flexible y confiable que estabiliza el flujo de trabajo en sus proyectos. Es una herramienta que mitiga los efectos de algunas características propias del sector que atentan a la productividad como la gran variabilidad e incertidumbres de los proyectos.

Por otro lado, Alsehaimi y Koskela (2014), luego de aplicar LPS en Reino de Arabia Saudita, plantean que no solo es una de las herramientas más utilizadas por su eficiencia en la gestión de un proyecto sino por la facilidad a adaptarla en diferentes circunstancias. Además, Alsehaimi et al. (2014), consideran que la implementación de componentes de LPS de manera gradual en una compañía ayuda a apaciguar y gestionar la resistencia al cambio, una de las principales barreras para la implementación de herramientas Lean. Por último, Alarcón et al. (2008), uno de los expertos en Lean Construction con más publicaciones en Iberoamérica, luego de su caso de estudio realizado en Chile, plantea que los beneficios de la aplicación de Last Planner® System son mejoras en el control y gestión de los proyectos, confiabilidad en la planificación y reducción en los plazos de entrega.

Influencia de las características del encuestado en su percepción sobre la frecuencia de uso de herramientas Lean

El país o nacionalidad es el aspecto de los encuestados con mayor influencia en la percepción sobre la frecuencia de uso de herramientas Lean, según los resultados obtenidos. Excluyendo al caso de la herramienta Last Planner® System (H7), claramente la más utilizada, los resultados dejan entrever que ninguna de las herramientas se percibe como “muy utilizada”, lo que indica que la implementación de Lean Construction en la región iberoamericana es un hecho, aunque se dé de manera progresiva.

Los encuestados de Brasil, Chile y Colombia han resultado aquellos que perciben el uso de herramientas Lean con mayor frecuencia. Este aspecto puede relacionarse a que principalmente Chile y Brasil son los países de la región que llevan más tiempo estudiando e implementando Lean Construction. Chile es un país pionero en la implementación de Lean Construction (Salvatierra et al., 2015). Muestra fehaciente de ello es la publicación realizada por Alarcón (1997), donde relata los esfuerzos de investigación realizados por la Universidad Católica de Chile en conjunto con empresas del sector de la construcción en el país, desde el año 1993, con el fin de adecuar y aplicar metodologías Lean para el análisis y la mejora de la productividad y calidad en proyectos de construcción.

En el caso de Brasil, Hirota y Formoso (1998), con el objetivo de promover un cambio de paradigma en la gestión de proyectos, describen en su publicación un proyecto de investigación relacionado al desarrollo de programas de capacitación en Lean Construction. En Colombia la investigación y el uso de

herramientas de Lean Construction ha tenido un abrupto crecimiento desde el año 2007 principalmente en la implementación de Last Planner® System (Mejía-Plata et al., 2016). Por último, un dato no menor es que tanto Brasil como Chile han sido anfitriones de las conferencias realizadas por el International Group of Lean Construction (IGLC) en 4 de sus 28 ediciones realizadas a la fecha: Guarujá, Brasil (1998), Gramado, Brasil (2002), Santiago, Chile (2006), Fortaleza, Brasil (2013) (*IGLC.net - Index*, s. f.).

Correlación entre variables de herramientas de Lean Construction

A la hora de correlacionar las herramientas de Lean Construction analizadas en función de la percepción de los encuestados sobre su frecuencia de uso, se obtuvieron 4 grupos o factores. Las agrupaciones obtenidas a partir del análisis estadístico cobran aún más sentido al poder ser explicadas mediante las características propias de cada una encontradas en la revisión bibliográfica del Capítulo 2. A continuación se describe cada uno de los grupos obtenidos.

El primer grupo está compuesto por las siguientes 4 herramientas: increased visualisation (H3), standardisation (H9), visual management (H10) y poka-yoke (H8). Al contrastar los resultados con la revisión bibliográfica, la agrupación de estas cuatro herramientas en un factor tiene sentido, considerando que tienen aspectos en común que se visualizan en los beneficios de su aplicación. Principalmente reflejados en la disminución de errores y en la prevención de accidentes en los procesos en los que se aplican. Por un lado, la herramienta “poka-yoke” (H8) consiste en la aplicación al proceso productivo de dispositivos que evitan errores humanos (Hernández y Vizán, 2013). Luego la standardisation (H9) o trabajos estandarizados son esenciales para la búsqueda que persigue Lean en cuanto a trabajos concretos, eficientes y seguros (Swain y O’Connor, 2013). Por último, tanto increased visualisation (H3) como visual management (H10), son herramientas que a través de diferentes medios visuales y aplicados en diferentes fases de un proyecto de construcción, colaboran a través de la transparencia en la comunicación con la toma de conciencia en cuanto a medidas de salud y seguridad (Bashir et al., 2010).

En segundo lugar, se obtuvo un grupo de herramientas formado por 5 Why’s (H2), 5S (H1) y kaizen (H5). De acuerdo a la revisión bibliográfica realizada, estas tres herramientas se vinculan en el proceso de mejora continua. La implementación de kaizen (H5), representa un proyecto de mejora continua en sí misma. Para ello, se deben implementar diferentes técnicas de Lean Construction, incluidas 5S (H1) y 5 Why’s (H2) (Doolen et al., 2008).

El tercer grupo obtenido está compuesto por just in time (H4) y Kanban System (H6), herramientas que se consideran relacionadas y complementarias en la bibliografía analizada. Como establecen Hernández y Vizán (2013), Kanban system (H6) es la denominación de un sistema visual de control y programación sincronizada de la producción basado en tarjetas u otro tipo de señales que forma parte de la aplicación de JIT, Just In Time (H4).

Por último, el factor número 4 está compuesto exclusivamente por Last Planner® System (H7). Identificada en la presente investigación como la herramienta más utilizada en Iberoamérica, y con más menciones en la revisión bibliográfica analizada.

Barreras más influyente para la implementación en Iberoamérica

Con respecto a los análisis realizados sobre barreras, los resultados obtenidos reflejan que la falta de compromiso de la alta dirección (**B6**) es la barrera percibida por los encuestados con mayor influencia en la implementación de Lean Construction en Iberoamérica. Esta barrera ha resultado ser la más influyente en investigaciones realizadas en Nigeria (Lekan et al., 2018), Reino Unido (Sarhan y Fox, 2013), Uganda (Alinaitwe, 2009)

Este hecho toma aún más sentido al ser contrastado con la bibliografía analizada. Es Koskela (1992), uno de los “padres” de Lean Construction quien señala a el compromiso de la alta dirección como el factor más importante para la implementación de Lean Construction. El autor plantea que la única manera de llevar a cabo un cambio en la filosofía de gestión que atravesase a toda una compañía es a través de un liderazgo enfocado a mejorar cada actividad, el cambio se realiza a través de las personas. Si los directivos no se interiorizan en la comprensión de los principios Lean y se convencen de sus beneficios, la implementación se verá afectada ante la mínima barrera. El desarrollo de estrategias de implementación y capacitación a nivel organizacional a partir del compromiso y el liderazgo de la alta dirección son la base para una implementación exitosa y duradera en el tiempo (Salvatierra et al., 2015).

Influencia de las características del encuestado en la percepción sobre las barreras que existen para la implementación en Iberoamérica

A la hora de analizar estadísticamente los datos obtenidos en busca de identificar si algunas de las características de los encuestados tienen influencia en su percepción sobre posibles barreras para la implementación de Lean puede concluirse en base a los resultados que la misma es de baja incidencia. Es de importancia soslayar que, en la gran mayoría de los casos en los que se presentaron diferencias, los grupos comparados estaban de acuerdo con la barrera analizada solo que en menor medida. Esta situación se presenta de manera similar en la investigación realizada por Sarhan et al. (2018), en el Reino de Arabia Saudita, en la que habiendo caracterizado a los encuestados según tipo de empresa en la que se desempeñan, cargo, años de experiencia y nivel académico no obtuvieron diferencias significativas.

En el único caso en que se encontraron diferencias fue con respecto a la barrera relacionada a problemas de educación (B9) en la que los encuestados del sector de la edificación se mostraron en desacuerdo, mientras que los del sector de la ingeniería civil y la educación superior se mostraron de acuerdo con la existencia de esta barrera. Esta situación condice con el caso de estudio realizado por Vignesh, (2017), en un proyecto de edificación en la India, donde las barreras relacionadas a los problemas de educación fueron encontradas como menos influyentes, mientras que los problemas de comunicación entre contratistas, subcontratistas y proveedores, y la falta de compromiso por parte de los directivos fueron identificadas como los mayores problemas a la hora de implementar la herramienta Last Planner® System.

Correlación entre variables de barreras para la implementación de Lean Construction

Como resultado del análisis de correlación entre las variables de barreras para la implementación de Lean se lograron cuatro factores o grupos que se comentan a continuación.

El primero contiene barreras relacionadas a la adhesión a métodos tradicionales de gestión y el temor al cambio, entre ellas: cultura y actitud (B3), falta de compromiso de la alta dirección (B6), problemas de educación (B9), falta de comprensión de “principios Lean” (B8) y gestión tradicional (B4). Tres de las cinco barreras incluidas en este grupo son las identificadas en la presente investigación como las más influyentes y son las que describen la situación en Iberoamérica con respecto a la implementación de Lean.

Es probable que el origen de todas estas barreras provenga de un fenómeno o situación típica del sector de la construcción que es mantener las metodologías tradicionales de gestión y tener actitudes de rechazo hacia el cambio o desconfianza en la utilización de nuevas herramientas. Abdullah et al. (2009), plantean que mientras las empresas constructoras continúen utilizando sus técnicas de gestión tradicionales, cumpliendo sus objetivos previstos, es probable que siempre se opongan a realizar cambios, aunque estos mejoren su calidad y productividad. Siriwardena (2018) y Ranadewa y Sandanayake (2019),

le llaman a este tipo de barreras “inercia cultural” y consideran que son las barreras más incontrolables. Los autores proponen que la única manera de mitigar este efecto es a partir de estrategias precisas para la gestión del cambio en una empresa.

Por otro lado, la segunda agrupación de barreras que resulto del análisis está relacionada a características propias del sector de la construcción, en la que se incluyen las barreras de estrategias de contratación (B2) y fragmentación y subcontratación (B1).

Es posible decir que la elevada fragmentación de los proyectos en el sector de la construcción, proviene en gran medida por el sistema de contratación más utilizado que es licitación-proyecto-obra. La gran cantidad de subcontratas en un proyecto puede atentar contra la implementación debido a que esta depende de la colaboración y la buena comunicación entre las partes involucradas (Abdullah et al., 2009). Las múltiples capas de subcontratación, no solo atentan contra la implementación de principios Lean, sino que fomentan la falta de compromiso por las partes en cuanto a la calidad del producto final.

Martinez et al. (2019), plantean que este tipo de barreras podría mitigarse mediante el uso de contratos de tipo colaborativos, remplazando a los sistemas de contratación tradicionales donde el foco se pone en los costes y no en la calidad u otros valores.

El tercer grupo contiene barreras de base o estructurales: barreras gubernamentales (B11) y problemas financieros (B5). La falta de medidas de apoyo por parte del gobierno, inestabilidad socio-económica de un país sumado a los problemas financieros internos de una compañía pueden dificultar la decisión de invertir en implementar nuevas técnicas de gestión como Lean Construction. Para la implementación exitosa de Lean es necesario contar con fondos apropiados para realizar una inversión inicial. Esto puede incluir la adquisición de herramientas y equipos relevantes, proporcionar salarios suficientes, etc. (Small et al., 2017).

Por otro lado, la inconsistencia en las políticas gubernamentales genera un impacto negativo en la planificación de las empresas constructoras. Si a esto se le suman aspectos como inflación, inestabilidad social, endeudamiento, corrupción, se obtienen escenarios difíciles para la implementación de nuevas técnicas de gestión (Alinaitwe, 2009).

Bajjou y Chafi (2018), plantean que ambas barreras aunque son más recurrentes en países en vías de desarrollo, dependen de la situación actual y el contexto económico y social de cada país. En la presente investigación los resultados muestran que son las barreras con menor influencia en Iberoamérica.

Por último, el cuarto grupo resulta formado barreras relacionadas a la falta de visión global sobre los proyectos, como: dicotomía diseño-construcción (B7) y falta de sistemas de medición de desempeño.

La falta de sistemas de medición de desempeño enfocada en el cliente y los problemas que surgen en un proyecto por la falta de integración y comunicación entre las fases de diseño y construcción tienen en común la falta de visión global sobre el proyecto las estrategias de contratación de obras.

En la gran mayoría de los proyectos, con estrategias de contratación tradicionales, el diseño y la construcción o implementación del diseño se tratan por separado. Esto puede acarrear problemas de planificación, pérdida de tiempo y aumento de costes innecesarios (Sarhan y Fox, 2013). Además, en estos casos, el desempeño suele medirse en función de tiempo y costes, aspecto que colabora con la mejora continua (Alarcón et al., 2008). De manera análoga a lo planteado por Martinez et al. (2019), los autores Shang y Sui Pheng (2014), recomiendan la implementación de contratos colaborativos para mitigar este tipo de barreras, incluyendo contratistas en etapas de diseño y buscando la generación de cultura colaborativa en el proyecto.

Relación entre variables de herramientas Lean y barreras para su implementación

La última pregunta de investigación planteada vincula a los grupos de variables de herramientas y barreras para su implementación. Los resultados a la hora de analizar posibles asociaciones de dependencia entre las variables que explican la percepción de la frecuencia de uso de herramientas Lean Construction con las variables de barreras para su implementación reflejan 4 pares de asociaciones:

1. H5 (Kaizen) – B5 (problemas Financieros)
2. H7 (Last Planner System) – B7 (Dicotomía Diseño-Construcción)
3. H10 (Visual Management) – B3 (Cultura y actitud del personal)
4. H10 (Visual Management) – B7 (Dicotomía Diseño-Construcción)

A pesar de ello, al analizar el nivel de dependencia, los resultados muestran que las asociaciones son de baja intensidad. En los pares de variables Kaizen (H5) – problemas financieros (B5) y visual management (H10) – dicotomía diseño-construcción (B7), la relación de dependencia resultó ser de dirección negativa. Considerando que tanto kaizen (H5) como visual management (H10) resultaron ser dos de las herramientas identificadas en esta investigación como las más utilizadas, podría establecerse que el resultado indica que las barreras de problemas financieros (B5) y dicotomía diseño-construcción (B7) tienen una baja influencia para la implementación de estas herramientas. Situación que coincide con los resultados obtenidos por Sarhan y Fox (2013) en Reino Unido y Sarhan et al. (2018) en Reino de Arabia Saudita donde los problemas financieros y la dicotomía diseño-construcción resultaron ser las barreras con menos influencia.

Por otro lado, las relaciones de dependencia de los pares de variables Last Planner[®] System (H7) – dicotomía diseño-construcción (B7) y visual management (H10) – cultura y actitud del personal (B3) resultaron con dirección positiva. Situación que podría interpretarse como el hecho de que por más que sean identificadas por los encuestados como barreras influyentes para la implementación de Lean, no influyen particularmente a estas dos herramientas, considerando que son las que se utilizan con mayor frecuencia, según la presente investigación.

Por más que Last Planner[®] System (H7) sea la herramienta de Lean más utilizada en la actualidad, hay estudios que muestran la presencia de barreras para su correcta implementación, que no están particularmente relacionadas con las asociadas a la dicotomía entre diseño y construcción (B7). Los estudios realizados por Khanh y Kim (2016), en Vietnam muestran que la implementación ineficaz de esta herramienta en su país, se debe principalmente a la falta de comunicación entre las partes involucradas en los proyectos, sobretodo en proyectos de gran escala, y a la falta de comprensión de los aspectos necesarios para su correcta implementación. Los estudios de Jang et al. (2007), realizados en Corea del Sur, revelan que los compromisos sobre-exigidos en la planificación semanal, la falta de tareas estandarizadas, la falta de análisis en las tareas no completadas son algunas de las barreras que atentan contra la buena implementación de la herramienta. Otras barreras encontradas fueron la falta de soporte contractual para su implementación, falta de experiencia (Kim y Jang, 2006), falta de capacitación en jefes de obras y capataces (Kim y Park, 2006), falta de involucración por parte de todas las partes del proyecto a la hora de realizar el plan maestro (Hamzeh y Kallassy, 2016) y falta de una cultura organizacional que fomente el uso nuevas técnicas de gestión (Kim y Jang, 2016).

Por otro lado, las barreras que afectan a la implementación de visual management (H10) no se relacionan con la cultura y actitud del personal sino son otras, como la falta de conocimiento sobre la herramienta, la visión limitada sobre la misma a pensar que sólo implica el uso de tableros para representar rendimientos y principalmente la dificultad para cuantificar los beneficios en términos económicos de su implementación (Tezel et al., 2016).

6. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

6.1. Conclusiones

El objeto de la presente investigación es el análisis de las posibles barreras que existen para la implementación de Lean Construction en la región Iberoamericana. Para lograrlo se establecieron los siguientes objetivos específicos:

- Identificar y analizar barreras para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción a escala mundial.
- Identificar las principales herramientas de Lean Construction relacionadas a las barreras de implementación de esta metodología.
- Identificar y analizar barreras para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en Iberoamérica.
- Comparar y contrastar la situación actual sobre la implementación de Lean Construction entre el escenario global y el iberoamericano.
- Establecer conclusiones y recomendar acciones para eliminar o mitigar el efecto de las barreras encontradas

En base a los objetivos planteados, la revisión de la literatura realizada, a los datos obtenidos a partir de encuestas y los análisis estadísticos de los mismos, se establecen las siguientes conclusiones:

- El sector de la construcción cumple un rol determinante en el desarrollo de los países a nivel global. Debido a las características singulares del sector y a la gran cantidad de desperdicios en sus procesos, existe un margen de mejora en términos de productividad. Sobre todo, si se lo compara con otros sectores como el industrial o agropecuario. En el caso de Iberoamérica el desempeño del sector de la construcción tiene un gran impacto en el crecimiento económico y social por lo que la mejora en la productividad es una oportunidad para la mejora en la calidad de vida de la sociedad, más aún en momentos de crisis como los que atraviesa la región en la actualidad.
- Los beneficios que resultan de la aplicación de herramientas de Lean Construction en proyectos de construcción se sustentan en numerosos artículos de investigación y casos de estudios publicados. Los mismos se hacen visibles el cumplimiento de los plazos de entrega, mayor calidad de construcción, menos imprevistos, menos accidentes laborales, menos errores, mayor productividad, reducción de costes, mayores beneficios económicos, mejor gestión de la información, satisfacción del cliente, entre otros.
- Las barreras más influyentes para la correcta implementación de Lean Construction a escala mundial son barreras educacionales. Este tipo de barrera está asociada principalmente a la falta de capacitación sobre técnicas Lean, a la falta de comprensión de sus principios y a la falta de transferencia de los conocimientos. Es indispensable la formación específica en aspectos Lean en todos los niveles jerárquicos de las empresas para una implementación eficiente.
- Se encontraron más de 40 herramientas de Lean Construction en los artículos analizados sobre barreras para su implementación a nivel global, mientras que las herramientas más investigadas e implementadas son Last Planner[®] System, 5S y visual management.
- Las barreras de mayor influencia para la implementación de Lean Construction en Iberoamérica son las relacionadas a la falta de compromiso de la alta dirección. La implementación exitosa de

Lean Construction o cualquier otra estrategia innovadora debe ser promovida por la alta dirección de la empresa. Este tipo de barreras tienen un gran contenido de carga cultural asociado al uso de metodologías tradicionales de gestión, actitudes de rechazo hacia el cambio o desconfianza en la utilización de nuevas herramientas. La mitigación de este tipo de barreras puede resultar de gran complejidad, o al menos llevar más tiempo que otras barreras, como la falta de capacitación.

- A la hora de contrastar los escenarios encontrados a nivel mundial e iberoamericano puede concluirse que en términos de herramientas de Lean Construction utilizadas con mayor frecuencia, ambos panoramas se asemejan. En los dos casos Last Planner System, 5S y visual management son las herramientas que se utilizan con más frecuencia.

Sin embargo, si se comparan los escenarios en términos de barreras para la implementación, se encuentran diferencias, considerando que, en el panorama mundial la falta de educación es la barrera más importante mientras que en el iberoamericano ocupa uno de los lugares más bajos. Lo que puede relacionarse a que al haber un grado de implementación un tanto menor en Iberoamérica, salvo Chile y Brasil, las barreras relacionadas a la falta de compromiso con el cambio por parte de los directivos, la acepción a conceptos de gestión tradicional, falta de cultura de cambio parecen tener mayor orden de prioridad que la capacitación específica en Lean. Se entiende que más allá de la necesidad de formarse y capacitarse a la hora de aplicar una nueva técnica como Lean, resultará difícil su implementación de manera eficiente en una empresa sin el compromiso, la convicción y el apoyo por parte de los directivos de esta.

6.2. Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos sobre las principales barreras que afectan a la implementación de Lean Construction en Iberoamérica, y considerando el tipo de acciones que podrían mitigarlas, se establecen las siguientes recomendaciones:

En relación a los organismos del estado que regulan la educación, las obras públicas y privadas de cada uno de los países de la región, se recomienda:

- Inclusión de aspectos de Lean Construction en asignaturas de titulaciones de grado relacionadas con la construcción tales como arquitectura, ingeniería civil, edificación, etc..
- Fomentar la creación de posgrados en Lean Construction en instituciones públicas y privadas.
- Integrar la implementación de Lean Construction como un requisito en sistemas de contratación tanto públicos como privados.
- Fomentar el uso de contratos de tipo colaborativos.

Con respecto a las empresas iberoamericanas que implementan o comienzan a implementar Lean Construction se recomienda :

- La capacitación en todos los niveles jerárquicos de la empresa, constancia, visión a largo plazo y el fomento de la cultura de mejora continua.

6.3. Limitaciones

Las limitaciones del presente trabajo de fin de máster se encuentran en la representatividad de la muestra. De los 19 países que conforman Iberoamérica, han participado investigadores y profesionales de 10 nacionalidades diferentes. Este hecho se relaciona a la baja o nula implementación e investigación en muchos de los países iberoamericanos. Además de las 108 respuestas recibidas, el 80% de las mismas provino de encuestados de Brasil, Chile, Colombia y Perú.



6.4. Futuras líneas de investigación

A partir de la investigación realizada y los resultados obtenidos se pueden establecer los siguientes lineamientos para futuras investigaciones relacionadas:

- Análisis de barreras para la implementación de Lean en cada uno de los países de Iberoamérica.
- Análisis de factores de éxito para la implementación de Lean Construction en países pioneros.
- Análisis comparativos del nivel de implementación, factores de éxito y barreras existentes en diferentes periodos temporales.

7. REFERENCIAS

- Abdullah, S., Abdul Razak, A., Sarrazin Mohammad, I., Hassan Abu Bakar, A., y Sarrazin, I. (2009). *Towards Producing Best Practice in the Malaysian Construction Industry: The Barriers in Implementing the Lean Construction Approach*.
- Adamu, I., y Howell, G. (2012). Applying last planner in the Nigerian construction industry. *In the Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, EE. UU.*
- Adegbembo, F. T., Bamisaye, O. P., y Aghimien, D. O. (2016). Assessment of lean construction practice in the Nigerian construction industry. *In Proceedings of the Joint International Conference (JIC) on 21st Century Human Habitat: Issues, Sustainability and Development*, 756-764.
- Ahiakwo, O., Oloke, D., Suresh, S., y Khatib, J. (2013). A case study of last planner system implementation in Nigeria. *In Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Fortaleza, Brazil.*, 699-707.
- Aigbavboa, C., Oke, A., y Momoti, T. (2016). Drivers and barriers of lean construction practice in South African construction industry. *In 2016 International Conference on Innovative Production and Construction*, 195-201.
- Al-Aomar, R. (2012). Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry. *Lean Construction Journal*, 2012, 105-121.
- Alarcón, L. F. (1997). *Lean Construction*. CRC Press.
- Alarcón, L. F., Diethelm, S., Rojo, O., y Calderón, R. (2008). Assessing the impacts of implementing lean construction. *Revista ingeniería de construcción*, 23(1), 26-33. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732008000100003>
- Alarcon, L. F., Donaire, N., Galleguillos, M., Herrera V., R., Lagos, C., y Rodriguez, I. (2017). *Lean Construction: Manual Práctico de Herramientas*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Alarcón, L. F., y Pellicer, E. (2009). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin perdidas. *Revista de Obras Públicas*, 46, 90-103.
- Alinaitwe, H. M. (2009). Prioritising Lean Construction Barriers in Uganda 's Construction Industry. *Journal of construction in developing countries*, 14(1).
- Alsehaimi, A. O., Fazenda, P. T., y Koskela, L. (2014). Improving construction management practice in saudi arabia with the Last Planner System: a case study. *Engineering Construction y Architectural Management*, 21(1), 1-23. <https://doi.org/10.1108/ECAM-03-2012-0032>
- Alsehaimi, A., Tzortzopoulos, P., y Koskela, L. (2017). Last planner system: experiences from pilot implementation in the Middle East. *In the Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan*, 53-66.
- Arleroth, J., y Kristensson, H. (2011). *Waste in Lean Construction – A case study of a PEAB construction site and the development*. Chalmers University of Technology.
- Assaf, S. A., y Al-hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management*, 24(4), 349-357.



- Bajjou, M. S., y Chafi, A. (2018). Lean construction implementation in the Moroccan construction industry. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 16(4), 533-556. <https://doi.org/10.1108/JEDT-02-2018-0031>
- Bajjou, M. S., y Chafi, A. (2018). Barriers of lean construction implementation in the Moroccan construction industry. *In AIP Conference Proceedings*, 1952(1), 0256 1-0256 7.
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of production control*. University of Birmingham.
- Ballard, G., y Howell, G. (1995). Toward Construction JIT. *Lean construction journal*, 291-300.
- Bashir, A., Suresh, S., Proverbs, D., y Gameson, R. (2010). Barriers towards the sustainable implementation of lean construction in the United Kingdom construction organizations. *In Arcom Doctoral Workshop, University of Wolverhampton, UK*, 1-8.
- Beusch, A., Edmonds, G. A., y Tajgman, D. (2019). *Developing the construction industry for employment-intensive infrastructure investments*. International Labor Organization.
- Brown, S., Barbosa, F., Woetzel, J., y Mischke, J. (2017). Reinventing Construction: A Route To Higher Productivity. En *McKinsey Global Institute*.
- Cano, S., Delgado, J., Botero, L., y Rubiano, O. (2015). Barriers and success factors in lean construction implementation: survey in pilot context. *In the Proceedings of the 23th Annual Conference of the Internacional Group for Lean Construction, Perth, Australia*, 631-341.
- Carneiro, S. B. M., Campos, I. B., De Oliveira, D. M., y Neto, J. P. B. (2012). Lean and green: A relationship matrix. *In the Proceedings of the 20th Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, EE. UU.*
- CEPAL. (2018). *Estudio Económico de América Latina y el Caribe 2018. Evolución de la inversión en América Latina y el Caribe: hechos estilizados, determinantes y desafíos de política*. CEPAL.
- CEPALSTAT *Estadísticas e Indicadores*. (s.f.). Recuperado 5 de mayo de 2021, de https://estadisticas.cepal.org/cepalstat/web_cepalstat/estadisticasIndicadores.asp?idioma=e
- Christensen, R., Greenhalgh, S., y Thomassen, A. (2019). When a business case is not enough, Motivation to work with Lean. *In the Proceedings of the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Dublin, Irlanda*, 275-286.
- Čiarnienė, R., y Vienažindienė, M. (2015). An Empirical Study of Lean Concept Manifestation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 207, 225-233. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.10.091>
- Common, G., Johansen, E., y Greenwood, D. (2000). A survey of the take-up of lean concepts among UK construction companies. *In Proceedings of the 8th International Group for Lean Construction Annual Conference, Brighton, United Kingdom*.
- Cullen, P. A., Butcher, B., Hickman, R., Keast, J., y Valadez, M. (2005). The application of lean principles to in-service support: a comparison between construction and the aerospace and defence sectors. *Lean Construction Journal*, 2, 87-104.
- De la Fuente, S. (2011). *Análisis Factorial*. Universidad Autónoma de Madrid, Ciencias económicas y empresariales.
- Doanh, D. (2017). *What is Continuous Improvement (Kaizen)?* <https://theleanway.net/what-is-continuous-improvement>



- Doolen, T. L., Van Aken, E. M., Farris, J. A., Worley, J. M., y Huwe, J. (2008). Kaizen events and organizational performance: A field study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 57(8), 637-658. <https://doi.org/10.1108/17410400810916062>
- Enshassi, A., Saleh, N., y Mohamed, S. (2019a). Application level of lean construction techniques in reducing accidents in construction projects. *Journal of Financial Management of Property and Construction.*, 24(3), 274-293. <https://doi.org/10.1108/JFMPC-08-2018-0047>
- Enshassi, A., Saleh, N., y Mohamed, S. (2019b). Barriers to the application of lean construction techniques concerning safety improvement in construction projects. *International Journal of Construction Management*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1602583>
- Enshassi, A., y Zaiter, M. A. (2014). Implementation of lean tools on safety in construction projects in Palestine. In *Proceedings of the 22nd annual conference of the International Group of Lean Construction, Oslo, Norway*, 1205-1218.
- Eriksson, P. E. (2009). A case study of partnering in Lean Construction. *Nordic Conference on Construction Economics and Organisation. University of Reykjavik*, 1-16.
- Erol, H., Dikmen, I., y Birgonul, M. T. (2017). 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*, 23(2), 241-251. <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1068846>
- Fernández, S., y Díaz, S. (2004). Asociación de variables cualitativas: test de Chi-cuadrado. *Metodología de la Investigación*, 1(5), 1-5.
- Field, A. (2013). *Discovering statistics using SPSS*. Sage.
- Frías Navarro, D. (2019). Apuntes de SPSS. En *Universidad de Valencia, España*.
- George, D., y Mallery, P. (2019). *IBM SPSS statistics 26 step by step: A simple guide and reference*. Routledge.
- Ghassemi, R., y Becerik-Gerber, B. (2011). Transitioning to integrated project delivery: Potential barriers and lessons learned. *Lean construction journal*, 32-52.
- Gündüz, M., Nielsen, Y., y Özdemir, M. (2013). Quantification of delay factors using the relative importance index method for construction projects in Turkey. *Journal of Management in Engineering*, 29(2), 133-139. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000129](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000129)
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., y Anderson, R. E. (2013). *Multivariate data analysis*. Pearson Education Limited.
- Hamzeh, F., y Kallassy, J. (2016). The first extensive implementation of lean and LPS in Lebanon: results and reflections. In *the Proceedings of the 24th annual conference of the international group for lean construction, Boston, EE. UU*, 33-42.
- Harper, D. G., Bernold, L. E., y Asce, M. (2005). Success of Supplier Alliances for Capital Projects. *Journal of construction engineering and management*, 131(9), 979-985. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131)
- Hernández, J., y Vizán, A. (2013). *Lean manufacturing Conceptos, técnicas e implantación medio ambiente industria y energía*. EOI.
- Hines, P., Holwe, M., y Rich, N. (2004). Learning to evolve: A review of contemporary lean thinking.



- International Journal of Operations and Production Management*, 24(10), 994-1011. <https://doi.org/10.1108/01443570410558049>
- Hirota, E., y Formoso, C. (1998). Some directions for developing construction management training programmes on lean construction. *In Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Sao Paulo, Brazil*, 13-15.
- Hopp, W. J., y Spearman, M. L. (2004). To pull or not to pull: What is the question? *Manufacturing and Service Operations Management*, 6(2), 133-148. <https://doi.org/10.1287/msom.1030.0028>
- Hussain, K., He, Z., Ahmad, N., y Muhammad, S. (2019). Green, Lean, Six Sigma barriers at a glance : A case from the construction sector of Pakistan. *Building and Environment*, 161(106225), 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106225>
- IGLC.net - Index*. (s. f.). Recuperado 2 de mayo de 2021, de <https://www.iglc.net/Papers>
- Ilozor, B. D., y Kelly, D. J. (2012). Building Information Modeling and Integrated Project Delivery in the Commercial Construction Industry: A Conceptual Study. *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, 2(1), 23-36. <https://doi.org/10.32738/jepm.201201.0004>
- Issa, U. H. (2013). Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), 697-704. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.07.003>
- Jang, J. W., Kim, Y.-W., Park, C. J., y Jang, W. S. (2007). Importance of partners in a challenging lean journey. *In Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Michigan, USA*, 465-474.
- Johansen, E., y Walter, L. (2007). Lean construction: prospects for the German construction industry. *Lean construction journal*, 3, 19-32.
- Jones, D. T., y Womack, J. P. (2012). *Lean Thinking*. Gestión 2000.
- Kaizen glossary definitions*. (s. f.). Recuperado 15 de marzo de 2021, de <https://www.kaizen.com/learn-kaizen/glossary.html>
- Khaba, S., y Bhar, C. (2017). Modeling the key barriers to lean construction using interpretive structural modeling. *Journal of Modelling in Management*, 12(4), 652-670. <https://doi.org/10.1108/JM2-07-2015-0052>
- Khanh, H. D., y Kim, S. Y. (2016). A Survey on Production Planning System in Construction Projects Based on Last Planner System. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(1), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-1412-y>
- Kim, D., y Park, H. (2006). Innovative Construction Management Method : Assessment of Lean Construction Implementation. *KSCE journal of Civil Engineering*, 10(6), 381-388.
- Kim, Y., y Jang, J. (2016). Case study: An application of last planner to heavy civil construction in Korea. *In Proceedings of the 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Sidney, Australia*, 405-411.
- Kim, Y. W., y Jang, J. W. (2006). Implementing Last Planner: Tunnel Construction Project. *Korean Journal of Construction Engineering and Management*, 7(4), 146-153.
- Kirman, S. S. (1988). *The Construction Industry in Development Issues and Options*. The World Bank.



- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Stanford University.
- Koskela, L. (1994). Lean production in construction. *In Proceedings of the 10th ISARC, Houston, USA*, 47-54.
- Koskela, L., y Forgues, D. (2009). The influence of a collaborative procurement approach using integrated design in construction on project team performance. *International Journal of Managing Projects in Business*, 2(3), 370-385. <https://doi.org/10.1108/17538370910971036>
- Koskela, L., Howell, G., Ballard, G., y Tommelein, I. (2002). The foundations of lean construction. *Design and construction: Building in value*, 291, 211-226. <https://doi.org/10.4324/9780080491080>
- Kovvuri, P. R. R., Sawhney, A., Ahuja, R., y Sreekumar, A. (2016). Efficient Project Delivery Using Lean Principles - An Indian Case Study. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 97(1), 19-26. <https://doi.org/10.1007/s40030-016-0142-6>
- lean - English-Spanish Dictionary - WordReference.com*. (s. f.). Recuperado 15 de febrero de 2021, de <https://www.wordreference.com/es/translation.asp?tranword=lean>
- Lekan, A., Oluchi, E., Faith, O., Opeyemi, ; J Joshua, Adedeji, A., y Rapahel, O. (2018). Creating sustainable construction: Building informatics modelling and lean construction approach. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 31(10), 3025-3035.
- Leonard, D. (2006). Building quality at veridian homes. *Quality Progress*, 39(10), 49-54.
- Liu, L., Georgakis, P., y Nwagboso, C. (2007). A theoretical framework of an integrated logistics system for UK construction industry. *In 2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics*, 1812-1817.
- Martinez, E., Reid, C. K., y Tommelein, I. D. (2019). Lean construction for affordable housing: a case study in Latin America. *Construction Innovation*, 19(4), 570-593. <https://doi.org/10.1108/CI-02-2019-0015>
- Mattos, D., Moreira, R. M., Alberto, S., Lordelo, V., Goyannes, R., Rodrigues, J., Filho, D. F., Polonia, F. M., y Rodrigues, L. T. (2016). Project Automation Application With Lean Philosophy at the Construction of Oil Refining Unit. *Brazilian Journal of Operations y Production Management*, 13(1), 124-136. <https://doi.org/10.14488/BJOPM.2016.v13.n1.a15>
- Mejía-Plata, C., Guevara-Ramirez, J. S., Moncaleano-Novoa, D. F., Londoño-Acevedo, M. C., Rojas-Quintero, J. S., y Ponz-Tienda, J. L. (2016). A route map for implementing Last Planner System in Bogotá, Colombia. *In the Proceedings of the 24th annual conference of the international group for lean construction, Boston, EE. UU.*
- Mendivelso, F., y Rodríguez, M. (2018). Prueba Chi-Cuadrado de independencia aplicada a s 2xN. *Revista Médica Sanitas*, 21(2), 92-95. <https://doi.org/10.26852/01234250.6>
- Mokhtariani, M., Sebt, M. H., y Davoudpour, H. (2017). Characteristics of the Construction Industry from the Marketing Viewpoint: Challenges and Solutions. *Civil Engineering Journal*, 3(9), 701-714. <https://doi.org/10.21859/cej-03097>
- Moon, H., Yu, J. H., y Kim, C. D. (2007). Performance Indicators Based on TFV Theory. *In the Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Michigan, EE. UU.*
- Mossman, Alan. (2018). What is lean construction: Another look - 2018. *In the Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Chennai, India*, 1240-1250. <https://doi.org/10.24928/2018/0309>
-



- Mossman, A. (2009). Why isn't the UK construction industry going lean with gusto? *Lean Construction Journal*, 24-36.
- Murata, K., Tezel, A., Koskela, L., y Tzortzopoulos, P. (2017). An Application of Control Theory to Visual Management for Organizational Communication in Construction. *In the Proceedings of the 25th annual conference of the international group for lean construction, Heraklion, Greece.*
- Nahmens, I., y Ikuma, L. H. (2009). An empirical examination of the relationship between lean construction and safety in the industrialized housing industry. *Lean Construction Journal*, 2009, 1-12.
- Naim, A., Asri, M., Nasrun, M., y Nawir, M. (2015). Actualizing Lean Construction : Barriers Toward the Implementation. *Advances in Environmental Biology*, 9(5), 172-174.
- Neeraj, A., Rybkowski, Z. K., Fernández-Solís, J. L., Hill, R. C., Tsao, C., Seed, B., y Heinemeier, D. (2016). Framework linking lean simulations to their applications on construction projects. *In the Proceedings of the 24th annual conference of the international group for lean construction, Boston, EE. UU*, 3-12.
- Ofori, G. (2012). *Contemporary Issues in Construction in Developing Countries*. Routledge.
- Pandithawatta, T. P. W. S. I., Zainudeen, N., y Perera, C. S. R. (2020). An integrated approach of Lean- Green construction : Sri Lankan perspective. *Built Environment Project and Asset Management.*, 10(2), 200-214. <https://doi.org/10.1108/BEPAM-12-2018-0153>
- Pardo, A., y Ruiz, M. . (2002). *SPSS 11. Guía para el Análisis de datos*. McGraw-Hill.
- Pellicer, E., Cerveró, F., Lozano, A., y Ponz-Tienda, J. L. (2015). The Last Planner System of Construction Planning and control as a Teaching and Learning Tool. *INTED2015 Proceedings, 9th International Technology, Education and Development Conference.*, 4877-4884.
- Perera, S., Davis, S., y Marosszeky, M. (2011). Interventions in effecting change towards lean for Australian building contractors: Defect management as a case of reference. *In the Proceedings of the 19th Conference of the International Group for Lean Construction, Lima, Peru*, 520-529.
- Perez, A. M., y Ghosh, S. (2018). Barriers faced by new-adopter of Last Planner System[®] : a case study. *Engineering, Construction and Architectural Management.*, 25(9), 1110-1126. <https://doi.org/10.1108/ECAM-08-2017-0162>
- Pheng, L. S., y Shang, G. (2011). The application of the Just-in-Time philosophy in the Chinese construction industry. *Journal of Construction in Developing Countries*, 16(1), 91-111.
- Polat, G., y Ballard, G. (2014). How to promote off-site fabrication practice of rebar in Turkey? *In the Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Santiago, Chile*, 279-290.
- Pons Achell, J. F. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Fundación laboral de la construcción.
- Porwal, V., Fernandez-Solis, J., Lavy, S., y Rybkowski, Z. K. (2010). Last planner system implementation challenges. *In the Proceedings of the 18th Conference of the International Group for Lean Construction, Haifa, Israel*, 548-554.
- Primayuda, V. D., Hatmoko, J. U. D., y Hermawan, F. (2019). Exploring Lean Construction for Housing Projects: A Literature Review. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 6-12.
- Ranadewa, T., y Sandanayake, Y. G. (2019). Lean enabling human capacity building of small and medium contractors in Sri Lanka. *In the Proceedings of the 8th World Construction Symposium, Colombo, Sri Lanka*.



- Lanka, 400-410. <https://doi.org/10.31705/WCS.2019.40>
- Rodríguez Fernández, A., Alarcón, L. F., y Pellicer, E. (2011). La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador. *Revista de Obras Publicas*, 158(3518), 35-44.
- Rodríguez, J. M. (2019). *España en cifras 2019*. Instituto Nacional de Estadística.
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., y Minkarah, I. (2006). Lean Construction: From Theory to Implementation. *Journal of Management in Engineering*, 22(4), 168-175. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0742-597x\(2006\)22:4\(168\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0742-597x(2006)22:4(168))
- Salifu-Asubay, E. K., y Mensah, C. A. (2015). Improving Delivery of Construction Projects in Ghana's Cities: A Lean Construction Approach. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 6(1), 1-15.
- Salvatierra, J. L., Alarcón, L. F., López, A., y Velásquez, X. (2015). Lean diagnosis for chilean construction industry: Towards more sustainable Lean practices and tools. *In the Proceedings of the 23th Annual Conference of the Internacional Group for Lean Construction, Perth, Australia*, 642-651.
- Sarhan, J., Xia, B., Fawzia, S., y Karim, A. (2018). Barriers to implementing lean construction practices in the Kingdom of Saudi Arabia (KSA) construction industry. *Construction Innovation*, 18(2), 246-272. <https://doi.org/10.1108/CI-04-2017-0033>
- Sarhan, S., y Fox, A. (2012). Trends and challenges to the development of a lean culture among UK construction organisations. *In the Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, EE. UU.*
- Sarhan, S., y Fox, A. (2013). Barriers to Implementing Lean Construction in the UK Construction Industry. *The Built y Human Environment Review*, 6, 1-17.
- Seed, W. R. (2015). *Transforming Design and Construction: A Framework for Change*. Lean Construction Institute.
- Senior, B. A., y Rodríguez, T. A. (2012). Analyzing Barriers to Construction Productivity Improvement in the Dominican Republic. *In the Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, EE. UU.*, 1(970), 18-20.
- Shammas-Toma, M., Seymour, D., y Clark, L. (1998). Obstacles to implementing total quality management in the UK construction industry. *Construction Management and Economics*, 16(2), 177-192. <https://doi.org/10.1080/014461998372475>
- Shang, G., y Sui Pheng, L. (2014). Barriers to lean implementation in the construction industry in China. *Journal of Technology Management in China*, 9(2), 155-173. <https://doi.org/10.1108/jtmc-12-2013-0043>
- Singh, S., y Kumar, K. (2020). A study of lean construction and visual management tools through cluster analysis. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 1153-1162. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.04.019>
- Siriwardena, M. (2018). Enabling lean among small and medium enterprise (SME) contractors in Sri Lanka. *In the Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Chennai, India*, 392-401.
- Small, E. P., Al, K., y Al, H. (2017). Examination of Opportunities for Integration of Lean Principles in Construction in Dubai. *Procedia Engineering*, 196, 616-621.
-



<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.049>

- Smith, J. P., y Ngo, K. (2017). Implementation of lean practices among finishing contractors in the US. *In the Proceedings of the 25th annual conference of the international group for lean construction, Heraklion, Greece*, 421-428. <https://doi.org/10.24928/2017/0182>
- Swain, B., y O'Connor, R. (2013). *Implementing Lean in construction*. CIRIA.
- Tayeh, B. A., Hallaq, K. Al, Faqawi, A. H. Al, Alaloul, W. S., y Soo, Y. (2018). Success Factors and Barriers of Last Planner System Implementation in the Gaza Strip Construction Industry. *The Open Construction y Building Technology Journal*, 12(1), 389-403. <https://doi.org/10.2174/1874836801812010389>
- Teicholz, P. (2004). Labor productivity declines in the construction industry: causes and remedies. *AECbytes Viewpoint*, 67(4), 14.
- Tezel, A., Aziz, Z., Koskela, L., y Tzortzopoulos, P. (2016). Visual Management condition in highways construction projects in England. *In the Proceedings of the 24th annual conference of the international group for lean construction, Boston, EE. UU*, 133-142.
- Vignesh, C. A. (2017). A case study of implementing last planner system in Tiruchirappalli District of Tamil Nadu-India. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 1918-1927.
- Vimal Kumar, U., y Ramasamy, G. (2013). A critical study of various lean techniques in practice and developing a framework for different construction building projects. *Alexandria Engineering Journal*, 52, 679-695.
- Vivan, A. L., Ortiz, F. A. H., y Paliari, J. C. (2016). Model for Kaizen project development for the construction industry. *Gestão y Produção*, 23(2), 333-349. <https://doi.org/10.1590/0104-530x2102-15>
- Wilkinson, S., Chang-Richards, A. Y., Sapeciay, Z., y Costello, S. B. (2016). Improving construction sector resilience. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 7(2), 173-185. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-04-2015-0020>
- Yagual Velástegui, A. M., Lopez Franco, M. L., Sánchez León, L., y Narváez Cumbicos, J. G. (2018). La contribución del sector de la construcción sobre el producto interno bruto PIB en Ecuador. *Revista Lasallista de Investigación*, 15(2), 286-299. <https://doi.org/10.22507/rli.v15n2a22>



8. ANEJOS



8.1. ANEJO 1: Revisión bibliográfica sobre herramientas y barreras en Lean Construction

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
(Ahiakwo et al., 2013)	A case study of Last Planner System implementation in Nigeria	Nigeria	Last Planner [®] System	Falta de compromiso hacia el cambio y la innovación	B4
				Comenzar la implementación a la mitad del inicio del proyecto.	B7
(Alarcón et al., 2008)	Assessing the impacts of implementing lean construction	Chile	Last Planner [®] System	Falta de tiempo para implementar nuevas prácticas en proyectos comenzados	B4
				Falta de entrenamiento	B9
				Problemas organizacionales	B6
				Falta de autocrítica	B3
				Falta de comprensión de los conceptos de LPS	B9
				Poco uso de los diferentes elementos de LPS	
				Administración inadecuada de la información para generar un "ciclo de aprendizaje" y tomar acciones correctivas.	B10
				Falta de comunicación y transparencia entre los participantes del proceso de producción.	B1
Falta de integración de la cadena de suministros	B1				
(Alinaitwe, 2009)	Prioritising Lean Construction Barriers in	Uganda		No mantener los elementos necesarios en los lugares correctos	B9
				Diseños ineficientes	B7



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
	Uganda's Construction Industry.			Gestión participativa con la mano de obra	B6
				Falta de Liderazgo	B6
				Falta de Estandarización	B9
				Falta de compromiso laboral constante	B3
				Falta de comunicación entre los equipos	B1
				Falta de comprensión de las necesidades de los clientes: internas y externas.	B6
				Falta de habilidades de trabajo en equipo	B6
				Falta de objetivos bien definidos en los equipos	B6
				Contratos y procedimientos	B2
				Calidad de los materiales	B5
				Falta de capacidad para medir el desempeño y el rendimiento del equipo	B10
				Capacidad de los equipos para mantener coordinar con otros equipos.	B3
				Mejora continua	B9
				Ejecución paralela de diferentes tareas de desarrollo en equipos multidisciplinares	B9
				Participación de clientes y proveedores	B3
Cultura de grupo, visión compartida y consenso compartido	B3				
Disposición multifuncional en el lugar de trabajo	B9				



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Sistemas de recompensas basados en los objetivos de los equipos.	B10
				Falta de prevención de errores	B10
				Suministro de puntos de referencia	B9
				Certeza en el proceso de producción, es decir, confiabilidad del flujo de trabajo	B9
				Suministro de entradas solo cuando sea necesario, es decir, programación impulsada por extracción	B9
				Falta de planificación previa precisa	B6
				Conocimientos y habilidades de los trabajadores.	B9
				Prefabricación	B3
				Certeza en la cadena de suministro	B1
				Infraestructura en transporte y comunicaciones	B9
				Cultura organizacional que apoya el trabajo en equipo	B3
				Precios estables de los productos básicos	B11
(Alsehaimi et al., 2014)	Improving construction management practice with the Last Planner System: a case study	Arabia Saudita	Last Planner® System	Procedimiento de aprobación prolongado por el cliente	B3
				Aspectos culturales	B3
				Compromiso y actitud con el tiempo	B3
				Visión a corto plazo	B4
				Excesiva subcontratación	B1



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
(Bajjou, M. S., y Chafi, 2018)	Lean construction implementation in the Moroccan construction industry: Awareness, benefits and barriers	Marruecos	Just in time (JIT)	Falta de conocimiento sobre Lean	B8
			Kanban system	Técnicas constructivas	B4
			5s	Falta de mano de obra especializada	B9
			Increased visualisation (IV)	Resistencia al cambio	B4
			Standardisation	Tiempo y presión comercial	B4
			Prefabrication	Falta de compromiso de la alta dirección	B6
			Last Planner System (LPS)	Cultura y actitud del personal	B3
			Visual Management (V)	Fragmentación y subcontratación	B1
			Waste elimination	Problemas financieros	B1
			Continuous improvement	Falta de apoyo por parte del gobierno	B1
			First run studies (FRS)		
			total quality management (TQM)		
			Poka-yoke		
			Ishikawa diagram		
			Pareto Analysis		
FMECA					
5 why's					
		Marruecos		Falta de conocimiento sobre los conceptos Lean	B8



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
(Bajjou y Chafi, 2018)	Barriers of lean construction implementation in the Moroccan construction industry			Falta de apoyo por parte del gobierno	B11
				Recursos humanos no calificados	B9
				Resistencia al cambio	B4
				Tiempo y presión comercial	B4
				Falta de compromiso de la alta dirección	B6
				Cultura y actitud del personal	B3
				Fragmentación y subcontratación	B1
				Recursos financieros ineficientes	B5
(Cano et al., 2015)	Barriers and success factors in lean construction implementation: survey in pilot context	Colombia		Dificultad para tener personas adecuadas para la aplicación de LC	B9
				Falta de identificación y control de desperdicios	B9
				Resultados visibles a largo plazo	B3
				Pobreza y contexto social	B11
				La propia informalidad de la industria local.	B3
				Falta de autoestima e iniciativa por parte de los individuos.	B3
				Aspectos Culturales	B3
				Falta de conocimiento y entendimiento sobre Lean	B8
				Resistencia al cambio en la dirección	B4
				Resistencia al cambio en los trabajadores	B3
				Falta de actitud	B3



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
(Christensen et al., 2019)	When a business case is not enough, motivation to work with lean	Reino Unido		Falta de conocimiento	B8
				Falta de tiempo	B4
(Enshassi et al., 2019a)	Application level of lean construction techniques in reducing accidents in construction projects	Gaza	Last Planner System (LPS)	El concepto LC es una estrategia innovadora y no es ampliamente entendido entre los profesionales de la construcción.	B9
			Increased visualisation (IV)	Falta de presupuesto para impartir formación	B5
			5S	El gobierno local no prioriza Lean Construction	B11
			Poka-yoke	Condiciones políticas inestables	B11
			Daily Huddle meetings (DHM)	Falta de conocimiento sobre los beneficios de las técnicas de LC	B8
			First run studies (FRS)		
			Kaizen		
			5 why's		
(Enshassi y Zaiter, 2014)	Implementation of lean tools on safety in construction	Palestina	Last Planner [®] System	Debilidad en el ambiente de aprendizaje en proyectos de construcción.	B9
				Falta de interés por la formación en seguridad en las empresas constructoras.	B9
			5s	Falta presupuesto para formación.	B5



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
	projects in Palestine		Visual Management (VM)	Falta de interés y control por parte de organismos oficiales como el gobierno y el sindicato de contratistas sobre las nuevas técnicas de gestión.	B11
(Enshassi et al., 2019b)	Barriers to the application of lean construction techniques concerning safety improvement in construction projects.	Gaza	Pre-task hazard analysis Standardisation	Compromiso y apoyo de la alta dirección	B6
				Definición deficiente del proyecto	B7
				Centralización de decisiones bajo una sola autoridad	B4
				Largo procedimiento de aprobación por parte de la alta dirección	B6
				Falta de tiempo para innovación	B4
				Falta de transparencia	B3
				Mala comunicación entre los participantes del proceso de producción (gerentes, administradores, capataces, etc.)	B1
				Mala coordinación entre las partes del proyecto	B4
				Ausencia de previsión e inversión a largo plazo por parte de la alta dirección	B6
				Planificación inadecuada	B6
				Problemas de logística	B6
				Financiamiento inadecuado del proyecto para proporcionar los recursos y la capacitación necesarios.	B5
				Precios de licitación bajos	B2
Coste de implementación de LC	B6				



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Salarios pobres de los profesionales	B6
				Falta de incentivos y motivación.	B6
				Corrupción por soborno, extorsión y fraude	B11
				Inflación en los precios de los materiales debido a condiciones de mercado inseguras para la construcción	B11
				Falta de comprensión del concepto de LC	B8
				Falta de conocimiento	B8
				Falta de habilidades técnicas	B9
				Falta de educación y formación.	B9
				Falta de programas de sensibilización	B9
				Falta de experiencias e intercambio de información.	B9
				Falta de apoyo por parte del gobierno al sector de la construcción	B11
				Burocracia y gobiernos inestables	B11
				Políticas gubernamentales inconsistentes	B11
				Precio inestable de los productos básicos	B11
				Falta de una metodología de implementación acordada	B8
				Complejidad para la implementación	B9
				Largos períodos de implementación	B4
				Diseños incompletos	B7



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Malas estrategias para medición de rendimientos	B10
				Fragmentación en el sector de la construcción	B1
				Falta de integridad de la cadena de producción, incluidos el cliente, los proveedores de materiales y los subcontratistas.	B1
				Egoísmo entre profesionales	B3
				Falta de liderazgo	B3
				Resistencia al cambio en los empleados	B3
				Aspectos culturales	B3
				Incapacidad para cambiar la cultura organizacional	B3
				Falta de autocrítica	B3
				Miedo a prácticas desconocidas	B3
(Ghassemi y Becerik-Gerber, 2011)	Transitioning to Integrated Project Delivery: Potential barriers and lessons learned	Estados Unidos	Integrated Project Delivery	Barreras culturales	B3
				Barreras financieras	B5
				Barreras legales	B2
				Barreras tecnológicas	B9
(Hamzeh y Kallassy, 2016)	The first extensive implementation of lean and LPS	Líbano	Last Planner® System	Niveles desiguales de participación de ingenieros y capataces en el proceso de planificación de LPS	B4
				El plan maestro original no se desarrolló en colaboración	B6



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
	in Lebanon: results and reflections			Los fracasos se repiten	B10
				Lentos aprendizajes de los fracasos	B10
				Los representantes del cliente no están involucrados	B10
				La propiedad del desempeño en seguridad se otorga principalmente a los líderes de equipo	B6
				Las tasas de coste / productividad para las actividades de acabado subcontratadas son más difíciles de impactar	B10
				La filosofía detrás de las herramientas LC aún no está clara para todos	B8
				Hay niveles desiguales de comprensión de las herramientas de LC	B9
(Harper et al., 2005)	Success of supplier alliances for capital projects	Estados Unidos		Falta de compromiso de los directivos	B6
				Carecen de incentivos económicos	B5
				Intercambio inadecuado de información	B1
				Resistencia al cambio	B3
(Hussain et al., 2019)	Green, lean, Six Sigma barriers at a glance: A case from the construction sector of Pakistan	Pakistán	Just in time (JIT)	Falta de entrenamiento y capacitación	B9
			Increased visualisation (IV)	Utilización ineficiente de la infraestructura	B3
			Kanban system	Falta de instalaciones y tecnología avanzadas	B5
			5 why's	Falta de participación del cliente y conocimiento de GLSCP	B8
			Standardisation	Falta de liderazgo y apoyo de la alta dirección	B6



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
			Poka-yoke	Gestión y logística de materiales tradicionales e ineficientes	B4
			total quality management (TQM)	Falta de coordinación y comunicación entre los miembros del equipo y los departamentos.	B1
			Failure modes, effects, and criticality analysis (FMECA)	Falta de fondos	B5
			standard operating procedures (SOP)	Ineficiencia en los directivos	B6
			Ishikawa diagram	Recursos humanos ineficientes	B9
				Falta de una cultura organizacional de apoyo y un sistema de recompensas.	B3
				Falta de conocimiento sobre las filosofías GLS	B8
				Falta de un entorno kaizen	B8
				Mecanismo inadecuado para identificar actividades en el proceso de construcción a implementar, Green, Lean y Six Sigma	B9
				Resistencia al cambio de los proveedores	B4
				Resistencia al cambio	B4
				Falta de apoyo por parte del gobierno	B11
				Falta de un mecanismo para evaluar los impactos ambientales	B9
				Falta de expertos técnicos	B9



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Entorno político inestable	B11
				Falta de fe en los beneficios ambientales.	B9
				Falta de responsabilidad sobre los problemas ambientales.	B9
				La incertidumbre del retorno de la adopción de GLS	B10
				Materia prima de baja calidad	B5
(Jang et al., 2007)	Importance of partners in a challenging lean journey.	Corea del Sur	Last Planner [®] System	Compromisos excesivos: el planificador sobreprogramaba habitualmente el plan de trabajo semanal	B9
				Trabajo restringido: los procesos de puesta a punto y blindaje estaban incompletos, el trabajo se empujó hacia abajo	B9
				Falta de gestión de recursos: el nivel de inventario fluctuó de manera inconsistente	B6
				Se verificó el PAC diario, pero hubo poco o ningún seguimiento del plan	B9
				Hubo una falta de responsabilidad en la ejecución del Plan "Lookahead"	B3
				Hubo una falta de estandarización de los procesos de trabajo.	B9
				No entender que las operaciones posteriores son el cliente (demasiado centrado en el trabajo actual)	B9



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Hubo una falta de análisis del trabajo incompleto, las tareas restringidas y las razones del fracaso (falta de mejora continua)	B9
				Hubo una falta de transparencia informativa: intentó resolver las limitaciones sin compartir información	B1
(Khaba y Bhar, 2017)	Modeling the key barriers to lean construction using interpretive structural modeling	India		Falta de capacidades técnicas	B9
				Resistencia al cambio	B4
				Falta de iniciativas verdes	B10
				No reconocer la ventaja financiera	B8
				Falta de sistemas de medición del desempeño	B10
				Inconsistencia en el apoyo del gobierno	B11
				Falta de conciencia y comprensión de la construcción ajustada	B8
				Subcontratación de proyectos	B1
				Restricciones financieras	B5
				Falta de comprensión de las necesidades del cliente.	B10
				Falta de planificación de la calidad	B9
				Falta de consultores y entrenadores lean	B9
Diferencias culturales	B8				
		Vietnam	Last Planner [®] System	Procedimiento de aprobación largo por los clientes	B3



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
(Khanh y Kim, 2016)	A survey on production planning system in construction projects based on Last Planner System			La participación de tantas partes se unieron al proyecto, especialmente subcontratistas y proveedores.	B1
				Baja comprensión de los conceptos de LPS.	B8
				Débil comunicación y transparencia entre los participantes del proceso de producción.	B1
				Falta de integración de la cadena productiva entre cliente, consultor, contratista y proveedor	B1
				Administración inadecuada de la información necesaria para generar un “ciclo de aprendizaje” y tomar acciones correctivas	B1
				Baja implementación de tecnología avanzada en la construcción.	B3
				Problemas lingüísticos y culturales al realizar un proyecto.	B3
				Falta de capacitación para los gerentes a la hora de planificar y controlar un proyecto.	B9
				Compromiso excesivo con el trabajo que se puede realizar	B3
(Kim y Park, 2006)	Innovative construction management method: Assessment of lean	Estados Unidos	Last Planner® System	Apoyo organizacional	B6
			Just in Time (JIT)	Comunicación y Coordinación	B1
				Capacitación	B9
				Actitud	B3



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
	construction implementation			Restricciones contractuales	B2
(Y. Kim y Jang, 2016)	Case study: An application of last planner to heavy civil construction in Korea	Corea del Sur	Last Planner® System	Organización y problemas culturales	B3
				Los contratistas a menudo confunden la medición del flujo de trabajo con la medición del progreso.	B10
				Falta de formación adecuada	B9
				Algunos capataces ni siquiera entendían el contenido de los documentos de planificación.	B9
(Y. W. Kim y Jang, 2006)	Implementing last planner: tunnel construction project	Corea del Sur	Last Planner® System	Cultura organizacional conservadora	B9
				Falta de suficiente experiencia y autoridad como último planificador.	B6
(Koskela y Forgues, 2009)	The influence of a collaborative procurement approach using integrated design in construction on project team performance	Reino Unido	Collaborative work	Los clientes no entienden su papel en este nuevo proceso de diseño.	B9
				La falta de incentivos para que los profesionales del diseño cambien su práctica	B3
				La naturaleza y fragmentación de las adquisiciones dentro del proceso de “diseño-licitación-construcción”;	B2
				La ausencia de un código de práctica reconocido o un cuerpo de conocimientos que respalde esta nueva forma de trabajo colaborativo.	B8
		India		Baja disponibilidad de profesionales centrales	B9



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
(Kovvuri et al., 2016)	Efficient project delivery using lean principles- an indian case study			Uso limitado de estándares y técnicas de gestión de proyectos.	B9
				Problemas culturales y sociales	B3
				Baja conciencia	B8
(Lekan et al., 2018)	Creating Sustainable Construction: Building Informatics Modelling and Lean Construction	Nigeria		Falta de compromiso de los directivos	B6
				Período de implementación prolongado	B4
				Falta de formación adecuada	B9
				Falta de habilidades y conocimientos adecuados	B9
				Falta de aplicación de las técnicas fundamentales	B8
				Brechas en estándares y enfoques	B8
				Naturaleza fragmentada de la industria	B1
				Barreras culturales	B3
				Falta de comprensión de la implementación y conceptos	B8
				Resistencia al cambio	B4
				Burocracia e inestabilidad del gobierno	B11
Listas largas de cadena de suministro y falta de confianza	B1				
(Liu et al., 2007)	A theoretical framework of an integrated logistics system for UK	Reino Unido		Fragmentación y subcontratación	B1



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
	construction industry				
(Martinez et al., 2019)	Lean construction for affordable housing: a case study in Latin America	Ecuador		Falta de incentivos para generar valor	B10
				El gobierno como parte del sistema de producción	B11
				Fragmentación de la industria	B1
				Falta de capacitación y workshops	B9
(Mejía-Plata et al., 2016)	A route map for implementing Last Planner System in Bogotá, Colombia	Colombia	Just in Time (JIT)	Falta de liderazgo	B6
			5 why's	Inercia organizacional	B3
			5s	Resistencia al cambio	B3
			Gemba	Falta de entrenamiento	B9
			Hoshin	Problemas contractuales	B2
			Last Planner ® System	Falta de experiencia y conocimiento.	B9
(Mattos et al., 2016)	Project automation application with lean philosophy at the construction of oil refining unit	Brasil	BIM	Superar la resistencia al cambio, y convencer de los valores y los beneficios de BIM	B3
			Visual Management	Adaptar los flujos de trabajo existentes a los procesos orientados a la optimización.	B9
				Capacitar a las personas en BIM o encontrar empleados que comprendan BIM	B9
				La comprensión de los recursos de hardware de alta gama necesarios y las instalaciones de red para ejecutar aplicaciones y herramientas BIM de manera eficiente.	B9



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				La necesaria colaboración, integración e interoperabilidad entre los diseñadores / ingenieros estructurales y MEP.	B7
				Comprensión clara de las responsabilidades de las diferentes partes interesadas en el nuevo proceso por parte de los abogados de la construcción y las aseguradoras.	B2
(Naim et al., 2015)	Actualizing lean construction: Barriers toward the implementation	Malasya		Aspecto de gestión	B6
				Aspectos financieros	B5
				Aspectos de educación	B9
				Aspectos gubernamentales	B11
				Aspectos técnicos	B9
				Aspectos de actitud	B3
(Pandithawatta et al., 2020)	An integrated approach of Lean-Green construction: Sri Lankan perspective	Sri Lanka		Falta de conocimiento	B8
				Conceptos erróneos	B8
				Falta de prácticas estandarizadas	B9
				Falta de materiales y tecnologías "Green" disponibles en Sri Lanka	B9
				Problemas para la implementación	B9
				Falta de intervención en el gobierno para promover prácticas constructivas sostenibles	B11
				Falta de apoyo de la alta dirección	B6
				Falta de conocimiento sobre Lean	B9



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Resistencia al cambio de los trabajadores	B3
				Falta de contribución del consultor para iniciar el concepto green	B3
				Estructura organizativa jerárquica del proyecto	B6
(Perera et al., 2011)	Interventions in effecting change towards lean for Australian building contractors: defect management as a case of reference.	Australia		Falta de herramientas sencillas y fáciles de usar	B9
				Falta de apoyo al cambio cultural	B3
(Perez y Ghosh, 2018)	Barriers faced by new-adopter of Last Planner System®: a case study	Estados Unidos de América	Last Planner ® System	Proceso de PAC incompleto	B8
				La infrautilización de la planificación look-ahead	B8
				Falta de pautas / prácticas estándar para actualizar el cronograma	B8
				Enfoque por piezas para el proceso de implementación	B8
(Polat y Ballard, 2017)	How to Promote Off-Site Fabrication Practice of	Turquia		Ley de seguridad social turca	B11
				Grandes fluctuaciones en el precio unitario	B11
				Mano de obra no calificada	B9
				Bajos salarios de los trabajadores	B5



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
	Rebar in Turkey?			Alto costo de implementación de tecnología	B5
				Alto costo de envío	B5
				Comportamientos poco éticos	B3
(Primayuda et al., 2019)	Exploring Lean Construction for Housing Projects: A Literature Review	Indonesia		Mala cultura entre los socios del proyecto	B3
				Falta de buenas políticas	B6
				Complejidad del Lean Construction	B9
				Conocimiento organizacional deficiente	B6
				Falta de comprensión de los principios Lean	B8
				Toma tiempo adoptar	B4
				Inherentemente intensivo en conocimiento	B9
				Falta de vision a largo plazo	B4
				Ausencia de cultura Lean en la empresa	B3
				Uso limitado del modo de adquisición de diseño y construcción	B2
				Subcontratación excesiva	B1
				Uso limitado de técnicas de construcción fuera del sitio	B3
				Habilidades de gestión insuficientes	B6
Falta de exposición a la necesidad de adoptar el concepto lean	B3				
Falta de entrenamiento adecuado	B9				



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Falta de comunicación	B1
				Consultores y contratistas	B3
				Desperdicios aceptados como inevitables	B3
				Influencia de las prácticas tradicionales	B3
(Ranadewa y Sandanayake, 2019)	Lean enabling human capacity building of small and medium contractors in Sri Lanka.	Sri Lanka		Problemas financieros	B5
				Falta de entrenamiento	B9
				Inercia cultural	B3
				Falta de capacidades individuales	B3
				Falta de trabajo en red y colaboración	B3
				Falta de aprendizaje activo	B9
(Salifu-Asubay y Mensah, 2015)	Improving delivery of construction projects in Ghana's cities: a lean construction approach	Ghana		Contratos y sistema de adquisiciones deficientes	B2
				Factor cultural y humano	B3
				Influencia política	B11
				Concepto no familiar	B8
				Retraso en los pagos	B5
				Tasa de interés alta	B5
				Disponibilidad de materiales	B5
				Falta de confianza	B3
				Menor utilización de componentes estándar y prefabricados, sistemas modulares.	B9
				Variación de diseños durante la construcción.	B7



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Plazo de ejecución largo	B3
				Falta de compromiso financiero y de gestión.	B5
(Salvatierra et al., 2015)	Lean diagnosis for Chilean construction industry: Towards more sustainable lean practices and tools	Chile	Last Planner ® System	Resistencia al cambio	B4
			Gemba	Falta de entrenamiento	B9
			Kaizen	Liderazgo	B6
			Visual Management (VM)	Características del sector	B3
			Just in Time (JIT)	Falta de alianzas	B6
			5s	Falta de habilidades sociales	B3
			Kitting	Falta de elementos clave de LPS	B8
			BIM	Gestión visual	B9
			Process Map	Falta de herramientas	B9
			A3		
(Sarhan y Fox, 2013)	Barriers to implementing lean construction in the UK construction industry	Reino Unido		Fragmentación y subcontratación	B1
				Estrategias de contratación	B2
				Cultura y actitud del personal	B3
				Adherencia a métodos tradicionales por presión comercial	B4
				Problemas financieros	B5
				Falta de apoyo de la alta dirección	B6



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Dicotomía diseño-construcción	B7
				Falta de comprensión de los principios Lean	B8
				Problemas de educación	B9
				Falta de sistemas de medición del desempeño centrados en el cliente y basados en procesos	B10
(Sarhan et al., 2018)	Barriers to implementing lean construction practices in the Kingdom of Saudi Arabia (KSA) construction industry	Reino de Arabia Saudita		Adherencia a métodos tradicionales por presión comercial	B4
				Cultura organizacional desfavorable.	B3
				Falta de habilidades técnicas, capacitación y conocimiento sobre Lean.	B9
				Falta de comprensión de los principios Lean	B8
				Falta de apoyo de la alta dirección	B6
				Falta de comunicación	B1
				Falta de sistemas de medición de rendimientos	B10
				Falta de adaptaciones tecnológicas	B9
				Falta de comprensión de los principios Lean	B8
				Adherencia a métodos tradicionales	B7
				Largo período de implementación de conceptos lean en procesos constructivos	B4
				Falta de participación de clientes y proveedores	B2
				Preferencia del consumidor final	B10
				Costes elevados e inflación	B11



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Procesos de toma de decisiones lentos debido a la compleja jerarquía organizativa	B6
				Gestión inadecuada de recursos	B6
				Falta de especificación del trabajo clara por parte del cliente	B1
				Falta de benchmark	B10
				Falta de apoyo del gobierno	B11
				Incertidumbre en el proceso de producción	B9
				Componentes no estandarizados	B3
				Cadena de suministros desconocida	B1
(S. Sarhan y Fox, 2012)	Trends and challenges to the development of a lean culture among UK construction organisations.	Reino Unido		Falta de comprensión de principios Lean	B8
				Falta de apoyo de la alta dirección	B6
				Cultura y actitud del personal	B3
				Presión comercial	B4
				Fragmentación y subcontratación	B1
				Estrategias de contratación	B2
				Problemas de educación	B9
				Falta de sistemas de medición del desempeño centrados en el cliente y basados en procesos	B10
				Problemas financieros	B5
				Dicotomía diseño-construcción	B7



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
(Senior y Rodríguez, 2012)	Analyzing Barriers to Construction Productivity Improvement in the Dominican Republic	República Dominicana		Contratos y documentación de procedimientos	B2
				Falta de estandarización	B9
				Objetivos mal definidos	B6
				Falta de capacidad para medir rendimientos	B10
				Diseños incompletos	B7
				Falta de sistemas de recompensas	B10
				Cadena de suministros desconocida	B1
				Cultura organizacional y trabajo en equipo	B3
				Mala planificación previa	B6
				Inestabilidad de precios	B11
(Small et al., 2017)	Examination of opportunities for integration of lean principles in construction in Dubai	Emiratos Árabes Unidos		Diseños incompletos y complicados	B7
				Características propias del sector	B5
				Menor participación de contratistas y especialistas en diseño.	B7
				Falta de comprensión de Lean	B8
				Mala comunicación entre las partes interesadas	B1
				Precios de licitación bajos	B2
				Proceso de toma de decisiones lento	B6
				Planificación previa inadecuada	B6
Falta de motivación y medición del desempeño individual	B10				



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Falta de compromiso a largo plazo con el cambio y la innovación.	B4
				Cultura y estructura organizacional inadecuadas	B6
				Intervención de la autoridad reguladora e inconsistencia en las políticas	B11
				Falta de sistemas de medición del desempeño basados en procesos	B10
				Retrasos en la entrega de materiales	B5
				Falta de definiciones claras de las responsabilidades individuales	B6
				Falta de compromiso y apoyo de la alta dirección	B6
				Falta de una metodología de implementación acordada	B6
				Deficiencia en habilidades y conocimientos técnicos.	B9
				Falta de relaciones a largo plazo con proveedores	B4
				Uso excesivo de subcontratas	B1
				Largos periodos de implementación de nuevos procesos	B4
				Integración débil de la cadena de suministros	B1
				Salarios profesionales deficientes	B5
				Falta de estandarización	B3
				Fragmentación	B1



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Escasez de mano de obra	B6
				Falta de sistemas de medición de la satisfacción del cliente.	B10
				Desperdicios considerados inevitables	B8
				Deficiencia en la realización de los contratos y las necesidades del cliente.	B10
				Escasez de materiales	B5
				Definición y entregables poco claros del proyecto	B7
				Falta de participación de clientes y proveedores	B3
				Falta de entrenamiento	B9
				Problemas financieros	B5
(Smith y Ngo, 2017)	Implementation of lean practices among finishing contractors in the US	Estados Unidos de América	Last Planner [®] System Huddle Meetings Fail Safe for Quality 5s Target Value Design Value Stream Mapping Just in Time (JIT) Big Room Increased visualisation (IV)	Falta de conocimiento	B9
				Falta de estandarización	B9
				Falta de apoyo del sector	B4
				Compromiso de la alta dirección	B6
				Preocupación que consume mucho tiempo	B4
				Falta de cultura Lean	B8
				Falta de apoyo del equipo del proyecto	B4
				Falta de medición del rendimiento	B10
				Preocupación por la rentabilidad	B5



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Resistencia sindical	B11
				Preocupación por la complejidad de Lean	B8
				Falta de comprensión de las necesidades del cliente	B10
	Implementation of lean production in construction— Case study	Eslovaquia	Milk Run	Solicitar solo material de transporte propio	B9
			Supply Chain Management (SCM)	Necesidad de invertir en vehículos nuevos.	B5
			Vendor managed Inventory (VMI)	Comunicación con múltiples clientes	B1
			Lean Layout	Aumento de los costes de inversión para la reconstrucción de naves de producción.	B5
			RFID tags	Solo para materiales grandes	B6
			ITF codes	Correcto diseño del transporte y posterior montaje de los módulos; Necesita marcar los módulos terminados	B6
			Just in time (JIT)	Planificación correcta de suministros de materiales	B6
			Total Productive Maintenance (TPM)	Necesidad de controlar maquinaria y equipo antes y después del trabajo; Proporcionar las reparaciones necesarias	B6
			Poka-yoke	Control continuo de trabajadores y procesos	B6
			Kaizen	Necesidad de invertir en la motivación de los trabajadores	B5
	5s	Supervisar constantemente la organización del lugar de trabajo.	B9		



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
(Tayeh et al., 2018)	Success Factors and Barriers of Last Planner System Implementation in the Gaza Strip Construction industry	Gaza/Palestina	Last Planner [®] System	Resistencia de los gerentes a cambiar el sistema de planificación	B4
				Fracaso del compromiso de la gerencia con la implementación de LPS	B6
				Falta de capital humano	B9
				Falta de comprensión del nuevo sistema	B8
				Falta de habilidades, capacitación y experiencia.	B9
				Organización no solidaria	B6
				Falta de apoyo de las partes interesadas	B6
				Largo procedimiento de aprobación por parte del cliente y la alta dirección	B6
				Mal uso de la información generada durante la implementación de LPS	B9
				Implementación parcial o tardía de LPS	B8
				Falta de disponibilidad de coordinación y cooperación entre las partes.	B1
				Visión a corto plazo	B4
				Mala interpretación del indicador PAC	B9
				La participación de muchas partes en el proyecto, especialmente subcontratistas y proveedores.	B1
Débil comunicación entre los participantes del proceso de producción.	B1				



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Falta de integración entre cliente, consultor, contratista y proveedor	B1
				Falta de implementación de tecnología avanzada en la construcción.	B9
				Falta del programas de formación para los directivos	B9
(Tezel et al., 2016)	Visual Management condition in highways construction projects in England	Inglaterra	Visual Management (VM)	Falta de conocimiento de VM	B9
				Vista limitada de VM (tableros de rendimiento visual)	B8
				Falta de un caso de negocio para VM (problemas en cuantificar sus beneficios para la alta dirección)	B9
				Falta de personal que maneje VM y Lean Construction en proyectos de carreteras,	B9
				Falta de apoyo y propiedad de la alta dirección	B6
				Comunicación limitada con el personal operativo para impulsar la VM aún más	B1
(Vignesh, 2017)	A case study of implementing last planner system in Tiruchirappalli District of Tamil Nadu-India.	India		Falta de comunicación entre subcontratistas	B1
				La alta dirección no tiene suficiente influencia sobre todas las partes involucradas.	B6
				La importancia de involucrar a los trabajadores en el proceso de planificación sigue siendo un área problemática	B3
				El proceso de implementación sería mucho más fácil si se implementara desde el inicio temprano del proyecto.	B7



Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica.

Autores	Título	País	Herramientas	Barreras	Clase
				Falta de habilidades	B9
				Falta de compromiso con el cambio y la innovación, expectativas poco realistas y el incumplimiento de las promesas del subcontratista	B9



8.2. Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030

Anexo al Trabajo Fin de Máster

Relación del TFM “Análisis de barreras existentes para la implementación de Lean Construction en el sector de la construcción en países de Iberoamérica” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.		✓		
ODS 2. Hambre cero.				✓
ODS 3. Salud y bienestar.				✓
ODS 4. Educación de calidad.		✓		
ODS 5. Igualdad de género.				✓
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				✓
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				✓
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.		✓		
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	✓			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				✓
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.			✓	
ODS 12. Producción y consumo responsables.	✓			
ODS 13. Acción por el clima.				✓
ODS 14. Vida submarina.				✓
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				✓
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				✓
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.	✓			

Descripción de la alineación del TFG/M con los ODS con un grado de relación más alto.

El presente Trabajo de Fin de Máster se relaciona con mayor intensidad con tres de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030. Se considera altamente relacionado con el objetivo de industria, innovación e infraestructura (ODS 9.) considerando que se estudian cuáles son las barreras para implementar las innovadoras técnicas de gestión de Lean Construction en las empresas constructoras Iberoamericanas.

Además, la investigación se relaciona con el objetivo de garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles (ODS 12.) considerando que las técnicas Lean se

enfocan en la eficiencia de los procesos, a partir de eliminar toda aquella actividad que no añade valor, con el objetivo de mitigar los problemas de productividad que atraviesa el sector de la construcción, uno de los más importantes para el desarrollo de toda sociedad.

Por último, se encontraron relaciones entre el presente TFM y el objetivo de alianzas para lograr objetivos (ODS 17.), considerando que una de las acciones para mitigar las barreras que existen para la implementación de Lean en Iberoamérica, es el fomento del trabajo y los contratos de tipo colaborativo.