

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA



TESIS

“LEAN CONSTRUCTION EN MÉXICO: UN ESTUDIO EXPLORATORIO”

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERÍA

Presenta:
Carolina Velázquez Noeggerath

Director de tesis:
Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza

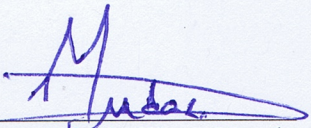
Ensenada, Baja California

Agosto 2018

RESUMEN de la Tesis de Carolina Velázquez Noeggerath, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL. Ensenada, Baja California, México. Julio de 2018.

LEAN CONSTRUCTION EN MÉXICO: UN ESTUDIO EXPLORATORIO.

Resumen aprobado por:



Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza
Director de tesis

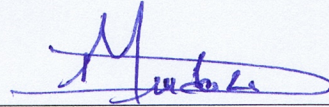
Lean Construction (LC) se ha implementado en diferentes países como una forma efectiva de reducir el desperdicio en la construcción; sin embargo, los estudios de LC en México son escasos. El propósito de este proyecto de investigación es evaluar el nivel de conocimiento e implementación de LC en México. A través de una revisión sistemática de la literatura mundial, se identificaron diferentes factores, herramientas y técnicas para la implementación de LC. Luego se creó un instrumento para recopilar datos empíricos y se validó estadísticamente en una muestra representativa de empresas del sector de la construcción en México. El instrumento muestra un grupo de factores críticos, herramientas y técnicas que aumentan el nivel de eficiencia de las operaciones de construcción, en particular del subsector edificación. Además, este grupo es consistente con estudios previos en todo el mundo. Esta investigación proporciona información importante en el aumento de la eficiencia durante la implementación de LC.

Palabras clave— Construcción, desperdicio, edificación, eficiencia, lean construction, reducción.

ABSTRACT of the thesis, presented by Carolina Velázquez Noeggerath, in order to obtain the MASTER of ENGINEERING DEGREE in INDUSTRIAL ENGINEERING. Ensenada, Baja California, México. July, 2018.

LEAN CONSTRUCTION IN MEXICO: AN EXPLORATORY STUDY.

Approved by:



Ph. D. Diego Alfredo Tlapa Mendoza
Thesis Advisor

Lean Construction (LC) has been implemented in different countries as an effective way to reduce waste in construction; however, LC studies in Mexico are scarce. The purpose of this research project is to evaluate the level of LC knowledge and implementation in Mexico. Through a systematic worldwide literature review, different factors, tools and techniques were identified for LC implementation. Then an instrument to collect empirical data was created and statistically validated within a representative sample of companies in the construction sector in Mexico. The instrument show a group of critical factors, tools and techniques that increase the efficiency level of construction operations, in particular of the building subsector. Furthermore, this group is consistently with previous studies around the world. This research provides information to help on increasing efficiency during the implementation of LC.

Keywords- Construction, building, efficiency, lean construction, reduction, waste.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO
UNIDAD ENSENADA

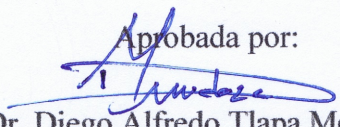
“LEAN CONSTRUCTION EN MÉXICO: UN ESTUDIO EXPLORATORIO”

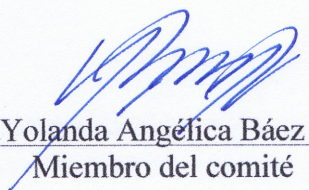
TESIS

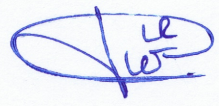
Que para obtener el grado de maestría en ingeniería presenta:

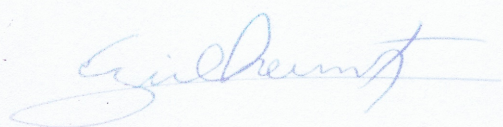
Carolina Velázquez Noeggerath

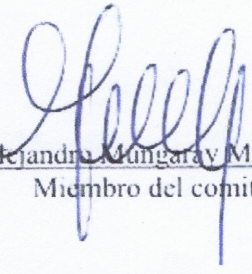
Aprobada por:


Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza
Director de tesis


Dra. Yolanda Angélica Báez López
Miembro del comité


Dr. Jorge Limón Romero
Miembro del comité


Dr. Guilherme Luz Tortorella
Miembro del comité


Dr. Alejandro Mangaray Moctezuma
Miembro del comité

Ensenada Baja California, México. Agosto 2018

DEDICATORIA

A mi mamá, por estar siempre.
A mi papá, que me acompaña desde donde esté.
A Paulina, por ser la luz de mi vida.
A mis hermanos, por inspirarme a ser un buen ejemplo.

AGRADECIMIENTOS

Con toda mi gratitud para mis padres, quienes me han apoyado incondicionalmente a lo largo de toda mi vida, sin importar las circunstancias y siempre me alientan a seguir avanzando y creciendo personal y profesionalmente.

Mi especial agradecimiento para el Dr. Diego Tlapa por haberme invitado a continuar con mis estudios profesionales, brindarme su gran apoyo y atención durante el desarrollo de este trabajo de investigación. Compartir conmigo de su conocimiento. Brindarme la orientación y motivación necesaria para el desarrollo de la investigación.

A mis sinodales de tesis y profesores Dra. Yolanda Báez, Dr. Jorge Limón, por sus enseñanzas y consejos durante mi estancia en la universidad. De igual manera al Dr. Guilherme Luz Tortorella, quien a pesar de la distancia, me apoyó y brindó sus consejos para que este proyecto fuera aún más productivo.

Gracias a la Consejo Nacional de la Ciencia y la Tecnología (CONACyT) por brindarme el recurso necesario para el desarrollo y término de este proyecto de investigación, así como a la Universidad Autónoma de Baja California por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional. Es un gran orgullo para mí poder decir que cimarrón es mi corazón, por siempre.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Antecedentes.	2
1.1.1 Necesidades de Lean Construction en el sector de la construcción en México.	7
1.2 Contexto de la investigación.	8
1.3 Planteamiento del problema.	8
1.4 Preguntas de investigación.	9
1.5 Hipótesis.	9
1.6 Objetivo.	10
1.6.1 Objetivo General.	10
1.6.2 Objetivos Específicos	10
1.7 Justificación.	10
1.8 Delimitación y Limitación.	13
2. MARCO TEÓRICO.	14
2.1 Lean Construction	14
2.1.1 Antecedentes Lean Construction.	15
2.1.2 Lean Project Delivery System (LPDS).	17
2.1.2.1 Las diferentes fases de un proyecto Lean según el LPDS	17
2.1.3 Principios de Lean Construction.	20
3. METODOLOGÍA.	24
3.1 Fundamentación del Método	24
3.2 Diseño y desarrollo de la metodología.	24
3.2.1 Fase 1: Recopilación y selección de literatura referente a Lean Construction.	24
3.2.2 Fase 2: Desarrollo de instrumento para recopilación de información con respecto a los FCE.	26
3.2.3 Fase 3: Determinación de herramientas y técnicas importantes en LC que se tomaron en cuenta en el instrumento	34
3.2.4 Fase 4: Determinación y clasificación de los beneficios reportados en la literatura con la implementación de LC.	47
3.2.5 Fase 5: Validación del instrumento.	49
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	52
4.1 Resultados de datos demográficos.	52
4.2 Validación estadística del Instrumento.	52
4.3 Resultado del uso de herramientas LPDS.	54
4.4 Resultado de los beneficios percibidos.	57
4.5 Discusión.	58
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	60
5.1 Conclusiones.	60
5.2 Recomendaciones.	61
5.3 Trabajo futuro.	62
6. REFERENCIAS.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1 Etapas del ciclo de desarrollo de infraestructura.	7
Figura 2.1.1 Filosofía y principios de Lean Construction (Ballard G. , 1999).	16
Figura 2.1.2 Lean Project Delivery System (Ballard & Zabelle, 2000)	18
Figura 3.2.1.3 Diagrama de Pareto para Factores Críticos de Éxito	25
Figura 4.3.1 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Definición del proyecto. 54	
Figura 4.3.2 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Diseño del proyecto. . . .55	
Figura 4.3.3 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Suministro Lean.55	
Figura 4.3.4 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Montaje o ejecución . . . 56	
Figura 4.3.1 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Uso y mantenimiento . . .56	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Artículos revisados con contenido relevante para la investigación.	3
Tabla 2. Estados de la república que representan el 80% aproximado del valor de la producción nacional.	12
Tabla 3. Estados de la república que representan el 80% aproximado de las unidades económicas nacionales.	12
Tabla 4. Variables para Instrumento de medición.	29
Tabla 5. Prueba de confiabilidad estadística interna de constructos (Alpha de Cronbach). . 52	
Tabla 6. Validación estadística interna de constructos (KMO).	53
Tabla 7. Prueba de esfericidad de Bartlett.	53
Tabla 8. Beneficios percibidos con la implementación de LEAN.	57

APÉNDICES

Apéndice A- Instrumento de Medición	73
---	----

1. INTRODUCCIÓN

Lean Construction constituye una nueva filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor conocidas como “pérdidas” (Botero & Álvarez, 2005). Este modelo denominado “construcción sin pérdidas”, propuesto por Koskela, analiza los principios y las aplicaciones del JIT (justo a tiempo) y TQM (gestión de la calidad total) (Koskela, 1992).

Esta filosofía introduce cambios conceptuales en la gestión de la construcción con el objeto de mejorar la productividad enfocando todos los esfuerzos en la estabilidad del flujo de trabajo (Achel, 2014). Koskela, escribió el documento “Aplicación de la nueva filosofía de la producción a la construcción”, en el que estableció los fundamentos teóricos del nuevo sistema de producción aplicado a la construcción (Koskela, Application of the new production philosophy to construction., 1992). El trabajo fue un hito clave en el desarrollo de una corriente de investigación sobre la aplicación del sistema de producción Toyota y la filosofía Lean a la industria de la construcción.

Lean Construction (LC) 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 costo, con mayor calidad, más seguridad y con plazos de entrega más cortos, dentro de un marco ecológico con el entorno (Delgado, 2014). 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 (Botero & Álvarez, 2005).

La reacción inicial a la implementación de Lean en la industria de la construcción causó resistencia y exclusión (Alarcón & Pellicer, 2009). Inicialmente, LC fue mal interpretado y su aplicación a las diferentes fases de un proyecto así como el papel que debía asumir cada actor o agente social interviniente en el proceso constructivo no fue bien entendido (Abdusalam & Al-Suadari, 2007). La tendencia empezó a cambiar, al igual que ocurriera con Lean Manufacturing, según se iban demostrando las ventajas competitivas que suponía para las empresas pioneras que comenzaron su implementación y conforme surgían nuevos documentos técnicos y casos de estudio que facilitaban su comprensión (Achel, 2014).

DEDICATORIA

A mi mamá, por estar siempre.
A mi papá, que me acompaña desde donde esté.
A Paulina, por ser la luz de mi vida.
A mis hermanos, por inspirarme a ser un buen ejemplo.

AGRADECIMIENTOS

Con toda mi gratitud para mis padres, quienes me han apoyado incondicionalmente a lo largo de toda mi vida, sin importar las circunstancias y siempre me alientan a seguir avanzando y creciendo personal y profesionalmente.

Mi especial agradecimiento para el Dr. Diego Tlapa por haberme invitado a continuar con mis estudios profesionales, brindarme su gran apoyo y atención durante el desarrollo de este trabajo de investigación. Compartir conmigo de su conocimiento. Brindarme la orientación y motivación necesaria para el desarrollo de la investigación.

A mis sinodales de tesis y profesores Dra. Yolanda Báez, Dr. Jorge Limón, por sus enseñanzas y consejos durante mi estancia en la universidad. De igual manera al Dr. Guilherme Luz Tortorella, quien a pesar de la distancia, me apoyó y brindó sus consejos para que este proyecto fuera aún más productivo.

Gracias a la Consejo Nacional de la Ciencia y la Tecnología (CONACyT) por brindarme el recurso necesario para el desarrollo y término de este proyecto de investigación, así como a la Universidad Autónoma de Baja California por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional. Es un gran orgullo para mí poder decir que cimarrón es mi corazón, por siempre.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1 Antecedentes.	2
1.1.1 Necesidades de Lean Construction en el sector de la construcción en México.	7
1.2 Contexto de la investigación.	8
1.3 Planteamiento del problema.	8
1.4 Preguntas de investigación.	9
1.5 Hipótesis.	9
1.6 Objetivo.	10
1.6.1 Objetivo General.	10
1.6.2 Objetivos Específicos	10
1.7 Justificación.	10
1.8 Delimitación y Limitación.	13
2. MARCO TEÓRICO.	14
2.1 Lean Construction	14
2.1.1 Antecedentes Lean Construction.	15
2.1.2 Lean Project Delivery System (LPDS).	17
2.1.2.1 Las diferentes fases de un proyecto Lean según el LPDS	17
2.1.3 Principios de Lean Construction.	20
3. METODOLOGÍA.	24
3.1 Fundamentación del Método	24
3.2 Diseño y desarrollo de la metodología.	24
3.2.1 Fase 1: Recopilación y selección de literatura referente a Lean Construction.	24
3.2.2 Fase 2: Desarrollo de instrumento para recopilación de información con respecto a los FCE.	26
3.2.3 Fase 3: Determinación de herramientas y técnicas importantes en LC que se tomaron en cuenta en el instrumento	34
3.2.4 Fase 4: Determinación y clasificación de los beneficios reportados en la literatura con la implementación de LC.	47
3.2.5 Fase 5: Validación del instrumento.	49
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	52
4.1 Resultados de datos demográficos.	52
4.2 Validación estadística del Instrumento.	52
4.3 Resultado del uso de herramientas LPDS.	54
4.4 Resultado de los beneficios percibidos.	57
4.5 Discusión.	58
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	60
5.1 Conclusiones.	60
5.2 Recomendaciones.	61
5.3 Trabajo futuro.	62
6. REFERENCIAS.	63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.1 Etapas del ciclo de desarrollo de infraestructura.	7
Figura 2.1.1 Filosofía y principios de Lean Construction (Ballard G. , 1999).	16
Figura 2.1.2 Lean Project Delivery System (Ballard & Zabelle, 2000)	18
Figura 3.2.1.3 Diagrama de Pareto para Factores Críticos de Éxito	25
Figura 4.3.1 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Definición del proyecto. 54	
Figura 4.3.2 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Diseño del proyecto. . . .55	
Figura 4.3.3 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Suministro Lean.55	
Figura 4.3.4 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Montaje o ejecución . . . 56	
Figura 4.3.1 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Uso y mantenimiento . . .56	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Artículos revisados con contenido relevante para la investigación.	3
Tabla 2. Estados de la república que representan el 80% aproximado del valor de la producción nacional.	12
Tabla 3. Estados de la república que representan el 80% aproximado de las unidades económicas nacionales.	12
Tabla 4. Variables para Instrumento de medición.	29
Tabla 5. Prueba de confiabilidad estadística interna de constructos (Alpha de Cronbach). . 52	
Tabla 6. Validación estadística interna de constructos (KMO).	53
Tabla 7. Prueba de esfericidad de Bartlett.	53
Tabla 8. Beneficios percibidos con la implementación de LEAN.	57

APÉNDICES

Apéndice A- Instrumento de Medición	73
---	----

1.1 Antecedentes

La industria de la construcción siempre ha tenido una función social relevante. Esta actividad ha sido factor de desarrollo regional y local, así como de integración y progreso de las comunidades las que han demandado vivienda de manera creciente, servicios de salud, educativos, etc. así como servicios municipales de energía, agua, alcantarillado, drenaje, obras viales y mantenimiento, entre otras, como lo menciona Poo (2003). La industria ha estado vinculada con la protección al medio ambiente por medio de varias acciones: creación de infraestructura dirigida a la sustentabilidad ambiental (tratamiento de aguas residuales, re- uso de aguas tratadas, manejo y tratamiento de residuos sólidos municipales, industriales y hospitalarios, y reciclado de materiales), así como al cambio tecnológico y el ahorro energético (arquitectura bioclimática, edificios inteligentes, sistemas pasivos de generación de energía, etc.) y a medidas ambientales aplicadas al ordenamiento urbano y territorial.

La construcción se ha visto a menudo como una clase propia, diferente de la fabricación, y tradicionalmente se han rechazado muchas de las ideas del sector industrial de la fabricación o se han incorporado tarde debido a la creencia de que la construcción era un sector diferente. Estas ideas han estado presentes desde el origen de Lean Construction y todavía permanece en el pensamiento de gran parte de empresarios y profesionales de la construcción.

Lauri Koskela (2000) clasificó y definió las tres principales peculiaridades que presenta la construcción con respecto al sector de la fabricación:

1. Un proyecto de edificación tiene naturaleza única o prototípica.
2. Es algo único que cada vez se ejecuta en un lugar diferente.
3. Se llevará a cabo por una multi-organización de carácter temporal, que en cada lugar necesitará medios y recursos diferentes y propios de cada zona.

Estas peculiaridades han sido utilizadas por gerentes y profesionales de empresas de la industria de la construcción como motivos o razones cuando no han sido capaces de alcanzar los mismos niveles de productividad, calidad, seguridad y plazos de entrega que en el sector industrial de la fabricación. Sin embargo, estas excusas fueron discutidas por el propio Koskela (2000) y han ido perdiendo fuerza a medida que los beneficios de Lean Construction se hacían evidentes. Hoy en día, la tecnología y el software por un lado y la industrialización y pre-fabricación de la construcción por otro, nos ayudan a comprender mejor la construcción de un edificio o infraestructura como la suma de diferentes flujos de valor que pueden repetirse en diferentes obras y proyectos, y por tanto, resulta más fácil identificar los desperdicios y aplicar ciclos encadenados de mejora continua y estandarización de procesos para eliminar la improductividad.

Dentro de la literatura se han reportado algunos beneficios como un incremento en los índices de productividad, calidad, seguridad, satisfacción del cliente y reducción de plazos de entrega (Pons, 2014), la reducción del costo y una mejora en la calidad (Zhang & Chen, 2016), la reducción de residuos y el aumento de las actividades de valor añadido (Sertyesilisik, 2016), la minimización de los residuos de tiempo, material y esfuerzo en logística y finalmente el aumento de la eficiencia logística mediante el uso de herramientas JIT, reducción del valor de transportación y minimización del flujo de tránsito (Kim, Azari-N, Yi, & Bae, 2013).

Con base en una revisión de literatura de 111 artículos relacionados a Lean Construction, de los cuales 75 están relacionados directamente con la implementación de LC. Se han encontrado varios de ellos que sugieren ahondar en el tema de los factores críticos de éxito. La tabla 1 muestra un extracto de los artículos que reportan un incremento en los beneficios obtenidos, así como las recomendaciones que sugieren que se profundice en el tema.

Tabla 1. Artículos revisados con contenido relevante para la investigación.

REF.	AÑO	FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO	RESULTADOS OBTENIDOS	RECOMENDACIONES
Abdusalam & Al-Suadari	2007	-Trabajo en equipo. -Estrategias de flexibilidad. -Mejora continua.	Mejora el flujo de materiales de construcción, menos tiempo en la cadena de valor y como resultado, el proceso más ágil.	Hay factores que gobiernan cada proceso. Re-trabajo, incertidumbre, competencias laborales, condiciones del lugar y ubicación son algunos ejemplos de este tipo de factores que necesitan más análisis para los procesos de Lean Construction.
Alarcón & Pellicer	2009	-Capacitación y entrenamiento. -Dirección de los mandos superiores. -Trabajo en equipo. -Equipos multidisciplinarios.	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora en la gestión y control del proyecto incluso inferior al 50% en algunos casos. • Mayor implicación de los mandos medios. • Disminución de pedidos urgentes e imprevistos. • Percepción de una mayor productividad. • Menores plazos de ejecución de las obras. 	Nos encontramos con el clásico problema que aparece en todas las empresas del sector: el día a día impide una reflexión adecuada sobre el pasado (lecciones aprendidas) y sobre el futuro (planificación e innovación). Existe un temor a la divulgación de las buenas prácticas empresariales (lo que habitualmente se denomina “benchmarking”).
Sánchez	2012	-Comunicación. -Conocimiento de la metodología. -Flexibilidad.	Se defiende la compatibilidad de ambos métodos y se propone un modelo que puede permitir la implementación de ambos de forma sistemática y coherente.	Queda para posteriores estudios analizar: <ul style="list-style-type: none"> • Adopción completa de todas las técnicas de Lean Construction. • Normas de diseño estandarizadas para sus proyectos. • Diseño de Proyectos estándar, presupuesto y duración asociadas.
Spišáková & Kozlovská	2013	-Capacidades del personal. -Tecnología. -Mejora en los procesos.	El documento presentado proporciona una nueva visión de la producción moderna en un edificio donde se da lugar a la idea de la producción Lean.	Es necesario un enfoque y esfuerzo continuo dentro de la industria con el fin de alcanzar los objetivos de la construcción sostenible y la reducción de los impactos ambientales de la construcción.

Aziz & Hafez	2013	-Gestión de la construcción. -Tecnología. -Mecanismos y habilidades de mejora. -Motivación de los empleados. -Perspectiva y objetivos de mejora.	Las herramientas basadas en LEAN han surgido y se han aplicado con éxito a los proyectos de construcción simples y complejos. En general, los proyectos de construcción LEAN son más fáciles para gestionar, más seguro, más pronto terminado, cuestan menos y son de mejor calidad.	Investigación futura necesita: (1) Desarrollar y validar un modelo completo de mejora del rendimiento; (2) Examine más a fondo el comportamiento del proceso de mejora a lo largo del tiempo; y (c) Use el modelo como punto de partida para el rediseño del sistema mediante la adición de bucles y rompiendo enlaces.
Pons	2014	-Compromiso de la dirección. -Motivación del personal. -Plan de formación del personal. -Liderazgo. -Motivación de los empleados.	Mayores índices de productividad, calidad, seguridad, satisfacción del cliente y reducción de plazos de entrega, entre otras ventajas. Representan la diferencia entre que un proyecto sea viable. Marca la ventaja competitiva en la licitación o adjudicación de proyectos y reducir el costo para el cliente y aumentar el beneficio del negocio.	El orden lógico para que se produzca con éxito LC requiere de tres fases: 1) difundir y enseñar el modelo de LC; 2) formar a los diferentes actores y agentes sociales, con especial énfasis hacia los empresarios, que son quienes han de liderar y facilitar los recursos; 3) comenzar rápidamente la implantación mediante proyectos piloto para tener cuanto antes casos de éxito, que sirvan de referencia a otras empresas u otros proyectos de la misma empresa; teniendo en cuenta la adaptación de este modelo a las circunstancias, cultura y recursos de cada empresa y cada región o país.
Ramos, Dávalos, & López	2015	-Compromiso de la dirección. -Pensamiento y cultura.	En sectores como la edificación de vivienda en serie, se pueden obtener crecimientos económicos y una reducción considerable en el impacto ambiental, gracias a las técnicas que tiene LC.	Es necesario cambiar la mentalidad que se tiene al respecto, ya que las evidencias son prueba fehaciente de los resultados que LC produce en el ámbito de la construcción.
Mohammad A. N., Mohd, Rohaizah, Nadzri, & Herman	2016	-Compromiso de la gerencia. -Aspecto financiero. -Educación. -Gobierno. -Aspecto técnico. -Actitud del personal.	Se demostró que hay una necesidad de integrar el concepto JIT en el aspecto de la gestión de la logística en el proyecto	Las investigaciones realizadas en este campo particular y el concepto es escasa; por lo tanto, hay una necesidad de que se lleve a cabo una investigación en esta área potencial. Se necesita más investigación extensa sobre estas áreas, especialmente en los factores clave del éxito de la integración de JIT en la gestión de la logística.
Zhang & Chen	2016	-Aprendizaje y creación del conocimiento. -Empoderamiento. -Innovación organizacional.	Implementación de herramientas lean facilita la creación de conocimiento en aras de resolver problemas, aumenta la innovación de las empresas para resolver las cosas de forma	Para estudios futuros se deben hacer algunas investigaciones profundas y empíricas para sondear las herramientas lean que generen un impacto en los procesos para la conversión de

			<p>efectiva, eliminación de residuos y mantener la competitividad.</p> <p>Proporciona a los futuros proyectos un mayor nivel de conocimiento para apoyar la toma de decisiones con rapidez. Ayuda a reducir el costo y mejorar la calidad. Cuando se implementan herramientas lean, facilitan la creación de conocimiento.</p>	<p>conocimiento, ya que en esta encuesta sólo se inspeccionó herramientas lean y el efecto general sobre el conocimiento.</p>
Sertyesilisik	2016	<ul style="list-style-type: none"> -Cultura y enfoque estratégico. -Pensamiento organizacional Lean. -Liderazgo de la dirección. -Integración de gestión de operaciones. -Prácticas de gestión de recursos humanos. 	<p>La gestión de proyectos en Lean Construction contribuye a la reducción del impacto medioambiental de la industria de la construcción, lo que permite la reducción de residuos, y el aumento de las actividades de valor añadido.</p>	<p>Se recomienda más investigación para ser llevada a cabo la forma de la dinámica de sostenibilidad generalizadas integrando prácticas lean en la gestión de la cadena de suministro en toda la industria de la construcción.</p>
Sorokhaibam & Chandan	2017	<ul style="list-style-type: none"> -Capacidad tecnológica. -Resistencia al cambio. -Enfoque verde (sustentabilidad). -Sistemas de medición de rendimiento. -Soporte gubernamental. -Conocimiento y comprensión de LC. -Diferencia cultural. -Planeación y calidad. -Consultoría y entrenamiento. 	<p>En este documento, se ha desarrollado un modelo basado en ISM que establece una jerarquía adecuada y desarrolla las interrelaciones entre las principales barreras para implementar Lean en la industria de la construcción. Se encuentra que la diferencia cultural es la barrera más importante, mientras que la resistencia al cambio y la falta de sistemas de medición del desempeño son las barreras menos importantes.</p>	<p>El trabajo se limita a la revisión de la literatura y el juicio de los expertos. Un juicio sesgado de un experto que juzga las barreras a LC podría controlar el resultado final.</p>
Sarhan, Xia, Fawzia, Karim, & Olanipekun	2018	<ul style="list-style-type: none"> -Cultura organizacional y pensamiento. -Habilidad sobre técnicas Lean. -Comprensión del enfoque Lean. -Soporte gubernamental. -Avance tecnológico. 	<p>Este estudio ha identificado las barreras para la implementación de la construcción Lean y, al mismo tiempo, ha priorizado los principales factores que constituyen estas barreras en el orden de su penetración en la industria de la construcción de KSA.</p>	<p>Es necesario realizar más investigaciones para comprender el papel de la cultura nacional en la implementación de LC, así como la forma en que las culturas nacionales en diferentes países constituyen barreras para la implementación.</p>
Saini, Arif, & Kulonda	2018	<ul style="list-style-type: none"> -Confianza entre organizaciones y personas. -Transferencia de conocimiento. -Capacidad de liderazgo. -Estrategias corporativas. -Motivación. -Habilidades y entrenamiento. 	<p>Este estudio identifica los CSF (critical succes factor) para facilitar la transferencia y el intercambio de conocimiento tácito en procesos de construcción lean y ágiles.</p>	<p>Un estudio similar en otra área o país podría destacar un conjunto diferente de CSF para la transferencia y el intercambio de conocimiento tácito. Es importante intentar una investigación específica del sector y examinar los hallazgos de este estudio.</p>

Lean Construction está basada en la gestión de proyectos de construcción siguiendo los principios de la mejora continua y Lean Manufacturing. Este método Lean tiene como objetivo la mejora continua, minimizar las pérdidas y maximizar el valor del producto final, diseñado conjuntamente con el cliente. A partir de la aplicación de técnicas que incrementan la productividad de los procesos de construcción, se consigue mejorar la rentabilidad total del proyecto y eliminar los desperdicios, o "todo aquello que no agrega valor al producto final", de la misma forma que sucede en Lean Manufacturing. En la filosofía Lean todo lo que no le brinda valor al cliente, se define como "muda" o desperdicio, y, por lo tanto, puede ser eliminado o reducido. Según Pons (2014) la definición de dicho concepto: "Muda" es una palabra japonesa que significa desperdicio, en el sentido de toda aquella actividad humana que absorbe recursos, pero no crea valor.

Algunas de las ineficiencias (desperdicios o mudas) que pueden tener lugar en la construcción y que podrían evitarse con el método LC son las siguientes:

- Tiempos de espera por insuficientes equipos, herramientas o materiales.
- Tiempos de espera debido a actividades anteriores inacabadas o mal realizadas.
- Tiempos de espera por falta de una correcta instrucción para realizar el trabajo (estándares de trabajo).
- Tiempo de inactividad debido a la actitud del trabajador o al exceso número de trabajadores en un área determinada de trabajo (se genera sobreproducción en momentos puntuales).
- Desplazamientos innecesarios provocados por recursos insuficientes y por falta de una adecuada planificación.
- Acumulación de materiales en plazos no adecuados (se generan almacenes e inventarios innecesarios).
- Retrasos por incumplimiento de las especificaciones y cambios en el diseño.

Succonini (2013), menciona dentro de los grandes desperdicios en la construcción:

- Diseño ineficiente.
- Administración del proyecto (Sobreproducción, transporte, inventarios, entre otros).
- Sobrecarga.

Asimismo, Delgado (2014) menciona que mediante el uso de técnicas y herramientas de LC se pueden eliminar la mayor parte de las pérdidas de un sistema tradicional, además esto conlleva una reestructuración que elimina los otros 7+1 desperdicios:

1. Sobreproducción.
2. Tiempo de espera (esperar correos, faxes, materiales, el trabajo de un compañero).
3. Transporte (Transportar documentos, materiales, equipos).
4. Sobreprocesamiento (Papeleos, formatos anticuados, software inadecuado).
5. Exceso de inventario (materiales apilados, suministros esperando).
6. Exceso de movimiento (Buscar archivos, información, manuales, catálogos).
7. Rehacer trabajo (defectos).
8. Creatividad del empleado desaprovechada.

Algunos autores son más específicos en el desglose de los desperdicios generados por el proceso de construcción, pero se puede observar que se tiene una similitud para la clasificación entre los distintos autores.

1.1.1 Necesidades de Lean Construction en el sector de la construcción en México

El Índice Global de Competitividad (IGC) desarrollado por el World Economic Forum (WEF), es una herramienta que utilizan los empresarios e inversionistas interesados en identificar las fortalezas y debilidades de un país para tomar la mejor decisión en cuanto a dónde establecer un negocio o invertir, conociendo las condiciones competitivas de cada país estudiado. En su edición 2017-2018 el IGC evaluó 137 naciones, del cual, de acuerdo al ranking mundial, México descendió 5 lugares en la calidad de infraestructura, al pasar del puesto 57 logrado en la edición 2016-2017 a la posición 62 en la edición 2017-2018. Dentro del Ranking Latinoamericano de Infraestructura (RLI) desarrollado de igual forma por el WEF, México se encuentra en el 4º lugar, por debajo de Panamá, Chile y Uruguay (CEESCO, 2017).

La Cámara Nacional de la Industria de la Construcción (2017), menciona que el área de oportunidad en México para los próximos años es el impulso y desarrollo en infraestructura de competitividad mundial que permita fundamentar el desarrollo económico y social. Para ello, se deben implementar mejoras en cada etapa del ciclo de infraestructura que muestra la figura 1.1.1, para asegurar que los proyectos se preparen, contraten, ejecuten y operen con mayor eficacia y eficiencia.



Figura 1.1.1 Etapas del ciclo de desarrollo de infraestructura.

De acuerdo al centro de estudios económicos del sector de la construcción (CEESCO, 2018), la industria de la Construcción es la tercera actividad económica con mayor capacidad de generación de empleo: 6.1 millones de puestos de trabajo directos. En 2017 la industria de la construcción se consolidó como el cuarto sector económico más importante a nivel nacional, aportando el 8.0% al PIB total, sólo por detrás de las manufacturas, comercio y servicios

inmobiliarios. Durante 2016 (CEESCO), el subsector edificación contribuyó con el 70% al PIB de la construcción (926 mil millones de pesos) su mayor participación en los últimos siete años. De acuerdo con información derivada de la Encuesta Nacional de Empresas Constructoras (ENEC), la rama que mayor valor aportó al subsector edificación fue la construcción de edificios industriales, comerciales y de servicios, generando el 48% del valor de la obra producida en 2016. Concluido el primer trimestre del año 2018, se prevé que la industria de la construcción registre un crecimiento de entre 1.0 a 2.0%, impulsada fundamentalmente por el subsector de Edificación (Obra privada): la construcción inmobiliaria residencial para estratos medios y altos, de oficinas y usos mixtos, así como el crecimiento de la infraestructura comercial, de servicios, hotelera y turística en general (CEESCO, 2018).

La industria de la construcción representa una de las mayores actividades económicas del mundo, y en México no es la excepción, dejando una derrama económica significativa en el PIB del país (Ramos, Dávalos, & López, 2015). La construcción de infraestructura genera crecimiento, dado que aumenta la capacidad productiva. La creación de ciudades y regiones permitan e incentiven el desarrollo sustentable es el resultado de la integración inteligente de proyectos de infraestructura (CMIC, 2012).

1.2 Contexto de la Investigación

Las diferencias entre la industria de la construcción y el sector de la fabricación existen y son admitidas, pero no como una razón que justifique la dificultad para implantar el sistema Lean, sino como un desafío que debe abordar de manera definitiva la industria de la construcción (Pons, 2014). Pese a que la metodología *Lean Construction* aventaja en muchos aspectos a los sistemas tradicionales de construcción, no ha logrado imponerse en nuestro país por una serie de razones que se pretenden determinar en el presente proyecto.

1.3 Planteamiento del problema

En México se tiene un desconocimiento del nivel de implementación sobre estrategias de mejora continua que propicien a la eficiencia dentro del sub-sector edificación en la industria de la construcción, así como una falta de difusión de técnicas y herramientas de apoyo que permitan un desarrollo y crecimiento en la forma de pensamiento *Lean*.

1.4 Preguntas de investigación

Con base en la revisión de literatura realizada hasta el momento y enfocando la información hacia la problemática encontrada en el país, se establecen las siguientes preguntas de investigación:

- 1) ¿Cuáles son los beneficios que se obtienen al implementar la metodología Lean Construction a nivel mundial?
- 2) ¿Cuáles son los factores críticos de éxito (FCE) que incrementan los beneficios al implementar Lean Construction en el mundo?

- 3) ¿Cuáles son las herramientas y técnicas de Lean Construction que sirven como apoyo para una correcta implementación de la metodología a nivel mundial?
- 4) ¿Cuál es grado de conocimiento de la metodología Lean Construction en México?

1.5 Hipótesis

Algunos autores como Zhang & Chen (2016) mencionan que la implementación de herramientas lean, aumenta la innovación de las empresas para resolver las cosas de forma efectiva, eliminación de residuos y mantener la competitividad, proporciona a los futuros proyectos un mayor nivel de conocimiento para apoyar la toma de decisiones con rapidez, ayuda a reducir el costo y mejorar la calidad. De forma similar, Sertyesilisik (2016) menciona que la gestión de proyectos en Lean Construction contribuye a la reducción del impacto medioambiental de la industria de la construcción, lo que permite la reducción de residuos, y el aumento de las actividades de valor añadido. Por lo que se considera como primera hipótesis lo siguiente:

H₁: Existen múltiples beneficios que se obtienen durante la implementación de LC, los cuáles se pueden clasificar en términos de la sustentabilidad: beneficios en los aspectos económico, social y medio ambiental.

Cabe destacar que dentro de la revisión de literatura que se ha llevado a cabo hasta el momento, se ha encontrado que algunos de los factores críticos para una correcta implementación de la metodología en distintas partes del mundo son: el aprendizaje y mejora continua, pensamiento y cultura, la gestión de la calidad total y la flexibilidad en el trabajo (Ramos, Dávalos, & López, 2015; Aziz & Hafez, 2013; Mohammad A. N., Mohd, Rohaizah, Nadzri, & Herman, 2016; Alarcón, Diethelm, Rojo, & Calderón, 2008; Marhani, Jaapar, & Bari, 2012), por lo que es conveniente determinar si son críticos también para la implementación de la metodología en México. Por lo tanto, se formula la segunda hipótesis:

H₂: Aprendizaje y mejora continua, pensamiento y cultura, la gestión de la calidad total (TQM), resistencia al cambio, trabajo en equipo y sustentabilidad son los factores críticos en la implementación de la metodología Lean Construction.

Desde sus inicios hasta ahora, LC contiene varias herramientas que generan beneficios muy importantes en el aspecto económico, social y ambiental; prueba de esto es la implementación en países como Estados Unidos, Brasil, Chile, Inglaterra (Ramos, Dávalos, & López, 2015). Estas herramientas se encuentran clasificadas en las distintas etapas que componen las metodologías propuestas por distintos autores, por lo que se propone la hipótesis número tres:

H₃: El método LPDS es la metodología que agrupa las herramientas y técnicas críticas para una correcta implementación de la metodología.

Valdés (2015), menciona que uno de los problemas que actualmente presenta la filosofía Lean Construction en México, es la falta de difusión de sus técnicas, con el consiguiente desconocimiento de las mismas por parte de ingenieros y arquitectos. De forma concordante con lo mencionado con el autor, durante la revisión de literatura sobre LC en México los

artículos de investigación fueron escasos o prácticamente nulos en comparación con lo encontrado por autores de países en desarrollo, es decir, al mismo nivel en el que se encuentra México, lo cual nos lleva a determinar la cuarta hipótesis para el presente proyecto:

H₄: El sector edificación tiene un bajo nivel de implementación de la metodología Lean Construction en México.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Diagnosticar el grado de implementación de la metodología *Lean Construction* en el subsector “Edificación” de la industria de construcción en México.

1.6.2 Objetivos específicos.

1. Determinar los factores críticos para la correcta implementación de *Lean Construction*, así como el impacto que generan en la misma.
2. Determinar las técnicas y herramientas más utilizadas en proyectos exitosos de mejora de procesos en el sector de la construcción a nivel mundial.
3. Determinar las necesidades de capacitación sobre herramientas y técnicas de mejora que actualmente no se aplican, se aplican incorrectamente o se desconocen en el sector de construcción en México.
4. Caracterizar del nivel de implementación de *Lean Construction* en México mediante el análisis comparativo de la aplicación de la metodología contra el sistema tradicional.

1.7 Justificación

Mohammad, Mohd, Rohaizah, Nadzri, & Herman (2016), mencionan que las investigaciones realizadas en este campo particular, así como el concepto de *Lean Construction* es escasa; por lo tanto, hay una necesidad de que se lleve a cabo una investigación en esta área. Se necesita más investigación, especialmente en los factores clave del éxito de la integración de JIT en la gestión de la logística en construcción. De igual manera, Zhang & Chen (2016), argumentan que se deben hacer algunas investigaciones profundas y empíricas para sondear las herramientas lean que generen un impacto en los procesos para la conversión de conocimiento.

Sertyesilisik (2016), así como Sorokhaibam & Chandan (2016), recomienda realizar más investigación para ser llevada a cabo la forma de la dinámica de sostenibilidad generalizadas integrando prácticas lean en la gestión de la cadena de suministro en toda la industria de la construcción.

Sarhan, Xia, Fawzia, Karim, & Olanipekun (2018), comentan en su investigación que es necesario realizar más investigaciones para comprender el papel de la cultura nacional en la implementación de LC, así como la forma en que las culturas nacionales en diferentes países constituyen barreras para la implementación. Por su parte, Saini, Arif, & Kulonda (2018) argumentan que un estudio similar al desarrollado por ellos en otra área o país podría destacar un conjunto diferente de FCE para la transferencia y el intercambio de conocimiento tácito, por lo que es importante intentar una investigación específica del sector y examinar los hallazgos de este estudio al realizar una comparación.

Bajo este contexto y, al conocer las ventajas de la metodología Lean Construction, se puede analizar la posibilidad de la implementación en México, buscando como objetivo optimizar los rendimientos de las actividades, reducir las pérdidas y finalmente aumentar utilidades, basados en los limitantes existentes de la región, además, proporcionar las herramientas estandarizadas de un proceso constructivo que propicie una equidad frente a la competencia de las empresas transnacionales de esta manera, colocar al sector de la construcción en México con un nivel competitivo en calidad mundial.

Las técnicas y herramientas innovadoras de mejora de procesos y productos han tenido una gran aceptación en la industria manufacturera en México, sin embargo, por diversas circunstancias, su aplicación no ha logrado grandes alcances en el sector de la construcción. Valdés (2015), menciona que la industria de la construcción en México presenta un carácter tradicionalista con gran dificultad para incorporar cambios en sus procedimientos, esto debido a la costumbre de trabajar de la misma manera durante años, contemplando su metodología como el único camino viable para terminar su producto.

Por consiguiente, en México se tiene la necesidad de generar el conocimiento sobre las estrategias de implementación de LC que permitan una adopción exitosa de acuerdo a las limitaciones y capacidades con las que se cuenta en el país, utilizando como base los FCE, herramientas y técnicas que han ayudado a otros países a su implementación y que se encuentran en vía de desarrollo como México, además, conocer el nivel de implementación sobre LC en el que se encuentran los países desarrollados, así como los beneficios que se han obtenido a lo largo del tiempo en el que han trabajado con esta metodología. Es necesario obtener información sobre el nivel actual en el que se encuentra el país con respecto a la adopción de estrategias de mejora continua para poder establecer las bases y principios en los que se deben trabajar para lograr una implementación que reporte beneficios considerables que nos lleve a una evolución significativa en el sector en el menor tiempo posible, y de esta manera, lograr un avance significativo en comparación con el estado en el que nos encontramos hasta ahora y con respecto a los demás países que se encuentran en la misma situación.

Para determinar el campo de estudio propuesto para este proyecto de investigación, se tomó en cuenta el valor de la producción (Tabla 2), que se define como “La suma total del valor de los bienes y servicios producidos por una sociedad e incluye el valor de todos los productos sin considerar si son de demanda intermedia o de demanda final”, en el cual, los niveles de vida tienen un impacto directo en el valor de la producción. Este mercado hace referencia al lugar donde confluyen oferentes (empresas) y demandantes (familias o gobierno) de bienes y/o servicios producidos en la economía. Para la cuantificación de dichos bienes y servicios,

es utilizado el Producto Interno Bruto (PIB) que contabiliza el valor de todos los bienes y servicios producidos dentro del territorio nacional en un periodo de tiempo determinado, este valor es de gran importancia para el análisis de la situación económica de cualquier país (Dornbusch, Fisher, & Startz, 2015). De igual forma se tomó en cuenta la cantidad de unidades económicas por estado que representen el 80% del país para que la investigación sea relevante a nivel nacional como se representa en la tabla 3.

Tabla 2. Estados de la república que representan el 80% aproximado del valor de la producción nacional.

	ESTADO (ENE-MAR 2016)	VALOR DE LA PRODUCCIÓN (EDIFICACIÓN- PESOS)	% CON RESPECTO AL TOTAL NACIONAL
1	BAJA CALIFORNIA	\$1,641,257.00	3.29%
2	CHIHUAHUA	\$2,711,756.00	5.44%
3	CIUDAD DE MÉXICO	\$2,489,704.00	4.99%
4	GUANAJUATO	\$4,484,463.00	8.99%
5	JALISCO	\$3,639,524.00	7.30%
6	ESTADO DE MÉXICO	\$2,284,965.00	4.58%
7	MICHOACÁN	\$1,649,357.00	3.31%
8	NUEVO LEÓN	\$7,278,988.00	14.60%
9	QUERÉTARO	\$1,948,491.00	3.91%
10	QUINTANA ROO	\$1,738,965.00	3.49%
11	SAN LUIS POTOSÍ	\$2,137,340.00	4.29%
12	SONORA	\$1,907,163.00	3.82%
13	TAMAULIPAS	\$2,072,701.00	4.16%
14	VERACRUZ	\$1,866,951.00	3.74%
15	YUCATÁN	\$1,455,051.00	2.92%
	SUMA TOTAL	\$49,869,134.00	78.82%

Tabla 3. Estados de la república que representan el 80% aproximado de las unidades económicas nacionales.

	ESTADO (ENE-MAR 2016)	UNIDADES ECONÓMICAS	% CON RESPECTO AL TOTAL NACIONAL
1	BAJA CALIFORNIA	22	3.27%
2	COAHUILA	26	3.86%
3	CHIHUAHUA	22	3.27%
4	CIUDAD DE MÉXICO	73	10.85%
5	GUANAJUATO	35	5.20%
6	JALISCO	75	11.14%
7	ESTADO DE MÉXICO	26	3.86%
8	MICHOACÁN	22	3.27%
9	NUEVO LEÓN	61	9.06%
10	QUERÉTARO	24	3.57%
11	SINALOA	24	3.57%
12	SONORA	45	6.69%
13	TAMAULIPAS	22	3.27%
14	VERACRUZ	30	4.46%
15	YUCATÁN	22	3.27%
	TOTAL PAÍS	673	78.60%

1.8 Delimitación y limitación del proyecto

La investigación se delimita en el desarrollo y elaboración de un instrumento de medición, capaz de determinar la situación actual sobre la implementación de Lean Construction en empresas del sub-sector edificación en México, no se toma en cuenta algún otro sector. Las empresas muestreadas fueron medianas y grandes con personal ocupado igual o mayor a 100 empleados, debido a que son las que cuentan con las condiciones mínimas para la implementación de metodologías de mejora continua. Existen 674 unidades económicas registradas en el directorio estadístico nacional de unidades económicas (DENUE-INEGI) que cumplen con las características de la unidad de observación para el desarrollo de esta investigación. De acuerdo a los 15 estados que representan el 78.6% de todo el país en el sub-sector “Edificación” y la población muestreada, el marco de muestreo serán las 529 unidades económicas medianas y grandes del sub-sector “Edificación” registradas en el DENUE.

Para determinar los factores críticos de éxito y herramientas de Lean Construction se realizó una revisión de literatura, los artículos que se tomaron en cuenta fueron los publicados en el periodo del 2009 al 2018. Para la obtención de los ítems en cada FCE se tomaron en cuenta trabajos de otras áreas de investigación y se adecuaron para LC, debido a que existe una escasez de instrumentos en LC.

La limitación en este proyecto de investigación es que no se encontró mucha literatura que sustente el conocimiento y la implementación de Lean Construction en México, sólo a nivel mundial. De igual manera, otra limitante fue la dificultad para obtener respuestas completas por parte de las empresas, así como el tiempo con el que se contó para la obtención de las mismas.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Lean Construction

La aplicación de los principios y herramientas del sistema Lean a lo largo de todo el ciclo de vida de un proyecto de construcción se conoce como Lean Construction o construcción sin pérdidas. Lean Construction abarca la aplicación de los principios y herramientas Lean al proceso completo de un proyecto desde su concepción hasta su ejecución y puesta en servicio. Entendemos Lean como una filosofía de trabajo que busca la excelencia de la empresa, por lo tanto, sus principios pueden aplicarse en todas las fases de un proyecto: diseño, ingeniería, pre-comercialización, marketing y ventas, ejecución, servicio de postventa, atención al cliente, puesta en marcha y mantenimiento del edificio, administración de la empresa, logística y relación con la cadena de suministro (Pons, 2014).

El Lean Construction Institute (2017) define de la siguiente manera el término Lean Construction (LC): Es un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto, es una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructuras. 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. Como resultado:

- ✓ La edificación o infraestructura y su entrega son diseñados juntos para mostrar y apoyar mejor los propósitos de los clientes.
- ✓ El trabajo se estructura en todo el proceso para maximizar el valor y reducir los desperdicios a nivel de ejecución de los proyectos.
- ✓ Los esfuerzos para gestionar y mejorar el rendimiento están destinados a mejorar el rendimiento total del proyecto, ya que esto es más importante que la reducción de los costos o el aumento de la velocidad de ninguna actividad aislada.
- ✓ El Control se redefine como pasar de “monitorizar los resultados” a “hacer que las cosas sucedan”. Los rendimientos de los sistemas de planificación y control se miden y se mejoran.
- ✓ La notificación fiable del trabajo entre especialistas en diseño, suministro y montaje o ejecución asegura que se entregue valor al cliente y se reduzcan los desperdicios.

2.1.1. Antecedentes de Lean Construction

El término “Lean” se origina en el Japón a fines de la década de los 50 e inicios de los 60, como producto de las investigaciones realizadas por ingenieros de la empresa ensambladora de automóviles Toyota Motor, que pretendía mejorar su línea de producción. (Porrás, Sánchez, & Galvis, 2014). Eiji Toyoda y Taiichi Ohno concluyeron que la producción en masa no iba a funcionar en Japón. De esta conclusión, nació lo que llamaron “Sistema de Producción Toyota”, a lo que actualmente se le conoce como “Manufactura Ágil (Lean Manufacturing)” (Padilla, 2010).

Con el desarrollo del proceso de manufactura TPS –Toyota Production System, se logra minimizar las existencias y defectos en todas las operaciones, para mejorar significativamente la producción de la fábrica y abarcar, finalmente, el 40% del mercado

automotor japonés (Porras, Sánchez, & Galvis, 2014). El surgimiento de Japón a su preeminencia económica actual, rápidamente fue seguido por otras empresas, copiando este notable sistema (Padilla, 2010). La “producción Lean” o “producción sin pérdidas”, comprende una gran variedad de sistemas de producción que comparten el principio de minimización de pérdidas de Lean Manufacturing como se puede apreciar en la Figura 2.1.1 (Ballard G. , 1999).

Las ideas que conforman el TPS fueron desarrolladas y refinadas por ingenieros industriales, quienes establecieron su marco teórico y ampliaron el nuevo enfoque de la producción sin pérdidas. Hacia la década de los 80, la información que había sobre este enfoque en Occidente era limitada, sin embargo, la difusión de las ideas del TPS hacia América y Europa iniciaron hacia 1975 en la industria automotriz. Así, al comenzar la década de los 90, la nueva filosofía de producción ya era conocida en otras latitudes, de diferentes maneras, entre ellas “producción sin pérdidas”, “nuevo sistema de producción” o “manufactura de clase mundial”, y fue implementada en otros campos como la administración y el desarrollo de productos (Koskela, 1992).

En 1992 Lauri Koskela empezó a implementar esta filosofía en el sector de la construcción; resultado de ello es su trabajo “Aplicación de la nueva filosofía de producción a la construcción”, producido en el grupo de investigación CIFE de la Universidad de Stanford, en el cual sostuvo que la producción debía ser mejorada mediante la eliminación de los flujos de materiales y que las actividades de conversión mejorarían la eficiencia (Forbes & Ahmed, 2011). El término Lean Construction (LC) fue acuñado por los fundadores del Grupo Internacional de Lean Construction (IGLC) en 1993 (Pons, 2014).

Koskela (1992), propuso la construcción como un sistema de producción, basado principalmente en eliminar desperdicios. LC constituye un enfoque por etapas que comprende la definición de proyecto, el diseño, el suministro, el montaje o ejecución y el uso y mantenimiento posterior del edificio, instalaciones o infraestructura. Otros investigadores, como Glenn Ballard, aportaron herramientas para la adaptación de la producción “Lean” al sector constructivo. Ballard empezó a trabajar con Koskela luego de oírlo hablar en una conferencia en la Universidad de Berkeley, y juntos conformaron el Grupo Internacional de Lean Construction, surgido durante la primera conferencia sobre sistemas de gestión de proyectos de construcción en 1993 en Helsinki- Finlandia, donde se decide usar, por primera vez, la expresión “Lean Construction” para referirse a la implementación de la nueva filosofía de producción en el sector constructivo (Porras, Sánchez, & Galvis, 2014).



Figura 2.1.1 Filosofía y principios de Lean Construction (Ballard G. , 1999).

Ballard fue pionero en el desarrollo del Sistema Último Planificador (SUP) en 1992, basado en el concepto de reducción de los niveles jerárquicos de la gestión en la construcción para optimizar el proceso de asignación de recursos disponibles en la planeación semanal, y programación y ejecución de los trabajos (Porras, Sánchez, & Galvis, 2014). Ballard plantea que una buena planificación ocurre cuando se superan algunos obstáculos presentes en la industria de la construcción, como cuando la planificación no se concibe como un sistema, sino que se basa en las habilidades y el talento del profesional a cargo de la programación; el desempeño del sistema de planificación no se mide y los errores en la planificación no se analizan, ni se identifican las causas de su ocurrencia. (Botero & Álvarez, 2005)

En 1997 Glenn Ballard y Greg Howell crearon el Lean Construction Institute con el objetivo de desarrollar y difundir nuevos conocimientos en la gestión de proyectos, ya que en los proyectos de construcción tradicionalmente no se respetaban los principios de diseño y la gestión de los procesos de producción mediante el enfoque diseño-licitación-construcción no era completamente óptima para lograr buenos beneficios por el contrario se tenían atrasos en la finalización de la mayoría de ellos, sobrecostos para los constructores y clientes insatisfechos por las demoras (LCI, 2017).

Aunque los principios en que se sustenta la filosofía “Lean”, como la mejora de los modelos de ejecución de proyectos constructivos, la maximización del valor para el cliente y reducción al mínimo las pérdidas (Bertelsen, 2004), eran conocidos, fue Koskela quien los formuló en el 2000, después de diez años de investigación; luego, en el 2001 Ballard los mejoró. Como lo menciona Bertelsen (2004), LC es la adaptación y aplicación de los principios de producción de la fabricación japonesa a la construcción, en la cual se asume que esta es un tipo de producción especial.

Pons (2014), dentro de su artículo, describe que se puede entender mejor la implementación de Lean Construction gracias al Lean Project Delivery System (LPDS), ya que es una herramienta integradora que ofrece una visión de conjunto de todas las fases del proyecto, desde un punto de vista Lean. La primera versión a nivel teórico del LPDS fue desarrollada por Glenn Ballard y publicada por el LCI en el año 2000.

2.1.2 Lean Project Delivery System (LPDS)

De acuerdo a Castillo (2014), Lean Project Delivery System o Sistema de Entrega de Proyectos Lean, es un marco conceptual desarrollado por Ballard (2000) que pretende trasladar los principios del sistema de producción de Toyota a la producción en la construcción. Consiste en una serie de conceptos para la toma de decisiones, procedimientos para la ejecución de funciones, técnicas y métodos. Tiene por objetivo orientar a la ejecución de proyectos de construcción sin pérdidas.

A su vez Pons (2014) dice que LPDS se define como un proceso colaborativo para la gestión integral del proyecto, a lo largo de todo el ciclo de vida de éste. Se emplea un equipo en todo el proceso para alinear fines, recursos y restricciones. Se trata de un enfoque por etapas que comprende la definición del proyecto, el diseño, el suministro, el montaje o ejecución y el uso y mantenimiento posterior del edificio, instalaciones o infraestructura.

2.1.2.1 Fases de un proyecto Lean según el LPDS

El LPDS (Figura 2.1.2.1) se representa mediante un modelo que contiene fases y módulos. Cinco fases son interdependientes por lo que comparten un módulo: la definición del proyecto, diseño lean, abastecimiento lean, ejecución lean y uso. El control de la producción y la estructuración del trabajo se extienden a lo largo de las cinco fases. La evaluación post-ocupación interconecta el fin de un proyecto con el inicio del siguiente (Ballard & Zabelle, 2000). Tradicionalmente, los proyectos han sido entendidos en términos de fases, por ejemplo: pre-diseño, diseño, contratación y ejecución. Algunas de las principales diferencias entre la ejecución de un proyecto tradicional y uno según el LPDS se refieren a la definición de las fases, la relación entre fases y los participantes en cada una de ellas (Castillo, 2014; Pons, 2014; Porras, Sánchez, & Galvis, 2014):

a. Fase de definición del proyecto

La definición del proyecto es la primera fase del Sistema de entrega de proyectos lean y consiste en la iteración de tres módulos:

- I. Determinación de las necesidades y valores del cliente.
- II. Análisis de las restricciones para definir el proyecto, llamada también criterios de diseño.
- III. Selecciona la mejor alternativa de diseño conceptual, el cual debe encontrarse de acuerdo a las restricciones, necesidades y valores del cliente.

Esta etapa se realiza involucrando a todas las partes interesadas por ejemplo, los inversionistas, promotores, quienes hacen posible la realización y financiamiento del proyecto. El usuario final, quien será el que hará uso del producto. Además, se tienen

a las entidades gubernamentales, que dictan los reglamentos y normas, y por último se encuentra el equipo de diseño.

Esta fase se encuentra a cargo del propietario y el gerente del proyecto, el cual deberá consultar al equipo de diseño y tomar las decisiones juntas con los demás involucrados en el proyecto.

Incluye las propuestas y valores del cliente y las partes interesadas. Cada uno de los elementos de esta fase puede influir sobre el otro, por lo que se hace necesario un encuentro o reunión entre los diferentes actores para alcanzar una mejor comprensión de los objetivos y valores que motivan a cada uno. Representantes de todas las etapas del ciclo de vida del proyecto tienen que estar involucrados en esta fase inicial, incluidos los miembros del equipo de producción, que son los diseñadores o proyectistas y los constructores. La definición del proyecto y la fase de diseño es la alineación de valores, conceptos y criterios.

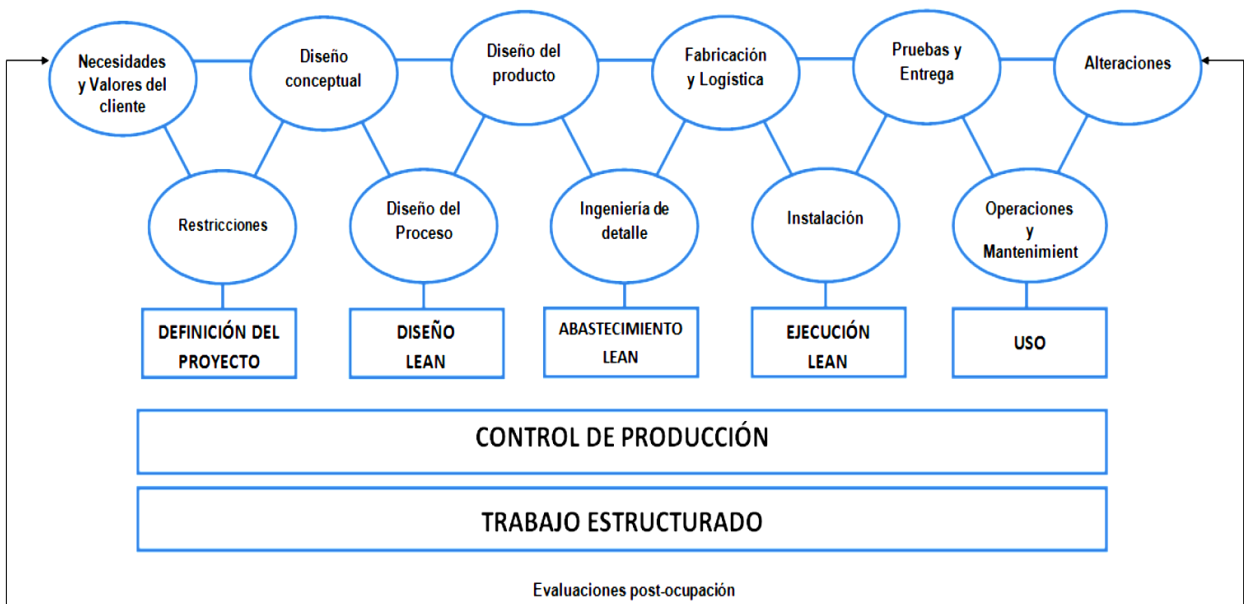


Figura 2.1.2.1. Lean Project Delivery System (Ballard & Zabelle, 2000)

b. Fase de diseño Lean

El diseño lean es la segunda fase del Sistema de entrega de proyectos lean y consiste en la iteración de tres módulos:

- I. Diseño conceptual.
- II. Diseño del proceso.
- III. Diseño del producto.

La fase de Diseño Lean se encuentra a cargo del equipo de diseño, los cuales son responsables no solo del diseño del producto sino también del diseño del proceso. El diseño del producto y proceso son realizados para lograr alcanzar las metas. El equipo de diseño tendrá como base el diseño conceptual realizado en la fase previa (definición del proyecto), el cuál será modificado de acuerdo a los criterios del equipo, obteniendo un diseño final del proyecto. Los objetivos del Diseño Lean son controlar los objetivos de tiempo y costo del proyecto, y la meta de reducir las pérdidas sin disminuir el valor; diseño final del proyecto; capturar y hacer accesible el diseño de las instalaciones; minimizar la pérdida de valor mediante el transcurso de las fases del proyecto.

Durante todo el proyecto, el cálculo rápido y sincronizado de alternativas es importante para permitir la toma de decisiones que más beneficie al negocio y al proyecto. Asimismo, durante la fase de diseño se completa el desarrollo del Programa Maestro y el Diseño de Procesos. Mientras se examinan los diseños, los usuarios finales/clientes pueden revisar los modelos físicos o virtuales para alinear el uso real con el diseño, lo que permite seguir los requisitos funcionales, también se desarrolla a través de la comunicación, esta vez dedicada a alinear el diseño del producto y el diseño del proceso a nivel de sistemas funcionales. El diseño Lean difiere de la práctica tradicional en aplazar de forma sistemática las decisiones hasta el último momento responsable con el fin de dar más tiempo para desarrollar y explorar mejores alternativas.

c. Fase de suministro Lean

El suministro Lean es la tercera fase del Sistema de entrega de proyectos lean y consiste en la iteración de tres módulos:

- I. Diseño del producto
- II. Ingeniería de detalle
- III. Fabricación y logística

El suministro requiere de la coordinación entre los proveedores, proyectistas y constructores. Está referido a los procesos que involucran la entrega de bienes y servicios de los componentes en la fase de construcción Lean. Tiene por objetivo asegurar la entrega de información y materiales en el proyecto en el tiempo establecido, al menor costo y máximo valor para el cliente final. La falta de materiales en la obra es una de las causas más frecuentes de retrasos. Durante esta fase se buscan

oportunidades para un ensamblaje temprano, modularización y el uso de materiales estandarizados para evitar el problema de concordancia. Este problema ocurre cuando varios elementos se necesitan al mismo tiempo para el ensamblaje sin embargo uno o varios faltan, lo cual retrasa el trabajo. También se propone eliminar los desperdicios en la adquisición, distribución, almacenamiento, movimiento e inspección de los bienes, servicios e información.

En la literatura de LC se mencionan tres tipos de materiales, sus diferencias se basan en el grado que el cliente puede intervenir en las características del producto. Made-to-stock: Son productos básicos que no requieren que el cliente defina sus características para que puedan ser utilizados en el proyecto. Estos materiales serán encontrados siempre en stock. Por ejemplo: ladrillos, clavos, etc. Made-to-order: Al igual que el anterior, también son productos básicos con la diferencia que necesitan una orden del cliente con las características del producto para poder fabricarse. Por ejemplo: concreto premezclado, viguetas prefabricadas, etc. Engineered-to-order: Son los productos que para poder ser fabricados se requiere de un diseño previo. Por ejemplo: las barandas de escalera, la carpintería de aluminio en ventanas y mamparas, el sistema contra incendios, etc.

Los planes de la cadena de suministro están diseñados para facilitar la entrega Just-in-Time de materiales a la obra. La filosofía detrás de estos acuerdos es suministrar sólo lo necesario, puntualmente en el tiempo requerido, solo en la cantidad necesaria. El plan logístico incluye un suministro de materiales según una planificación Pull y las decisiones deben adoptarse dentro de los plazos de entrega para poder llevar a cabo alternativas, de ahí la importancia en Lean Construction de rediseñar las redes de suministro para reducir su plazo de entrega.

d. Fase de montaje o ejecución Lean

La ejecución Lean es la cuarta fase del Sistema de entrega de proyectos lean y consiste en la iteración de tres módulos:

- I. Fabricación y logística
- II. Instalación
- III. Pruebas y Entrega

La fase de montaje o ejecución Lean inicia con el abastecimiento de las primeras herramientas, materiales, mano de obra, componentes de obra y finaliza cuando las llaves son entregadas al cliente. Esta fase está referida a la construcción del proyecto, en donde se ponen en práctica todos los lineamientos planteados en las fases previas. En general, la construcción de un proyecto es más artesanal que la fabricación. La construcción de un proyecto nunca será igual a otro proyecto, puesto que depende del lugar donde se construye, el tipo de suelo, condiciones sísmicas, entre otros. La ejecución se completa cuando el cliente tiene uso beneficioso de la instalación, que por lo general ocurre después de terminado el proyecto. Durante esta fase se busca reducir las pérdidas durante la construcción del proyecto, mejorar la calidad del producto, mejorar la productividad de la mano de obra y agregar valor al cliente.

En la fase de ejecución Lean, los supervisores de primera línea (jefes de obra, encargados, capataces, etc.), deben tener una capacitación de acuerdo con la nueva filosofía de producción, esto es, ejercer un papel de líderes más que de jefes (en Lean Manufacturing, algunos de estos nombres, más propios de otra época, se están cambiando por otros términos como líderes de equipo). Además de conocer y saber usar las técnicas y herramientas del nuevo modelo productivo, los nuevos líderes deben poseer las habilidades para enseñar a otros, fomentar el trabajo el equipo, participar de manera proactiva en la mejora continua mediante métodos como el PDCA o ciclo de Deming y la estandarización de trabajos, y poseer la capacidad de resolución de problemas mediante el uso de técnicas como el Informe A3 de Toyota o similares.

e. Fase de uso y mantenimiento

Uso es la quinta fase del Sistema de entrega de proyectos lean y consiste en la iteración de tres módulos:

- I. Pruebas y Entrega
- II. Operaciones y Mantenimiento
- III. Alteraciones

Esta fase termina con el cierre de la obra, los retoques definitivos, y la explotación y mantenimiento del edificio o instalaciones. Las principales funciones de esta fase son entregar el producto a tiempo a los clientes; atender los reclamos o dudas de los clientes; comprometerse con los clientes a levantar las observaciones dadas en el menor plazo posible; realizar estadísticas con números importantes para la empresa como: número de reclamos por proyecto, tiempo promedio de solución de reclamos, costo de la solución de reclamos, entre otros; la gestión de lecciones aprendidas.

2.1.3 Principios de Lean Construction

Para la implementación de Lean Construction en los proyectos es necesario iniciar con el compromiso de tener una cultura de mejora continua de la producción para que al aplicar los principios “Lean” correctamente mejoren la seguridad, la calidad y la eficiencia del proyecto (Koskela, 1992). Es decir, para que LC funcione se deben aplicar sus principios en forma concreta a las actividades del proyecto. Lauri Koskela propone 11 principios (Poo, 2003; Gutiérrez, 2011; Porras, Sánchez, & Galvis, 2014):

1.- Reducir las actividades que no aportan valor al cliente: Las actividades innecesarias son todas aquellas que no atribuyen valor al producto (la construcción), por eso deben ser eliminadas. Por ejemplo: reducir desperdicios del proceso, eliminar actividades innecesarias y optimizar/mejorar actividades auxiliares como el transporte o la inspección.

2.- Aumentar el valor del producto/servicio a partir de las consideraciones de los clientes externos/internos: El concepto de valor debe ser considerado desde el punto de vista del cliente (interno y externo). De esta forma, debe ser conocido lo que el

cliente valora para garantizar su satisfacción. Por ejemplo investigación de mercado y evaluación post-venta.

3.- Reducir la variabilidad: Para aplicar este principio es necesario reducir la variabilidad en el proceso productivo. Por ejemplo: materiales defectuosos, procedimientos no estandarizados y necesidades específicas de los clientes involucrados en el proceso.

4.- Reducir el tiempo de ciclo: Este principio se relaciona como la optimización de los tiempos involucrados en la obra relacionados con transportes necesarios, inspección obligatoria y de calidad de proceso y una mayor reducción de improductivos (espera y re-trabajos). Por ejemplo: una forma de reducir el tiempo de ciclo sería estandarizar el proceso productivo con el fin de disminuir las actividades que no agregan valor y optimizar tiempos auxiliares.

5.- Minimizar los pasos para simplificar el proceso: Significa simplificar o reducir el número de actividades en un proceso productivo. Estas tienden a ser mayores a medida que aumentan el número de componentes o de pasos de un proceso. Por ejemplo: una forma de minimizar el número de pasos y partes sería la utilización de elementos prefabricados, o uso de cuadrillas polivalentes y células de producción.

6.- Aumentar la flexibilidad de las salidas: Se puede definir con la mejora de las características del producto entregado a los clientes sin aumentar el costo de estos. Por ejemplo: productos finales personalizados, uso de tecnologías que permite la personalización del producto sin un costo importante para la producción y la formación de mano de obra versátil.

7.- Aumentar la transparencia del proceso: Concepto que se relaciona a la mejora del control visual de la producción, la calidad y la organización del lugar del trabajo. Por ejemplo: Aumentar la transparencia significa retirar los obstáculos del camino, dejando informaciones visibles, utilizando las herramientas y controles visuales en la obra y el programa de las 5 S.

8.- Centrarse en el proceso global: Conocer el proceso en su totalidad para hacer posible el reconocimiento de los resultados globales de la empresa y probar soluciones mucho más eficaces. Por ejemplo: supervisar el desempeño de las células de producción en las diferentes fases de la construcción.

9.- Introducir mejoras continuas en el proceso: Estar abierto a recibir o a buscar informaciones relevantes para agregar el valor al proceso. Por ejemplo: realizar capacitación en obra, introducir nuevos equipamientos y motivar a los trabajadores para sugerir mejoras al proceso.

10.-Introducir mejoramiento continuo en los procesos: Observar los procesos y analizar lo que se puede mejorar, tanto en relación con los flujos cuanto a las conversiones. Por ejemplo: una forma de equilibrar la mejora del flujo y las

conversiones es la utilización de mecanismos que disminuya el tiempo de la ejecución de una tarea.

11.- Benchmarking: Comparar las actividades realizadas entre las empresas, que pueden ser del mismo giro o no, siempre y cuando la función sea la misma (por ejemplo, algunas empresas de almacenamiento), con el fin de identificar las mejores prácticas desarrolladas por el mercado. Por ejemplo: utilizar equipamiento de procesos constructivos innovadores utilizados por empresas líderes en el mercado.

Estos principios “Lean” sólo son posibles de aplicar plena y eficazmente en la industria de la construcción si el interesado en aplicarlos se centra en la mejora de todo el proceso de gestión del proyecto, en la integración de los interesados en el proyecto para concebir el nuevo enfoque de producción que proponen los principios de LC (Alarcón, Diethelm, Rojo, & Calderón, 2008).

3. METODOLOGÍA

3.1 Fundamentación del método

En el proceso de la investigación, la metodología regula el uso adecuado y eficiente de las diferentes técnicas y procedimientos a fin de asegurar que se correspondan entre sí, los objetivos de la investigación, las preguntas y la hipótesis de investigación, las variables e indicadores que constituyen la hipótesis, con aquellas técnicas y estrategias de levantamiento de la información más adecuadas y pertinentes al objeto de investigación. La Metodología es entonces, la secuencia de pasos y el proceso de construcción del conocimiento científico que va desde la realidad (en sus múltiples dimensiones) hacia la adquisición de nuevos saberes. El conocimiento científico es el resultado de la investigación científica y ésta ocurre y se realiza sobre la base de una secuencia de pasos y de momentos metodológicos formales, de donde resulta que la metodología científica constituye en la realidad empírica y en la práctica del investigador una formalización del proceso de búsqueda del conocimiento científico. (Bunge, 2000). Los diseños de investigación actuales giran en torno a dos grandes paradigmas, y no existen bases epistemológicas suficientes para establecer cual es mejor que el otro. Los mismos se aplican según el contexto, y a su vez, el método condicionará los procedimientos de estudio que se siguen en una investigación. Estos son: El modelo “racionalista” o cuantitativo, y el modelo “naturalista” o cualitativo (Zapparoli, 2003).

La metodología a utilizar en esta investigación es de carácter cualitativo. La elección de la misma resulta de la reflexión y análisis de ambos métodos, considerándola la opción más apropiada de acuerdo a los objetivos propuestos. El método de estudio cualitativo tiene su origen en dos corrientes epistemológicas. Por un lado, la hermenéutica, la cual invita a la interpretación de las expresiones, gestos y palabras del sujeto; y, por otro lado, la fenomenología, la cual se preocupa de la comprensión del sujeto, tratando de conocer las vivencias y experiencias del mismo (Taylor & Bogdan, 1998). Los estudios cualitativos se prefieren por sus propiedades explicativas y su poder exploratorio. Estos ayudan a esclarecer los resultados obtenidos en investigaciones cuantitativas, o a generar teorías en campos poco explorados (Ugalde & Balbastre, 2013). Para la justificación del uso de la metodología cualitativa en la elaboración de la parte empírica de la investigación, hay que tomar en consideración su carácter exploratorio. A partir de la revisión bibliográfica realizada, se aprecia que la temática a investigar ha sido estudiada con anterioridad en otros países, pero no en México, es por esto que se utiliza como recurso para un primer nivel de acercamiento a la realidad.

3.2 Diseño y desarrollo de la metodología

El procedimiento seguido para la elaboración de este estudio consta de las siguientes fases:

3.2.1 **Fase 1:** Recopilación y selección de literatura referente a Lean Construction (LC).

3.2.1.1 *Selección de estudios que cumplen con el alcance y que examinan los efectos de interés.*

La investigación se basa en la revisión de la literatura previa a la metodología LC y en los Factores Críticos de Éxito (FCE) más reportados, se realizó la revisión

sistemática de 108 artículos referentes al tema, durante el periodo de investigación 2016-2 a 2018-1.

3.2.1.2 Definición de criterios para elección de la investigación.

Con base a las primeras lecturas de artículos relevantes a LC y detectando la escasa información publicada por México, se define comenzar la exploración determinando cuáles son los FCE más mencionados en la literatura a nivel internacional, de esta manera, se descartaron aquellas investigaciones que no cumplieran con los criterios de información relevante para los efectos de este estudio.

3.2.1.3 Determinación de los FCE en LC que reportan beneficios en el mundo y que se tomarán en cuenta para la investigación.

De acuerdo a la revisión de los artículos correspondientes en un periodo de publicación de 2009 a 2018, se lograron obtener los FCE mencionados con mayor frecuencia. La figura 3.2 muestra el diagrama de Pareto correspondiente para la determinación de los FCE que corresponden al 80% acumulado.

3.2.1.4 Determinación de las técnicas y herramientas actuales que generan un impacto positivo en la implementación de LC a nivel mundial.

Existen herramientas establecidas para entender mejor la implementación gracias al LPDS. Se trata de un enfoque por etapas que comprende la definición de proyecto, el diseño, el suministro, el montaje o ejecución y el uso y mantenimiento posterior del edificio, instalaciones o infraestructura. Cada una de las etapas contiene un listado de herramientas que apoyan para su correcto funcionamiento. Las herramientas se enlistan más adelante en la sección del instrumento correspondiente.

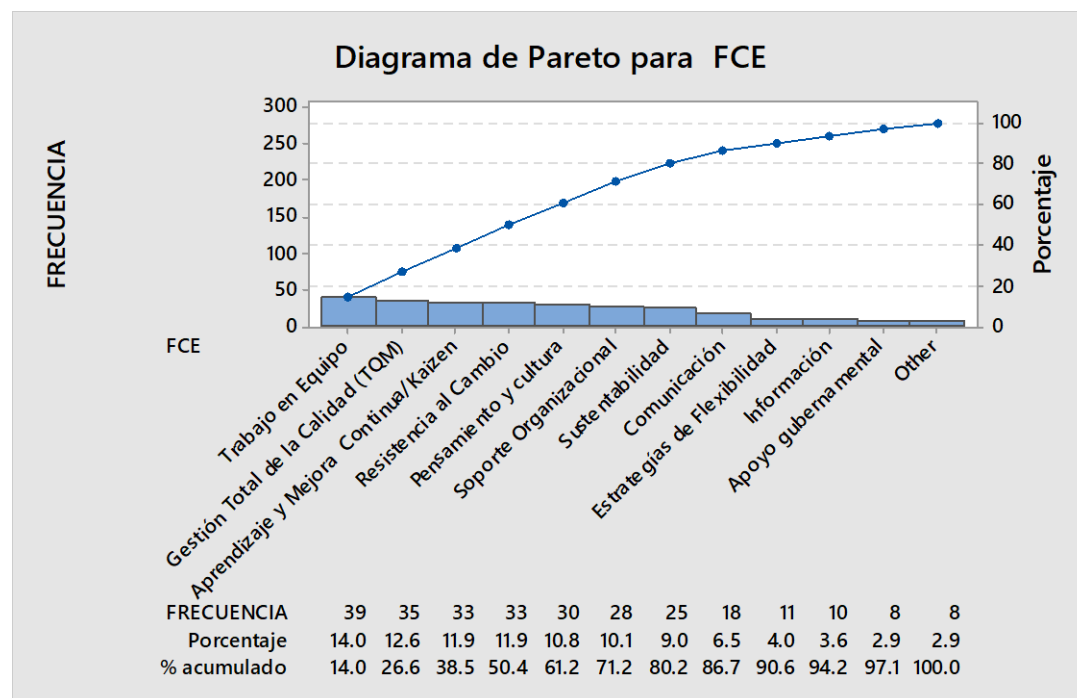


Figura 3.2. Diagrama de Pareto para Factores Críticos de Éxito

3.2.2 **Fase 2:** Desarrollo de instrumento para recopilación de información con respecto a los FCE que brinde el estatus actual de la implementación de la metodología en mención.

Un instrumento de recolección de datos tipo cuestionario, es una técnica estructurada para la recopilación de datos en una serie de preguntas, escritas u orales, que debe responder el entrevistado (Malhotra, 1997). La finalidad de la recolección de los datos, es aportar información verídica, oportuna y de relevancia para la elaboración de propuestas o sugerencias de mejora como objetivo de la investigación. En un sentido similar Buen-Día (1998), define al cuestionario como un método de investigación capaz de dar respuestas a problemas tanto en términos descriptivos como de relación de variables, tras la recogida de información sistemática, según un diseño previamente establecido que asegure el rigor de la información obtenida".

3.2.2.1 *Determinación de la información complementaria para la investigación.*

En el instrumento es necesaria la segmentación demográfica de la población a estudiar, por lo que se define en el instrumento de medición la sección de "Datos demográficos de la empresa", dentro de la cual se obtiene la información sobre la antigüedad de la empresa en el sector, la cantidad de proyectos en los que ha participado, el estado del país al que pertenece. De igual forma, se cuenta con la sección de "Datos demográficos del encuestado" en la que se puede obtener información sobre el puesto que desempeña dentro de la empresa, los años de experiencia en el sector, así como el contacto en caso de estar interesado en los resultados de la investigación.

Dentro de esta sección también se encuentra un apartado en el que se enlistan algunas de las certificaciones más importantes con respecto a la sustentabilidad, en donde se analiza sí la empresa ha participado en proyectos con alguna de ellas. Las certificaciones se describen a continuación:

- *PCES (Certificación de Edificaciones Sustentables):* Es un programa impulsado por la Secretaría de Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal que tiene como objetivo central impulsar la incorporación de sistemas y tecnologías de eficiencia en el uso de los recursos (agua, energía eléctrica, gas) y la reducción en la generación de emisiones contaminantes (gases y desechos sólidos y líquidos). Cabe señalar que este programa no es de carácter obligatorio. Con base en una serie de requisitos que contempla el programa, se evalúa a las edificaciones ya existentes o nuevas que quieran formar parte del programa y de encontrarse en conformidad con los lineamientos del PCES se pueden obtener incentivos fiscales, como descuentos sensibles en el pago del predial. Esto por decir lo menos, ya que contar con una edificación que incorpora tecnologías de aprovechamiento eficiente de los recursos y de reducción de las emisiones de contaminantes, se obtiene ahorros mucho mayores, puesto que se consume menos, gas, energía eléctrica y agua.

Beneficios:

- Reducir hasta en un 30% el consumo de energía eléctrica.
- Reducir hasta en un 50% el consumo de agua.
- Reciclar en 100% las aguas negras (saneamiento).
- Reducir hasta en un 35% el consumo de gas (calefacción y agua caliente).
- Obtener incentivos fiscales en el pago de Predial.
- Reducir hasta en un 30% las emisiones de CO₂.
- Retorno de la inversión en tecnologías de ahorro y eficiencia energética.
- Plusvalía de la propiedad.
- Incremento de la productividad personal.
- Mejoramiento de las condiciones de salud y bienestar ocupacional.

➤ *LEED® (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por sus siglas en inglés): La Certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por sus siglas en inglés):* Es un sistema de certificación con reconocimiento internacional para edificios sustentables creado por el Consejo de Edificación Sustentable de Estados Unidos (U.S. Green Building Council). Esta certificación es empleada por desarrolladoras, constructoras y gobiernos en todo el mundo para obtener grandes beneficios en sus edificios. LEED se ha consolidado como el sistema de evaluación para edificaciones sustentables más amplio del mundo con cerca de 80,000 proyectos participantes alrededor de 162 países, incluyendo más de 32,500 proyectos comerciales certificados.

Entre los beneficios que proporciona esta evaluación se encuentran:

- Espacios con mejores condiciones para la salud y productividad.
- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- Acceso a incentivos fiscales.
- Disminución en los costos de operación y residuos.
- Incremento del valor de sus activos.
- Ahorro energético y de recursos.

➤ *BREEAM® (Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology):* Es el método de evaluación y certificación de la sostenibilidad en la edificación técnicamente más avanzado y pionero a nivel mundial con más de 20 años en el mercado y 270.000 edificios certificados en 63 países. El certificado, de carácter privado y voluntario, evalúa impactos en 10 categorías (Gestión, Salud y Bienestar, Energía, Transporte, Agua, Materiales, Residuos, Uso ecológico del suelo, Contaminación, Innovación) y otorga una puntuación final de 1 a 5 estrellas que sirve de referencia, junto al Manual Técnico de la metodología, para una construcción más sostenible tanto en fase de diseño como en fases de ejecución y mantenimiento, disponiendo de diferentes esquemas de evaluación y certificación en función de la tipología y uso del edificio.

Beneficios:

- Económicos. Un edificio con certificación BREEAM® supone importantes beneficios económicos para sus usuarios (disminuye el consumo energético

entre un 50-70%, el consumo de agua es hasta un 40% menor, y se reducen los gastos de funcionamiento y mantenimiento entre un 7-8%) y para sus propietarios (aumenta el valor de los inmuebles un 7,5% e incrementa las rentas un 3% y la tasa de ocupación de los inmuebles en un 3,5%).

- Ambientales. Las reducciones en el consumo de energía repercuten directamente sobre el medioambiente, pero son muchas más las medidas promovidas por la metodología para reducir al mínimo las emisiones de CO₂ durante la vida útil del edificio y que son agrupadas, entre otras, en categorías como Transporte (ubicación de la parcela, acceso al transporte público, fomento del uso de bicicletas, etc.), Residuos (aspectos relacionados con el almacenaje previo a su recogida y tratamiento) o Contaminación (uso de refrigerantes y aislantes con un bajo potencial de calentamiento global, instalaciones de calefacción con baja tasa de emisión óxidos de nitrógeno, etc.).
 - Sociales. El ambiente interno de los edificios donde trabajamos, estudiamos, compramos o nos relacionamos es una importante contribución a nuestra calidad de vida. Medidas como la calidad del aire, niveles de iluminación y ruido, vistas al exterior, inciden directamente en edificios más confortables, productivos, seguros y saludables para los usuarios y, por tanto, para la sociedad.
 - Culturales. El certificado BREEAM® permite impulsar un cambio cultural a diferentes niveles, como por ejemplo la capacidad de transformación del mercado al promocionar el uso de materiales constructivos sostenibles, o al sensibilizar al entorno sobre la importancia de la sostenibilidad en la edificación tanto en su construcción, como en su rehabilitación y gestión posterior, según el caso.
- *Certificación “Green Globes for New Construction and Continual Improvement of Existing Buildings”*: Basada en el BREEAM®, y que como nos da a entender su nombre, puede aplicarse tanto a edificios a punto de comenzar su etapa de construcción (es necesario que los planos ya estén listos), así como también edificios que ya se encuentren construidos con anterioridad (el proceso varía un poco según sea el caso). El asesoramiento consiste en la medición del cumplimiento de seis factores que representan las prácticas sustentables que se pueden optimizar: manejo de proyecto, agua, energía, materiales y recursos, emisiones, y ambiente interior; cada uno tiene un posible marcador máximo, y la suma de estos da un total de 1,000 puntos posibles.

3.2.2.2 Definición de las variables que se pretenden estudiar.

Para la determinación de las variables a estudiar en este proyecto, se tomaron en cuenta los FCE obtenidos en el diagrama de Pareto mostrado anteriormente, por lo que se cuenta con 7 variables a evaluar dentro del instrumento que se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Variables para Instrumento de medición.

FCE	Frecuencia de aparición en literatura	Porcentaje acumulado
Trabajo en Equipo	39	14.03%
Gestión Total de la Calidad (TQM)	35	26.62%
Aprendizaje y Mejora Continua/Kaizen	33	38.49%
Resistencia al Cambio	33	50.36%
Pensamiento y cultura	30	61.15%
Soporte Organizacional	28	71.22%
Sustentabilidad	25	80.22%

3.2.2.3 Generación de constructos para cada variable.

Para la generación del instrumento de obtención de datos, es preciso determinar las escalas o constructos que se desean medir, en ese sentido, de acuerdo con Cronbach (1971), un constructo es un mecanismo intelectual por medio del cual se interpreta los acontecimientos o eventos. Es decir los constructos son simplemente conceptos. Por su parte Briones (1996), define un constructo como un concepto teórico e hipotético por ejemplo la inteligencia, la motivación, la creatividad o las actitudes. Los constructos se definen como propiedades subyacentes, que no pueden medirse en forma directa, sino mediante manifestaciones externas de su existencia, es decir, mediante indicadores de medición o variables observadas.

3.2.2.4 Selección de indicadores para cada constructo.

Se seleccionaron los constructos de acuerdo a las variables propuestas, sin embargo, debido a la falta de información en la literatura sobre instrumentos de medición para factores relevantes en LC, se tuvo que realizar una búsqueda de conceptos y de sus indicadores para cada uno de ellos en otras áreas de investigación de Lean, así como otras ramas completamente diferentes pero que también buscan medir el constructo mencionado. Por lo que para la conceptualización de cada constructo se realizó una revisión de literatura específica.

A continuación se muestra la lista de los constructos que forman parte del instrumento:

A. Aprendizaje y mejora continua / Kaizen

La transferencia de conocimiento intraorganizacional estimula la creación de nuevo conocimiento, incrementa las habilidades de la firma para innovar (Tsai W. , 2001) y, en consecuencia, incrementa el nivel de innovación y se relaciona positivamente con la ventaja competitiva (Wijk, Jansen, & Lyles, 2008). Para que las prácticas de compartir conocimiento sean efectivas, resulta vital la comprensión de los factores organizacionales que las afectan (Hsu, Chen, Wang, & Sun, 2008).

Indicadores del constructo:

- a) *Empoderamiento*: Consiste en ceder parte del poder, además de potenciar a los integrantes de la organización para compartir una visión colectiva. Watkins y Marsick (1993).
- b) *Dirección estratégica*: Demuestra el grado en el cual los líderes piensan estratégicamente el cómo utilizar el aprendizaje para crear el cambio y dirigir a la organización en nuevas direcciones o nuevos mercados Watkins y Marsick (1993).
- c) *Sistema integrado*: Indica los esfuerzos por establecer sistemas para captar y compartir el aprendizaje Watkins y Marsick (1993).
- d) *Investigación y dialogo*: Señala el esfuerzo de una organización en crear una cultura de cuestionamiento, de realimentación y de experimentación Watkins y Marsick (1993).
- e) *Aprendizaje continuo*: Representa el esfuerzo de una organización por crear las oportunidades para que el aprendizaje se manifieste en todos sus miembros. Watkins y Marsick (1993).

B. Resistencia al cambio

La resistencia surge ante cambios en los puestos y métodos de trabajo (Agócs, 1997), siendo prácticamente inevitable cuando estos afectan a elementos clave de la organización (Illia, 2009).

Indicadores del constructo:

- a) *Resistencia al cambio*: La decisión final del empleado de resistirse o aceptar el cambio propuesto se sostiene en las reflexiones que este realiza, que le provocan emociones hacia dicho cambio y le conducen a actuar en consecuencia (Hornung & Rousseau, 2007).

C. Pensamiento y cultura

De forma típica, los investigadores coinciden en que la cultura empresarial puede definirse como el agregado de cuestiones cognitivas compartido por los miembros de una unidad social (O'Reilly, Caldwell, & Mirabile, 1990). En éste, se agregan las creencias, valores, actitudes y hábitos permeados entre los grupos e individuos que conforman la organización (Hall, 1992). La cultura de la empresa es una estructura invisible lo suficientemente poderosa para definir las normas y reglas que los empleados deberán seguir, a la vez que éstas determinan el desempeño de la organización (Itami & Roehl, 1987).

Indicadores del constructo:

- a) *Cultura organizativa*: La concepción tridimensional de Schein (1988) es la generalmente aceptada. Para este autor la cultura es el conjunto de manifestaciones, valores y presunciones compartidos por los miembros de una organización que determina su comportamiento.
- b) *Beneficios percibidos*: Cabe esperar que si el empleado prevé resultados que le benefician, su reacción al cambio, en términos de pensamiento, sentimiento y comportamiento, estarán en línea con los intereses de los directivos, lo que permite formular una “típica hipótesis instrumental” (Hornung & Rousseau, 2007).
- c) *Autoestima en el trabajo*: Para este nivel organizativo más específico, Pierce et al. (1989) indican que la autoestima en el trabajo refleja la percepción que tiene el individuo de su propio valor en la organización. Por tanto, este atributo de la personalidad es el resultado de una autoevaluación que el individuo hace de sí mismo en términos de su valor positivo o negativo para la organización ej. si es importante, eficaz, etc., e indica la medida en que se ve capacitado para actuar en ella; este juicio personal se mantiene en el tiempo (Pierce, Gardner, Cummings, & Dunham, 1989).

D. Soporte organizacional

Envuelve creencias del empleado sobre cuánto la organización valoriza sus contribuciones y cuida de su bienestar (Eisenberger, Hutchinson, Huntington, & Sowa, 1986). Así, percibir el soporte organizacional influencia el sentido de obligación de los empleados, induciéndolos a cuidar de su organización y ayudarla a conquistar sus objetivos y metas (Rhoades & Eisenberger, 2002).

Indicadores del constructo:

- a) *Soporte social*: Para Almeida, Bertucci y Belo (2010), la comunicación interna influencia la manera como los colaboradores se identifican con la organización, o sea, cuanto mayor la identificación, mayor su alineamiento con los objetivos organizacionales.
- b) *Soporte instrumental*: Para Kerr (1995), remuneración inadecuada puede dejar lagunas que desalientan a las personas, causando perjuicios a la organización.
- c) *Soporte emocional*: Para Nonaka y Takeushi (1997), un grupo que posee lazos de confianza comparte responsabilidades más armónicamente, alcanzando objetivos a través del trabajo en equipo.
- d) *Autoentrenamiento*: Es una de las iniciativas más importantes dentro de una empresa, pero, desafortunadamente, una de las más desestimadas por parte de los directivos. La capacitación laboral es tan necesaria para un individuo como lo es

su preparación académica. Gracias a los entrenamientos laborales el individuo no solo aprende herramientas útiles para desarrollar bien su trabajo, sino que también le ayuda a ser mejor individuo y a desarrollar sus destrezas. (Martínez, 2015).

E. Gestión total de la calidad (TQM)

El modo en que las empresas u organizaciones son gestionadas se acerca o ajusta en un grado variable al sistema o filosofía de gestión de la Calidad Total, grado de acercamiento o ajuste que ha sido denominado “Orientación a la Calidad Total” (Mohr-Jackson, 1998).

Indicadores del constructo:

- a) *Interés general en la calidad*: Existe unanimidad en la consideración de la importancia de que la dirección de la organización esté comprometida con la mejora de la calidad (Deming, 1989).
- b) *Mejora continua*: El principio de la mejora continua se refiere, según estos autores, a un constante examen de los procesos técnicos y administrativos en búsqueda de métodos mejores. En esta dimensión se evalúa el grado en que la mejora continua de productos y procesos es una meta importante en la empresa. Dean y Bowen (1994); Pérez Fernández de Velasco (1994); Schneider et al. (1996).
- c) *Uso de datos*: La “toma de decisiones basada en hechos” es considerada como otra de las máximas de este tipo de gestión (Dean & Bowen, 1994). El objetivo con esta escala es conocer si la empresa recoge datos con el fin tanto de controlar la calidad como de realizar mejoras.
- d) *Desarrollo y formación*: En la teoría sobre la gestión de Calidad Total se hace mucho hincapié en la necesidad de formación y desarrollo del personal (Dean & Bowen, 1994); (Schneider, Brief, & Guzzo, 1996).
- e) *Evaluación sistemática del intercambio de valor*: Evaluación sistemática del intercambio de valor requerido y percibido por el cliente, versus el valor entregado por la empresa Woodruff y Gardial (1996); Flint y Woodruff, (2001); Bigné, Moliner y Callarisa (2000).
- f) *Cultura organizacional orientada al cliente*: De acuerdo con Slater y Narver (1995), la orientación al mercado implica una cultura que atribuye prioridad a la rentabilidad de largo plazo y a mantener un valor superior para los clientes, considerando al mismo tiempo el interés de la empresa.

F. Trabajo en equipo

Refleja el espíritu de colaboración y de las habilidades colaborativas que soportan la preparación y el desempeño de los equipos eficaces. Watkins y Marsick (1993) (1996).

Indicadores del constructo:

- a) *Comunicación*: La comunicación fue clasificada como un proceso de acción. Este tipo de proceso conlleva al desarrollo efectivo de las actividades de los equipos (Mathieu, Maynard, Rapp, & Gilson, 2008).
- b) *Aprendizaje en equipo*: Representa el esfuerzo de una organización por crear las oportunidades para que el aprendizaje se manifieste en todos sus miembros. Watkins y Marsick (1993) (1996).
- c) *Colaboración*: Es una ayuda que se presta para que alguien pueda lograr algo que, de otra manera, no hubiera podido hacer o le hubiera costado más (Barrick, Bradley, Kristof-Brown, & Colbert, 2007).
- d) *Coordinación*: La coordinación es una variable que ha sido estudiada como un antecedente del desempeño de los equipos creó una taxonomía que clasifica los diferentes tipos de procesos (Mathieu, Maynard, Rapp, & Gilson, 2008).
- e) *Cohesión*: La cohesión es un estado psicológico y afectivo que refleja el compromiso compartido, la atracción y el orgullo del equipo que emerge de las experiencias e interacciones entre los miembros (Barrick, Bradley, Kristof-Brown, & Colbert, 2007).

G. Sustentabilidad

Es el desarrollo de la construcción pero con una responsabilidad considerable con el medio ambiente por todas las partes participantes. Ello involucra como elementos claves la reducción del uso de fuentes energéticas y de recursos naturales, la conservación de las áreas naturales y de la biodiversidad, y la mantención de un ambiente interior saludable (CIB, 2000).

Indicadores del constructo:

- a) *Grado de implantación de sustentabilidad*: Implica un interés creciente en todas las etapas de la construcción, considerando las diferentes alternativas en el proceso de construcción, en favor de la minimización del agotamiento de los recursos, previniendo la degradación ambiental o los prejuicios, y proporcionar un ambiente saludable, tanto en el interior de los edificios como en su entorno (Kibert, 1994).

- b) *Servicios amigables con el ambiente*: La forma más simple de definir lo que significa ser amigables con el ecosistema, es decir que es el acto de construir con intención. La intención se enfoca en no crear daño al medio ambiente, y prevenir que el mayor daño posible se produzca a través de sus interacciones con él durante el proceso constructivo (CIB, 2000).
- c) *Cultura de sustentabilidad en la organización*: Es la anti-tesis de que el crecimiento económico implica contaminar. Para Sarukhán Kermez (2017), se trata de echar atrás “la idea de que podemos tener una economía que crezca ilimitadamente a pesar de que sabemos que vivimos en un planeta finito”.
- d) *Satisfacción de los empleados*: El primer paso para crear una empresa sustentable en el tiempo es construyendo una sólida base de clientes leales a través de un gran servicio al cliente y una aún mejor experiencia de compra. El problema se genera en un error común que se comenta, en donde se enfocan los esfuerzos en crear una experiencia para el cliente impecable y modelar su negocio en torno a las expectativas de estos. Lo cual es muy importante, pero el problema se da que antes de que se puede pensar en la "lealtad del cliente", se deben desarrollar los valores fundamentales de la organización para aumentar el compromiso de los empleados y ayudarlos a ser la mejor versión. Si organización logra poner a sus empleados en el centro de una filosofía y valores orientada a la capacidad personal, el trabajo que realicen se verá reflejado en la calidad del servicio al cliente (Honorato, 2016).

3.2.3 Fase 3: Determinación de herramientas y técnicas importantes en LC que se tomarán en cuenta dentro del instrumento para caracterización del nivel de implementación en México.

3.2.3.1 Selección de las herramientas que se mencionan en la literatura por etapas de la metodología LC.

Lean Project Delivery System contiene 5 fases las cuales conforman un proyecto estas fases comprenden un serie de herramientas útiles para desarrollar el proyecto conforme lo esperado por LC. A continuación se describe cada una de las herramientas:

❖ Fase de definición del proyecto

- a) *Matriz de selección de equipo de diseño*: El equipo de diseño es parte fundamental para la fase de definición del proyecto. Se presenta una matriz para la selección de los profesionales que conformarán el equipo de diseño del proyecto, en esta matriz no solamente se tiene en cuenta la tarifa profesional, si no también algunos criterios cualitativos. En la matriz se coloca la especialidad del profesional en búsqueda, luego su nombre y tarifa profesional. En el área de ponderación, se colocan aquellos criterios importantes a considerar sobre el trabajo o desempeño de la persona, estos criterios podrían variar dependiendo de los especialistas, o dependiendo del

tipo de proyecto. Finalmente se tiene un puntaje total, el cual será calculado mediante la multiplicación del puntaje obtenido en cada columna de los criterios por la ponderación considerada por la empresa (fila sobre Desempeño). La selección del especialista será basada entre el puntaje total y la tasa de costo profesional.

- b) *Cuaderno de diseño*: La comunicación del equipo multidisciplinario es importante para la fase de definición del proyecto, pues es necesario que todos los involucrados aporten sus opiniones, conozcan sobre todos los cambios que se realicen, aporten información que agreguen valor al proyecto, entre otros. Por lo general, los profesionales involucrados en el equipo de diseño no pertenecen a una misma empresa, cada persona maneja una agenda distinta. Para mantener informados a todos los involucrados se presenta el cuaderno de diseño en línea, esta herramienta permite mantener una comunicación detallada entre los involucrados. Orihuela y Ulloa (2011), proponen un cuaderno de diseño en línea se especifica la persona que sube un archivo o realice una consulta, además de la persona o personas a las que se les dirige el mensaje. Luego se coloca el asunto del mensaje y lo más importante la descripción del mensaje donde se redacta el tema que se debe tratar por ejemplo el envío de planos modificados, reuniones con el cliente, información requerida, entre otros. Por último, se tiene la posibilidad de adjuntar un archivo.
- c) *Matriz de necesidades y valores del inversionista*: Es importante para la definición del proyecto conocer las necesidades del cliente, en este caso se presenta una matriz en donde se formalizan las necesidades del inversionista. Es lógico pensar que el inversionista buscará rentabilidad en el proyecto en el que se involucra, además la imagen que podría proyectar por su inversión; es por ello que en la matriz propuesta por Orihuela y Ulloa (2011), sugieren considerar como sus necesidades la rentabilidad e imagen. Una vez establecidas sus necesidades se procede a establecer los indicadores para estas, como la cantidad que desearía invertir o la rentabilidad mínima que desea obtener del proyecto y la métrica (medida) de cada indicador. Además es necesario darle una ponderación a las necesidades para priorizar las necesidades con mayor puntaje.
- d) *Matriz de necesidades y valores del usuario final*: Esta matriz propuesta por Orihuela y Ulloa (2011), es similar a la anterior, con la diferencia de que muestra las necesidades del usuario final. En esta matriz se divide las necesidades del usuario en cinco: precio, confort, estética, seguridad y garantía. Para cada una de estas cinco necesidades es importante establecer los indicadores y la métrica para conocer mejor al cliente. Además de la ponderación que permite conocer las necesidades más importantes para el cliente.

- e) *Base de datos y repositorios*: Para agilizar la Definición del Proyecto se debe proponer como parte del inventario de herramientas tener una base de datos de los recursos del mercado, es decir un catálogo de materiales, proveedores, fichas técnicas, etc., que ayuden a tener alternativas de recursos para los miembros del equipo de diseño. Además, es necesario conocer la información de los requerimientos del proyecto (restricciones), por lo que en la base de datos se pueden encontrar documentos como reglamento nacional de edificaciones, norma de concreto armado, requerimientos de las municipalidades, ratios de construcción, entre otros. La base de datos debe ser actualizada constantemente para evitar futuros re-trabajos.

- f) *Matriz de Alineación de Propósitos*: El diseño conceptual será realizado alineando las necesidades del cliente con las restricciones del proyecto para establecer la relación entre las necesidades del cliente y las alternativas de diseño del proyecto que se proponen. Orihuela y Ulloa (2011), proponen una matriz de alineación de propósitos. En la matriz se coloca en una columna izquierda lateral las necesidades del cliente (inversionista y usuario final) y su ponderación, además se colocan las alternativas de diseño en una fila superior. Luego se realizará una ponderación de cada alternativa ante la necesidad del cliente. El resultado final se halla mediante la multiplicación de la ponderación que el cliente da a sus necesidades y la ponderación que el cliente da a cada alternativa de diseño. La matriz de alineación de propósitos permite mediante el valor del resultado final determinar que alternativa de diseño conceptual se adecua de mejor manera a las necesidades de ambos clientes (inversionista y usuario final). Considerar las demandas del cliente en el diseño del proyecto genera valor para los clientes.

- g) *Despliegue de la función de calidad (QFD)*: Herramienta propuesta que permite traducir la voz del cliente en parámetros de diseño para que estos puedan desplegarse durante el desarrollo del proyecto. Esta herramienta busca involucrar al cliente durante el desarrollo del producto lo antes posible, desarrollando los procesos en respuesta a las necesidades del cliente. En resumen, traduce lo que el cliente quiere en lo que la organización debe producir. El QFD permite comparar nuestro producto terminado con el de la competencia; para lo cual, se coloca un gráfico al lado derecho de la matriz con la calificación que el cliente da a nuestro producto y al de la competencia, la calificación se da en una escala del 1 al 5. Además, al final de la matriz se le podría agregar una fila de objetivos a los que se desea llegar por cada parámetro de diseño, los cuales deben estar en las unidades correctas y deben apuntar a valores específicos que satisfagan o superen las expectativas de los clientes.

- h) *Planificación Maestra*: Es la planificación para todo el proyecto, usado dentro del Grupo Internacional de la Construcción Lean, se realiza un análisis macro en donde se desarrolla las estrategias de ejecución del proyecto. Se trabaja dividiendo el proyecto en fases y estableciendo relaciones secuenciales entre estas, debe demostrar la viabilidad de realizar el proyecto

en el tiempo disponible, desarrollo de estrategias para su ejecución e identificar puntos importantes para el equipo multidisciplinario. La planificación maestra debe desarrollar en la medida de lo posible, el detalle del inicio del proyecto con el fin de conocer la relación entre las fases, determinar los recursos que se requieran a largo plazo (ej. ascensor), identificar áreas de alta incertidumbre y posibilidades de cambio. Este tipo de planificación identifica las actividades, pero no representa el flujo de los requerimientos, solo la relación secuencial entre las fases. Esta programación puede estar sujeta a modificaciones y ajustes de acuerdo al estado del proyecto.

- i) *5 Por qué's (5 Whys/ Buffers)*: Esta técnica consiste en un proceso iterativo de preguntas (¿Por qué?) usado para identificar la causa raíz de un problema. La estrategia básica implica que, ante cualquier problema, nos preguntemos “¿Por qué?”. Este primer “por qué” nos llevará a otro “por qué”, y la respuesta al segundo “por qué” apuntará a otro tercero, hasta un quinto por qué, sin embargo en algunas ocasiones podría algunas preguntas más a las 5 originales. Los beneficios de los 5 Porqués son que ayuda a identificar la causa raíz de los problemas, a determinar la relación entre las diferentes causas raíz de los problemas, es una herramienta sencilla, fácilmente aplicable sin análisis estadísticos.
- j) *Sistema Último Planificador (SUP/LPS)*: El sistema propuesto por Ballard y Howell (1994), controla de una mejor forma la incertidumbre de la planificación al superar obstáculos como convertir la planificación en un sistema, medir el desempeño de la aplicación del sistema de planificación y analizar e identificar los errores cometidos en la planificación (Botero & Álvarez, 2005). El último planificador es la persona o grupo responsable de la planificación operativa, es decir, de la estructuración del diseño de productos para facilitar un mejor flujo de trabajo y el control de las unidades de producción, lo que equivale a la realización de los trabajos individuales en el nivel operativo (Salem, Solomon, Genaidy, & Luegring, 2005). SUP controla de una manera más efectiva la ejecución de las actividades necesarias para completar el proyecto, asegurándose de que lo que se planea hacer en la obra realmente será hecho y así evitar paros en obra que conllevan pérdidas de tiempo que retrasan el proyecto y se traducen en un detrimento económico. Aseguran los expertos en el tema que el cambio provoca un mejoramiento en los flujos de trabajo y facilita un mejor control de la variabilidad de los proyectos de construcción.

❖ Fase de diseño Lean

- a) *Cuaderno de diseño*: El cuaderno de diseño es igual al presentado en la fase de definición del proyecto.

- b) *Estacionamiento*: Durante las reuniones del proyecto, es usual que ocurra que los debates se desvían del tema principal a tratar, se hablen de ideas o información que no son esenciales para las decisiones de los temas iniciales o se entre en demasiado detalle en las decisiones actuales. La técnica del Estacionamiento propuesta por Tsao y Beikmann (2012), ayuda a capturar las ideas importantes pero que no son relevantes para el tema que se discute actualmente. Cuando una discusión que no pertenece al tema, dura más de dos minutos, el líder del grupo “Estaciona la idea”, es decir el líder del grupo advierte al grupo que la discusión no va acorde con el tema inicial pero él toma nota de la idea en una pizarra en el salón de reuniones (a la vista de todos los involucrados) haciendo que la reunión se mantenga en la idea principal pero no pierda información que podría servir en otra oportunidad.
- c) *Diagrama de flujo - Matriz de responsabilidades*: Un diagrama de flujo es la representación gráfica de un proceso, permite observar cómo se desempeña el proceso para producir el resultado. La herramienta presentada por Formoso y Jobim (2003), representa gráficamente el proceso de diseño, incluyendo la división del proceso en sub-procesos. Consiste en un diagrama de flujo general de las siete etapas de diseño (creación y factibilidad, diseño del bosquejo preliminar, esquema de diseño, requisitos legales del diseño, detalle del diseño, supervisión de la producción, y la retroalimentación y operación), para cada etapa hay un diagrama de flujo de actividades y, para actividades complejas, un diagrama de flujo de las operaciones. Además en el diagrama de flujo se asigna el grado de responsabilidad de los involucrados en el proyecto, los grados se dividen en tres: responsable, ejecutor y cooperador. El diagrama representa una amplia vista del proceso de diseño.
- d) *Tabla de entradas y salidas*: Herramienta presentada por Formoso, Isatto e Hirota (1999), consiste en una tabla donde se describe las actividades presentadas en el diagrama de flujo. En la entrada se describe los requerimientos que necesita la actividad para ser realizada. En la salida se describe el resultado final de la actividad realizada.
- e) *Lista de tareas*: Luis Alarcón et al. (2009), proponen el uso las listas de tareas, usadas por los diseñadores para tener toda la información relacionada a otras especialidades antes de comenzar su trabajo. De esta manera no será necesario realizar suposiciones innecesarias o habrá pérdidas de información inicial del proyecto.
- f) *Lista de chequeo*: Luis Alarcón et al. (2009) proponen el uso de listas de chequeo para asegurar el cumplimiento de las tareas asignadas o que los especialistas cumplan con las especificaciones de trabajo, y para controlar los parámetros definidos.
- g) *Solicitud de Información (RFI)*: Solicitud de Información o RFI por sus siglas en inglés (Request for Information) es un mecanismo de información formal usado por diferentes autores dentro del Grupo Internacional de la

Construcción Lean (IGLC) que se utiliza para solicitar información técnica del proyecto al cliente o proyectista. Por lo general, un RFI es usado en casos donde es necesario confirmar la interpretación de un detalle, especificación técnica, pedir información no especificada en el proyecto, entre otros.

- h) *Constructabilidad en el diseño*: En 1986 el Instituto de la Industria de la Construcción (CII por sus siglas en inglés) define Constructabilidad como “El uso óptimo del conocimiento y experiencia de construcción en la planificación, en el diseño, en las adquisiciones y en el manejo de las operaciones de construcción”. Las más grandes oportunidades de mejorar la productividad de una obra, no se dan durante la etapa de construcción, es un primer paradigma que hay que romper; estas oportunidades se dan mucho antes, en la etapa de diseño, en la etapa de planificación y más importante aún en las etapas de anteproyecto y factibilidad.
- i) *Planificación por fases de proyecto*: Consiste en detallar las actividades necesarias para la ejecución de una fase del proyecto, identifica las pautas necesarias para la liberación de trabajo de una actividad a otra y establece la secuencia de estas actividades. Una planificación por fases tiene como propósitos el elaborar un plan para completar una fase del trabajo (Ballard, 2000):
 - Que Maximiza la generación de valor.
 - Que todos los involucrados entiendan y apoyen.
 - En donde las actividades programadas se elaboren en base al proceso lookahead para ser explotada en detalles operativos y sea preparado para la asignación de los planes de trabajos semanales. Los participantes en la planificación por fases están representados por aquellas personas involucradas en la fase en análisis.
- j) *5 Por qué's (5 Whys/ Buffers)*: Esta herramienta es igual a la presentada en la fase de definición del proyecto.

❖ Fase de suministro Lean

- a) *Centros logísticos*: Son centros que realizan una amplia gama de funciones logísticas y procesos de negocio. El término combina la "logística", que se refiere a todas las operaciones necesarias para la entrega de productos o servicios a excepción de la producción de los bienes o la realización de los servicios, y el "centro", que significa "un lugar donde se concentra una actividad particular". Un centro logístico es un lugar céntrico, por lo general fuera del proyecto, para el flujo de materiales en la cadena de abastecimiento. Facilita el acceso a los diferentes modos de envío, realiza amplias funciones logísticas, sirve a una amplia gama de usuarios (varios proyectos) y presenta soluciones de tecnología de información. Los encargados de los centros

logísticos deben trabajar en conjunto con los usuarios, constructores, diseñadores y proveedores que abastecen de material y equipos a tiempo.

- b) *Las 5 “S”*: Es una metodología japonesa usada en la empresa Toyota que consiste en operaciones que buscan incrementar la organización, orden, limpieza y estandarización en las áreas administrativas y productivas. El nombre 5s proviene de cinco palabras japonesas: Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke (Clasificar, Organizar, Limpiar, Estandarizar y convertir esta secuencia en Hábito). El programa de las 5”s” involucra a todo el personal de la organización. Mejorar y mantener las condiciones de organización, orden y limpieza en el lugar de trabajo no es solo una cuestión de estética, se trata de mejorar las condiciones de trabajo, de seguridad, el clima laboral, la motivación del personal y la eficiencia y, en consecuencia, la calidad, la productividad y la competitividad de la organización. La metodología 5“s” tiene como metas: eliminar los materiales y útiles innecesarios, que todo se encuentre ordenado e identificado y eliminar las fuentes de suciedad.
- c) *Matriz Multicriterio*: Propuesta por Orihuela y Ulloa (2008), permite determinar de manera óptima cual es la mejor decisión para la elección de los recursos e insumos, basado en la comparación de alternativas que son evaluadas cualitativa y cuantitativa. La matriz se constituye de tres partes:
1. La evaluación cuantitativa, comparación de costos y rendimientos.
 2. La evaluación cualitativa, comparación basada en criterios de acuerdo a la alternativa a evaluar, a los cuales se les asigna una ponderación, además se establece el nivel de desempeño de cada alternativa evaluada respecto a los criterios.
 3. La evaluación final, basada en la evaluación cuantitativa y cualitativa; para la evaluación cuantitativa se usa la normalización inversa de costos y para la cualitativa la normalización directa. De la suma de ambas normalizaciones se determina la alternativa más adecuada para el proyecto.
- d) *Mapeo de la cadena de valor*: Value Stream Mapping (VSM) o Mapeo de la Cadena de Valor (MCV) es una herramienta creada por la empresa automotriz Toyota, esta herramienta permite identificar todas las actividades en la planificación y fabricación de un producto, permitiendo encontrar oportunidades de mejoramiento que tengan impacto sobre toda la cadena de abastecimiento. El mapeo de la cadena muestra gráficamente mediante iconos y símbolos dos tipos de flujos:
- Flujo de información: comprende todas las actividades realizadas desde que se realiza una orden de un producto hasta que la orden es generada.
 - Flujo de materiales: comprende todos los procesos realizadas para obtener un producto, hasta que se entrega al cliente.

Esta herramienta consiste en graficar dos mapas de la cadena de valor, el primero referido al presente, en donde se documentar el estado actual y real

del proceso que se desee, el segundo es referido al futuro, el cual es la etapa ideal que se quiere lograr luego de realizar las actividades de mejoramiento.

- e) *Kanban*: La palabra Kanban es un término japonés que significa “tarjeta” o “señal” y es el nombre dado al control de inventario usando tarjetas en un sistema de jalar. El propósito de un sistema de “jalar” es producir solo lo que se necesite, cuando se necesite y en las cantidades adecuadas. Kanban es un método usado en el sistema de Producción de Toyota. La idea surge como un papel dividido en tres categorías: (1) información y colecta, (2) transferencia de información, y (3) información del producto (Ohno, 1988). Según Ohno (1988), la idea surgió a mediados de los años 50's de los supermercados americanos, donde los productos comprados en cajas eran trasladados usando una tarjeta que contenía información sobre la cantidad y tipo de productos comprados. Cuando el departamento de compras recibía estas tarjetas, podían colocar rápidamente los productos adquiridos en los estantes. El objetivo de usar una tarjeta Kanban con información es no permitir que existan dudas sobre las cantidades, tiempo, lugar de distribución, proporcionando la información necesaria acerca del producto, consecuentemente evitando la sobre producción. En la construcción se pueden usar dos tipos de Kanban: de producción y de transporte. El primero se refiere a la producción y transporte de materiales en el sitio; y el segundo se refiere al transporte de materiales que no son producidos en el sitio. Los principales beneficios de la utilización de Kanban en la construcción de edificios son: la reducción de residuos, mano de obra, una mayor autonomía de trabajo con respecto a la distribución de materiales, reducciones en el flujo operacional y mejoras en el control de inventario de materiales de acuerdo a la demanda.
- f) *Planificación semanal de actividades futuras (Lookahead)*: El término en inglés “lookahead”, propuesto por Ballard y Howell (1994), se puede traducir o interpretar como una “vista anticipada” dentro del cronograma maestro, un intervalo de tiempo en el futuro que permite tener una idea inicial de las actividades que serán ejecutadas. Tiene como principal objetivo el control del flujo de trabajo. Por lo general, la planificación abarca las actividades dentro de un intervalo de tiempo de 4 ó 6 semanas. El último planificador se encarga de realizar este tipo de planificación junto con el equipo de trabajo.
- g) *Plan de Trabajo Semanal*: Este tipo de planificación es la última antes de la ejecución de una tarea, tiene como objetivo principal el control de las unidades de producción. La planificación semanal fue propuesto por Ballard y Howell (1994). Es una programación de las tareas “sin restricciones” que el equipo de producción se compromete a ejecutar en la semana, la programación debe ir acorde a lo establecido en la planificación Lookahead. Las tareas asignadas se determinan tomando en cuenta la prioridad, secuencia de trabajo y si se tienen recursos necesarios.
- k) *5 Por qué's (5 Whys/ Buffers)*: Esta herramienta es igual a la presentada en la fase de definición del proyecto.

❖ Fase de montaje o ejecución Lean

a) *Ciclo Planificar, Hacer, Verificar y Actuar (PDCA)*: La etapa de Plan establece los objetivos y procesos necesarios para conseguir resultados de acuerdo con los resultados esperados. La etapa de Hacer contempla la ejecución del nuevo proceso. Los cambios de la aplicación del nuevo proceso se miden en la etapa de Verificar, además de la comparación de los resultados del nuevo proceso contra los resultados esperados y así determinar las diferencias. Finalmente, las diferencias se analizan en la etapa de Actuar para determinar su causa y si los resultados se desvían de las expectativas, el alcance al que se aplica PHVA se refina hasta que la mejora se realiza. En los proyectos de construcción, existe información constantemente que va cambiando cíclicamente por parte de todas las especialidades, equipos, jerarquías y de ida y vuelta todo el tiempo. El equipo que esté estudiando un determinado problema, necesita comunicarse con los equipos afectados por su estudio, e incorporar su información y dudas en la solución. Los reportes A3 permiten una comunicación extensiva realizada rápidamente y efectivamente, y crea transparencia en el proceso de decisión. Los reportes A3 son breves. Están diseñados para presentar un resumen del aprendizaje adquirido en el proceso de investigación del problema, junto con las recomendaciones respectivas. Las representaciones gráficas del problema pueden eliminar miles de palabras y el tiempo asociado de la explicación.

b) *Nivel Actividad*: Es utilizada para el estudio de tiempos y movimientos de la actividad en un sector, frente o todo el Proyecto. Esta herramienta muestra cómo se distribuye el tiempo durante una actividad, separando el trabajo en tres categorías:

- Trabajo Productivo: (TP): Es aquel trabajo que aporta de forma directa a la producción.
- Trabajo Contributivo (TC): Es aquel trabajo relacionado a las tareas necesarias para que pueda ejecutarse el trabajo productivo. Trabajo de apoyo, pero que no aporta valor.
- Trabajo No Contributivo (TNC): Es todo aquel trabajo que no genera valor, son actividades que no son necesarias y generan pérdidas.

Esta herramienta es útil para obtener información sobre la distribución de tiempo en una actividad, de acuerdo a la información obtenida se propondrán mejoras en las actividad buscando aumentar el TP, disminuyendo el TC y eliminando el TNC. Debe tomarse en cuenta que las mediciones de esta herramienta son puntuales, los resultados muestran información de lo que sucede en el Proyecto en un momento particular del día, por eso es importante que se realice periódicamente las mediciones para tener comparativos de los trabajos.

- c) *Carta Balance*: Es una herramienta propuesta por Alfredo Serpell (1993), la cual se centra en una actividad específica. Es una herramienta estadística que permite determinar cómo se divide el tiempo que se dedica a cada una de las tareas dentro de la actividad escogida, permite analizar el procedimiento constructivo usado y buscar su optimización, además de determinar la cantidad de obreros adecuada para la cuadrilla, estudiar la posibilidad de introducir un cambio tecnológico, entre otros. Esta herramienta permite determinar si la cuadrilla a analizar se encuentra correctamente balanceada. El objetivo principal de esta herramienta es analizar la eficiencia del proceso constructivo usado en la actividad. Se debe buscar mejorar la eficiencia del grupo de trabajo con la reasignación de tareas entre sus miembros o modificación del tamaño de la cuadrilla.
- d) *Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado*: Standardized Work Combination Table o Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado, es una herramienta que determina el rango de trabajo y la secuencia de trabajo que cada miembro es responsable. Esta tabla es una herramienta poderosa para comunicar el ritmo esperado a los trabajadores y para controlar la evolución de las tareas, proporcionando la exposición de problemas de corto plazo y su solución. Uso del Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado:
- Como herramienta de entrenamiento, proporciona un estándar que puede ser fácilmente comunicado a los trabajadores durante el proceso de entrenamiento. Los trabajadores chequean su cuadro para verificar que están realizando el proceso correctamente.
 - Como herramienta de calidad, si se encuentra un problema, el primer paso sería confirmar si el proceso ha sido seguido como lo indicado. El Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado hace que sea fácil auditar una operación.
 - Como herramienta de gestión, el Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado permite a los Ingenieros manejen las operaciones diarias, mantener las cosas funcionando, conocer el lugar exacto donde se encuentran sus trabajadores.
 - Como herramienta de mejora continua, permite identificar las pérdidas.
 - Cada empresa puede tener su propio diseño de un Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado, por lo general se coloca en una columna vertical el nombre del trabajo y la tarea a realizar, y en una fila horizontal los tiempos de trabajo (ej. Horas), luego se señala el tiempo designado para cada tarea.
- e) *A prueba de error (Poka Yoke)*: Poka Yoke es una técnica desarrollada por el Ingeniero Japonés Shigeo Shingo en los años 1960's, es una palabra japonesa que traducida al español significa "a prueba de errores". La idea es que no se realicen errores durante un proceso. Poka Yoke se refiere a dispositivos, elementos o sistema que tienen como objetivo principal eliminar los defectos en un producto previniendo los errores antes que se presenten. Si

un producto es inspeccionado al final de su proceso de producción, no se podrán determinar los errores cometidos, la técnica presentada permite evitar los errores durante un proceso. Por lo general, los defectos ocurridos por errores inadvertidos de los trabajadores son casi imposibles de controlar, ya que no se les puede estar controlando al 100%, de modo que es necesario que se evite cometer los errores. Poka Yoke no tiene un estándar, puede ser cualquier procedimiento, dispositivo o, sistema que ayude a prevenir los errores durante un proceso.

- f) *Manuales de procesos constructivos*: Un manual de procedimientos es un documento formal que contiene la descripción de las actividades que se deben seguir durante un determinado proceso. Permite conocer el funcionamiento interno de las tareas, ubicación, requerimientos y responsables de su ejecución. Ayudan a la capacitación del personal, ya que describen en forma detalladas las actividades que se deben realizar. En la industria de la construcción, existen muchos procedimientos constructivos que se realizan de acuerdo a la experiencia de las personas, no siempre las personas coinciden en el tipo de pasos que se debe seguir durante un determinado proceso, lo que no quiere decir que el producto final no sea el correcto, si no que podrían existir procedimientos más eficientes que otros. Los manuales de procedimientos constructivos permiten estandarizar el trabajo que se debe realizar, que exista un “lenguaje en común” entre los trabajadores. Además de la eficiencia clara que existe para los trabajadores, también ayudan a las personas encargadas de la supervisión para controlar la calidad del proceso constructivo y que el producto final se encuentre dentro de los rangos establecidos.
- g) *Sistema de control visual (Andon)*: El término Andon fue usado por primera vez por la empresa Toyota y consiste en un sistema que evidencia los problemas o defectos en un proceso a partir de luces y sonidos que son activados por la persona que realiza el trabajo, parando el trabajo y dedicando un tiempo a corregir el error hallado, este tiempo no debe ser muy prolongado. En la industria manufacturera, el centro del sistema Andon es un letrero incorporado de luces que indican que estación de trabajo posee un problema. Le da la capacidad al trabajador para parar la producción cuando un error es encontrado, y pedir ayuda inmediatamente. El trabajo es parado hasta que no se solucione el problema. Los errores de proceso pueden ser archivados dentro de una base de datos del proyecto para su estudio como parte de un programa de mejora continua. A diferencia de la industria manufacturera, en la construcción no se tienen los sistemas automatizados, la gran mayoría de procesos se realizan con base en la mano de obra que se tiene, sin embargo existen ejemplos de la aplicación de este sistema a la industria de la construcción.
- h) *Manejo de un solo golpe (One Touch Handling)*: One Touch Handling o Manejo es una herramienta propuesta por Glenn Ballard et al (2000), con un solo toque es un ideal lean que proporciona un buen indicador para los

numerosos pasos de re-manipulación desde la recepción hasta el lugar para su uso del material. Algunos materiales pueden ser instalados directamente, mientras que otros son partes o componentes para las sub construcciones que aún no se ha producido. De esos elementos que están listos para la instalación, algunos se pueden instalar directamente desde el vehículo de entrega.

- i) *Porcentaje del Plan Cumplido (PPC)*: El Porcentaje del Plan Cumplido, propuesto por Ballard y Howell (1994), permite estimar cuanto de lo establecido en la programación semanal se ha cumplido verdaderamente, el PPC compara lo que se planeó ejecutar versus lo que realmente se ha ejecutado, en el PPC una tarea ejecutada se considera solamente si fue concluyó según lo especificado en la programación semanal, es decir si una tarea se ha desarrollado pero no está concluida, en el PPC se coloca como si no se hubiera realizado (así falte poco para concluirlo). Esta herramienta es importante porque sirve como retroalimentación para posteriormente implementar mejorar y aprender de las fallas cometidas al asignar una tarea.
- j) *Razones de No Cumplimiento*: Las razones de No Cumplimiento, propuesto por Ballard y Howell (1994), son todas aquellas causas que no permitieron cumplir con la tarea programada en la programación semanal. La identificación de estas causas es parte del proceso de retroalimentación y así mejorar los planes futuros que se realicen.
- k) *Líneas de Balance*: La línea de balance fue desarrollada por la compañía Goodyear Tire & Rubber Company en la década del cuarenta y posteriormente implementada por la armada norteamericana en la década del cincuenta. La Línea de Balance es una técnica de programación que permite mostrar el trabajo que se realiza en un proyecto de construcción como una sola línea, o barra, en una gráfica, en vez de una serie de actividades como se haría en un diagrama de barras. Un proyecto típico podría ser uno de vivienda consistente en varias unidades que requieren el mismo tipo de trabajo, tal como cimentación, muros de block, techos de concreto y acabados e instalaciones.
- l) *5 Por qué's (5 Whys/ Buffers)*: Esta herramienta es igual a la presentada en la fase de definición del proyecto.

❖ Fase de uso y mantenimiento

- a) *Evaluaciones Post-Ocupación*: Es una evaluación del producto luego de encontrarse en uso, es visto como una retroalimentación del proyecto. Permite determinar por inspección, medidas y preguntas como el producto está siendo usado, de esta manera se comprueba si las necesidades y valores del cliente establecidas para el producto fueron las correctas. Las Evaluaciones Post-Ocupación desarrollado por el Instituto de Construcción Lean, permiten documentar las experiencias de un proyecto y que puedan servir de aprendizaje para proyectos posteriores. Son realizadas por el área

de post-venta de una empresa y son dirigidas a los usuarios finales del producto. Las Evaluaciones Post-Ocupación pueden ser divididas en dos etapas (Formoso & Jobim, 2003):

Primera etapa: El cliente llena un cuestionario, en el que se asigna un puntaje a cada ítem y al proyecto como un todo, de manera que se proporcione visibilidad a las fortalezas y debilidades del proyecto, y también para efectuar comparaciones en relación a otros proyectos o compañías.

Segunda etapa: Consiste en recolectar datos, mediante observaciones directas del producto, toma de fotografías, análisis de diseño, mapas conductuales, entre otros.

- b) *Manual del usuario*: Es un documento elaborado por la empresa encargada del proyecto, en donde se dan instrucciones de las características generales del departamento y el mantenimiento periódico del mismo. Este manual se le entrega al cliente junto con la entrega del producto. Además contiene información sobre el tiempo de cobertura del departamento por parte de la empresa. Cada empresa diseñará el manual de acuerdo a las instrucciones que crean convenientes y las características de su producto.
- c) *Formulario de Asistencia Técnica*: Esta herramienta consiste en capturar formalmente todos los requerimientos que podría tener el usuario del producto. El formulario de Asistencia Técnica permitirá a la empresa registrar todos los requerimientos del cliente (dudas, reclamos), monitorear todas las fases de la ejecución del servicio, registrar los costos de cada requerimiento, la cantidad de personal requerido para cada tipo de actividad, el ingeniero responsable de cada actividad y buscar la satisfacción del cliente.

El formulario de Asistencia Técnica puede realizarse personalmente, donde un representante de la empresa va donde el cliente y llena el formulario, o podría realizarse de forma virtual, mediante una plataforma en internet donde cada cliente tenga un usuario y contraseña de la empresa. Además, es importante mantener una base de datos con los requerimientos de los clientes para poder obtener estadísticas para evaluar su gestión las cuales podrían ser: reclamos por tipo de actividad, número de reclamos por proyecto, entre otros.

- d) *Plan de Inspecciones periódicas*: Es importante tener un plan de intervención, basado en la prevención del mantenimiento de los edificios, para aumentar el tiempo de vida del proyecto y prevenir los problemas futuros que se podrían presentar. Cupertino et al. (2011), proponen el uso de un Plan de Inspecciones Periódicas, el cual muestra en qué momento del tiempo se deben realizar las inspecciones de cada sistema constructivo del proyecto. Este plan de inspecciones solo se realiza durante el tiempo de garantía del proyecto. Además, la empresa podría ofrecer el sistema de mantenimiento del proyecto (pasado la garantía), mediante un acuerdo contractual con el cliente.

- e) *Diagrama de flujo y tiempo de entrega de las actividades*: La herramienta propuesta por Cupertino et al. (2011), consiste en realizar un diagrama de flujo de las actividades realizadas durante el proceso de recepción y levantamiento de un reclamo del cliente. El equipo de post venta elabora el diagrama de flujo, en donde se deben establecer los tiempos de entrega de cada actividad, dando la posibilidad de analizar la posibilidad de reducir los tiempos de entrega, generando valor al servicio.

3.2.4 **Fase 4:** Determinación y clasificación de los beneficios reportados en la literatura con la implementación de LC.

Los múltiples beneficios aportados por esta metodología en la industria de construcción, se proyectan más allá de esta área, ya que nos permite gozar de beneficios ecológicos, sociales y económicos. Un claro ejemplo positivo es su relación con la sustentabilidad, donde se observa el nexo existente entre las diversas esferas tanto ecológico, sociales y económicas que esta filosofía produce (Ramos, Dávalos, & López, 2015). Nahmens e Ikuma (2012), describen los tres diferentes conceptos que forman la sustentabilidad en la metodología Lean aplicada a la construcción, dividiéndola en un aspecto social, ambiental y económico. La herramienta de la que se basa la sustentabilidad en LC, es llamada *kaizen*, que busca minimizar los desperdicios; y a su vez, la reducción de desperdicios trae como consecuencia la sustentabilidad.

3.2.4.1 *Clasificación de los beneficios reportados en la literatura.*

Conforme a lo mencionado en el punto anterior, los beneficios se pueden clasificar en tres rubros en términos de sustentabilidad:

- a) *Aspecto medio ambiental*: Respecto al aspecto ambiental, la industria de la construcción es de las principales contaminadoras debido al alto consumo de energía y al volumen de sus desperdicios. Entre estos, se encuentran los desperdicios de energía, de agua, de materiales, de transporte, así como la generación de emisiones y contaminantes, o la destrucción de la biodiversidad. Se refiere al uso eficiente y racional de los recursos naturales, para que sea posible mejorar el bienestar de las sociedades actuales sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras. Esto implica tener en cuenta los límites de renovación de los recursos, los ciclos de la naturaleza, y lograr un equilibrio entre el hombre y el medio (Gómez, 2017).
- b) *Aspecto económico*: Económicamente, hacer los cambios pertinentes y minimizar el control de desperdicios impacta directamente en el presupuesto inicial (Ramos, Dávalos, & López, 2015). La sustentabilidad económica se refiere a llevar a cabo prácticas que sean económicamente rentables, pero también social y ambientalmente responsables. Es decir, apuntar al crecimiento económico, sin dejar de lado la equidad social y el cuidado ambiental. Esto debería primar en las agendas de todos los empresarios del mundo, sin embargo, aún vivimos en un sistema económico basado en maximizar la producción y el consumo a cualquier

costo, aunque esto implique explotar los recursos de manera ilimitada y no responsable, y generar mayor desigualdad social (Gómez, 2017).

- c) *Aspecto social*: En el aspecto social de LC se incluye el cambio climático, la salud humana, los cambios en los ecosistemas, la deterioración de la infraestructura, entre otras. Las vidas humanas son consideradas las más importantes dentro de este aspecto; se ha comprobado que en aquellas compañías donde se han aplicado estas técnicas se han reducido los accidentes laborales considerablemente (Nahmens & Ikuma, 2012). Para alcanzar el equilibrio, el desarrollo no debe perpetuar ni profundizar la pobreza, la exclusión y la desigualdad. Debe apuntar a alcanzar la equidad y la justicia social, promoviendo la participación de las sociedades en la generación (y la distribución) de riqueza. Para esto es necesario que se respeten los derechos humanos (económicos, políticos, culturales, de géneros) de todas las comunidades del mundo. También significa apoyar iniciativas que apunten a la conservación de las tradiciones y de los derechos de las comunidades regionales sobre su territorio. Los desalojos de las comunidades originarias de sus tierras para la explotación de recursos es una de las prácticas que más atacan este principio. La búsqueda de rentabilidad económica prima sobre los derechos de los habitantes, su cultura, y el cuidado ambiental (Gómez, 2017).

3.2.4.2 Selección de los beneficios que se evaluarán dentro del instrumento de medición.

A continuación se enlistan los beneficios reportados dentro de la literatura y que fueron seleccionados para determinar la relación existente entre ellos y los FCE, herramientas y técnicas de la metodología LC.

- a) Aspecto medio ambiental
 - a. Reducción de consumo de energía.
 - b. Reducción de consumo de agua.
 - c. Reducción de consumo de materiales.
 - d. Reducción de generación de residuos generales y peligrosos.
 - e. Reducción de emisiones de CO₂.

- b) Aspecto económico
 - a. Mayor satisfacción del cliente.
 - b. Balance del flujo de construcción y sus cambios.
 - c. Reducción de tiempo/ciclo de construcción.
 - d. Introducir mejora continua en el proceso.
 - e. Incremento en la utilidad.
 - f. Reducción de costos

- c) Aspecto social
 - a. Simplificar las cosas a través de la reducción de etapas, pasos y partes.
 - b. Reducción de accidentes laborales.
 - c. Menor rotación de personal.
 - d. Incremento en el nivel de calidad.
 - e. Satisfacción del personal.

3.2.5 Fase 5: Validación de instrumento.

Es esencial que las escalas (constructos) y sus elementos que lo conforman sean tanto confiables como válidos. La escala se refiere al concepto que se desea medir a través de varios reactivos (también llamados: elementos o ítems) y la confiabilidad de la escala se refiere a grado en el que la escala es libre de error aleatorio, el cual puede ser error involuntario al calificar o al elegir aleatoriamente una respuesta entre múltiples opciones. La confiabilidad se calcula al restar a 1 la proporción de varianza observada que es debida al error aleatorio (Kline, 2005).

3.2.5.1 *Aplicación del instrumento a empresas del sector de construcción en México, así como otros métodos de obtención de datos como grupos de enfoque y sondeo.*

Con base en el objetivo de la investigación, la unidad de observación serán las empresas con actividades en el sub-sector “Edificación” en construcción. Las empresas muestreadas serán las medianas y grandes con personal ocupado igual o mayor a 100 empleados, debido a que son las que cuentan con las condiciones mínimas para la implementación de metodologías de mejora continua.

3.2.5.2 *Confiabilidad del instrumento y escala de medición.*

En el caso de la validez, esta concierne a la robustez de las inferencias basadas en las escalas obtenidas, esto es que las escalas midan lo que se supone que deben medir, pero que también no midan lo que se supone no deban de medir (Thompson, 2003). En ese sentido la mayoría de formas de validación de escalas están incluidas bajo el concepto de validez de constructo, la cual implica determinar si la escala mide el constructo hipotético que el investigador estipula.

3.2.5.2.1 *Índice de Alfa de Cronbach:* El estimado de confiabilidad que comúnmente es reportado es el coeficiente alpha de Cronbach (α), el cual mide la confiabilidad de la consistencia interna, es decir el grado en el cual las respuestas son consistentes entre los reactivos o elementos dentro de una misma medida. Si la consistencia interna es baja, el contenido de los elementos puede ser tan diferente que la calificación total no es la mejor unidad posible para el análisis de la escala (Kline, 2005). Este índice presenta valores entre 0 y 1, los valores cercanos a 1 son considerados aceptables, es decir, se trata de escalas confiables y a su vez instrumento confiable y hace que sus mediciones sean estables y consistentes, pero si su valor está por debajo del 0.60 el instrumento que se está evaluando presenta una variabilidad heterogénea en sus elementos y por lo tanto nos llevará a conclusiones erróneas. La fórmula para calcular el alfa de Cronbach a partir de la correlación entre los objetos es:

$$\alpha = \frac{k \cdot p}{1 + p(k - 1)}$$

Dónde k = número de empresas y p = el promedio de correlación lineal entre cada empresa.

Por su parte, el alfa de Cronbach a partir de la Varianza es:

$$\alpha = \left[\frac{k}{k-1} \right] \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k S_i^2}{S_t^2} \right]$$

Para determinar el coeficiente α de Cronbach, se calcula la correlación de cada reactivo o “ítem” con cada uno de los otros, resultando en una gran cantidad de coeficientes de correlación. El valor de α es el promedio de todos los coeficientes de correlación (Cozby, 2005), y no es un estadístico de uso, por lo que no viene acompañado de ningún p-valor que permita rechazar la hipótesis de confiabilidad en la escala. No obstante, cuanto más se aproxime a su valor máximo 1, mayor es la fiabilidad de la escala. Además, en determinados contextos se considera que valores del alfa superiores a 0,7 ó 0,8 (dependiendo de la fuente) son suficientes para garantizar la fiabilidad de la escala. Algunos autores difieren con respecto al valor mínimo para que una prueba sea confiable, al respecto Devellis (2005), plantea la siguiente escala para el alfa de Cronbach.

- Por debajo de 0.60 Inaceptable,
- De 0.65 a 0.70 Mínimamente aceptable,
- De 0.70 a 0.80 Respetable,
- De 0.80 a 0.90 Muy buena,

En cambio (Hogan, 2004) ofrece la siguiente valoración:

- Mayor que 0.90 nivel elevado de confiabilidad,
- Mayor que 0.80 y menor que 0.90, nivel de confiabilidad moderada,
- Mayor que 0.70 y menor que 0.80, nivel considerado bajo,
- Menor que 0.70, Inaceptable.

La confiabilidad de la escala es muy importante, especialmente cuando se tiene un solo indicador de medición, es decir que sólo hay una variable observada para cada constructo (Kline, 2011). Una forma de evitar esto es empleando un indicador de medida múltiple, en donde más de un variable observada es usada para medir el mismo constructo. De esta manera se puede reflejar más aspectos de cada constructo y a su vez la confiabilidad de la medición tiende a ser más alta. Al respecto en este apartado se realiza la validación de la escala sobre las preguntas asociadas a los FCE, así como los beneficios, por lo cual se calcula el índice alfa de Cronbach IAC para los 7 FCE considerados inicialmente y los 3 beneficios, utilizando el software SPSS Statistics 17. Posteriormente se realizan los cálculos para determinar la confiabilidad de diferentes constructos empleados como trabajo en equipo, gestión de la calidad total (TQM), sustentabilidad, entre otros.

3.2.5.3 Validez del instrumento y calificación.

En cualquier estudio o proyecto que se realice, cuando se termina de recopilar la información y datos, siempre se debe cuestionar la validez de la información la validez consiste en asegurarnos de que estamos midiendo lo que realmente nos dispusimos a medir, para este fin se realizó un análisis factorial exploratorio con

objeto de depurar definitivamente la escala de medida. Al respecto, se recomienda realizar pruebas para la validez de la calificación como la prueba de esfericidad de Bartlett es decir, la prueba de que la matriz de intercorrelación de los datos es significativamente diferente a una matriz identidad. Asimismo la prueba Káiser-Meyer-Olkin (KMO), la cual mide el nivel de factorización de variables, indicando valores de 0 a 1 donde 1 es un nivel de factorización alto. A su vez, las comunalidades o las sumas de cuadrados de las cargas factoriales de cada variable son otra prueba a realizar por medio de los componentes principales rotados utilizando varimax principalmente.

Para este fin se realiza un análisis factorial confirmatorio con objeto de depurar definitivamente la escala de medida. Primero se realiza la prueba de esfericidad de Bartlett para evaluar si la matriz de intercorrelación de los datos analizados es significativamente diferente a una matriz identidad. Posteriormente se realiza la prueba Káiser-Meyer-Olkin (KMO) para determinar el nivel de factorización de las variables. Ambas pruebas se realizan utilizando el software SPSS.

El instrumento final es un cuestionario anónimo compuesto de 4 secciones con un total de 111 ítems. En las instrucciones se solicita que se señale la opción que mejor refleje las actitudes y comportamientos que se dan en su empresa en general. La forma de responder al cuestionario consiste en una escala tipo Likert de cinco puntos (1: Nunca; 5: Muy frecuentemente).

Secciones del cuestionario:

- 1.- Datos demográficos (9 ítems).
- 2.- Factores de relevancia en Lean Construction (37 ítems).
- 3.- metodología para implementación de lean construction - LPDS (Lean Project Delivery System) (51 ítems).
- 4.-Beneficios Percibidos (14 ítems)

El instrumento se aplicó en el sub-sector edificación por medio de la plataforma de recolección de datos Surveygizmo, en la que el cálculo de tiempo de respuesta es de 13 minutos aproximadamente. El instrumento fue enviado por correo electrónico a las empresas registradas en el DENUÉ y mediante la red social LinkedIn que se encuentra orientada a las empresas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de datos demográficos

Se obtuvieron respuestas de 17 estados de la república mexicana, entre los que se encuentran Baja California, Jalisco, Querétaro, Estado de México, Ciudad de México, Nuevo León, Nayarit y otros. Las empresas encuestadas cuentan con una antigüedad en el sector de la construcción de entre 2 a 80 años, de igual forma, se obtuvo una respuesta positiva con respecto al interés sobre conocer los resultados de esta investigación.

Con respecto a las certificaciones con las que han trabajado, se obtuvo que 10 de ellas tienen o han trabajado con PCES (Programa de certificación de edificios sustentables), 26 con la certificación LEED®, se obtuvieron 4 respuestas afirmativas con la certificación BREEAM® y por último 4 empresas han trabajado con la certificación “Green Globes for New Construction and Continual Improvement of Existing Buildings”.

4.2 Validación estadística del Instrumento

La validación del instrumento se realizó con una muestra de 58 empresas distribuidas dentro de la población objetivo mostrado anteriormente. La prueba de confiabilidad arrojó los resultados que se pueden observar en la tabla 5:

Tabla 5. Prueba de confiabilidad estadística interna de constructos (Alpha de Cronbach).

VARIABLE	N° de ítems	α Cronbach
Aprendizaje Y Mejora Continua (Kaizen)	5	0.805
Resistencia Al Cambio	5	0.392
Pensamiento Y Cultura	5	0.733
Soporte Organizacional	5	0.811
Gestión De La Calidad Total (TQM)	6	0.883
Trabajo En Equipo	5	0.839
Sustentabilidad	6	0.897
Beneficio Aspecto Medio Ambiental	5	0.910
Beneficio Aspecto Social	5	0.896
Beneficio Aspecto Económico	4	0.862

La consistencia interna de los elementos que integran el concepto general fue medido a través del alfa de Cronbach resultando un valor general de 0.969 para los 51 elementos como un conjunto así como los resultados en la tabla anterior, valores que se pueden considerar confiables. Se puede observar que se obtuvo un resultado de 0.392, por lo que se considera descartar ese constructo del instrumento para ser analizado posteriormente.

De igual forma, para comprobar la validez de la calificación del instrumento se realizó un análisis con el índice de Káiser-Meyer-Oklin y prueba de Esfericidad de Bartlett, misma que se pueden apreciar en la tabla 6, que, de acuerdo a Pérez y Medrano (2010), el test de

esfericidad de Bartlett permite evaluar la hipótesis nula que afirma que las variables no están correlacionadas. Dado que esta prueba puede mostrar resultados significativos a pesar de no existir correlaciones considerables entre las variables, se recomienda la utilización adicional de la medida KMO. La lógica del índice KMO es que si las variables comparten factores comunes, los coeficientes de correlación parcial deben ser pequeños y por ende los valores de la diagonal de la matriz deben ser elevados.

Tabla 6. Validación estadística interna de constructos (KMO).

FCE	N° de ítems	Índice KMO
Aprendizaje Y Mejora Continua (Kaizen)	5	0.721
Resistencia Al Cambio	5	0.450
Pensamiento Y Cultura	5	0.722
Soporte Organizacional	5	0.748
Gestión De La Calidad Total (TQM)	6	0.816
Trabajo En Equipo	5	0.768
Sustentabilidad	6	0.816
Beneficio Aspecto Medio Ambiental	5	0.852
Beneficio Aspecto Social	5	0.869
Beneficio Aspecto Económico	4	0.819

La prueba de esfericidad de Bartlett indicó que los datos analizados se adaptan para la realización de un análisis factorial exploratorio (AFE), con un P-value general para la base de datos de 0.000, así como para cada constructo, como se muestra en la tabla 7, y la prueba de adecuación de la muestra con valores de KMO con un valor de 0.749 para el conjunto de FCE, que se considera una relación mediana entre las variables.

Tabla 7. Prueba de esfericidad de Bartlett

FCE	N° de ítems	Aprox. Chi cuadrada	Grados de Libertad	P-value
Aprendizaje Y Mejora Continua (Kaizen)	5	65.206	10	.000
Resistencia Al Cambio	5	43.701	10	.000
Pensamiento Y Cultura	5	62.100	10	.000
Soporte Organizacional	5	83.129	10	.000
Gestión De La Calidad Total (TQM)	6	153.315	15	.000
Trabajo En Equipo	5	75.277	10	.000
Sustentabilidad	6	167.928	15	.000
Beneficio Aspecto Medio Ambiental	5	130.277	10	.000
Beneficio Aspecto Social	5	101.138	10	.000
Beneficio Aspecto Económico	4	75.441	6	.000

4.3 Análisis del uso de herramientas de LPDS

Dentro de los resultados que también se pueden analizar es el porcentaje de utilización de cada una de las herramientas que componen las 5 fases del LPDS, teniendo en cuenta las limitaciones de que sólo se tienen 58 respuestas para la validación estadística del instrumento hasta el momento.

La Figura 4.3.1 muestra el porcentaje de utilización del listado de herramientas durante la fase de Definición del proyecto. Como se puede observar, ninguna de ellas supera el 70% de utilización en la muestra obtenida hasta el momento, también se puede observar que la mayoría de ellas se encuentran por debajo del 50% de utilización entre las empresas.

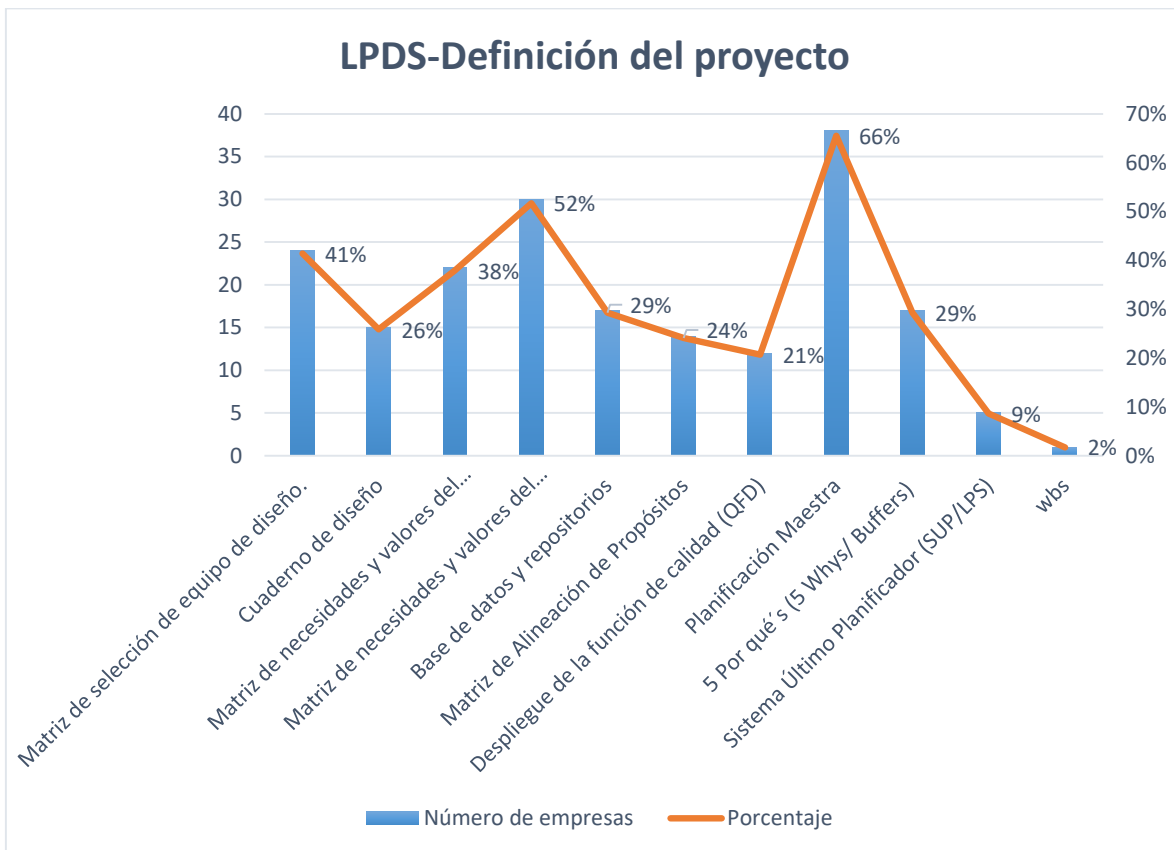


Figura 4.3.1 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Definición del proyecto.

Dentro de la figura 4.3.2 se observa el comportamiento de las empresas con respecto a la utilización de las herramientas durante la fase Diseño del proyecto. Sólo 3 de las 14 herramientas enlistadas son utilizadas con un porcentaje mayor al 50%, en las que se encuentran el diseño de procesos, diagrama de flujo/matriz de responsabilidades y planificación por fases. Se puede observar que ninguna supera el 80%.

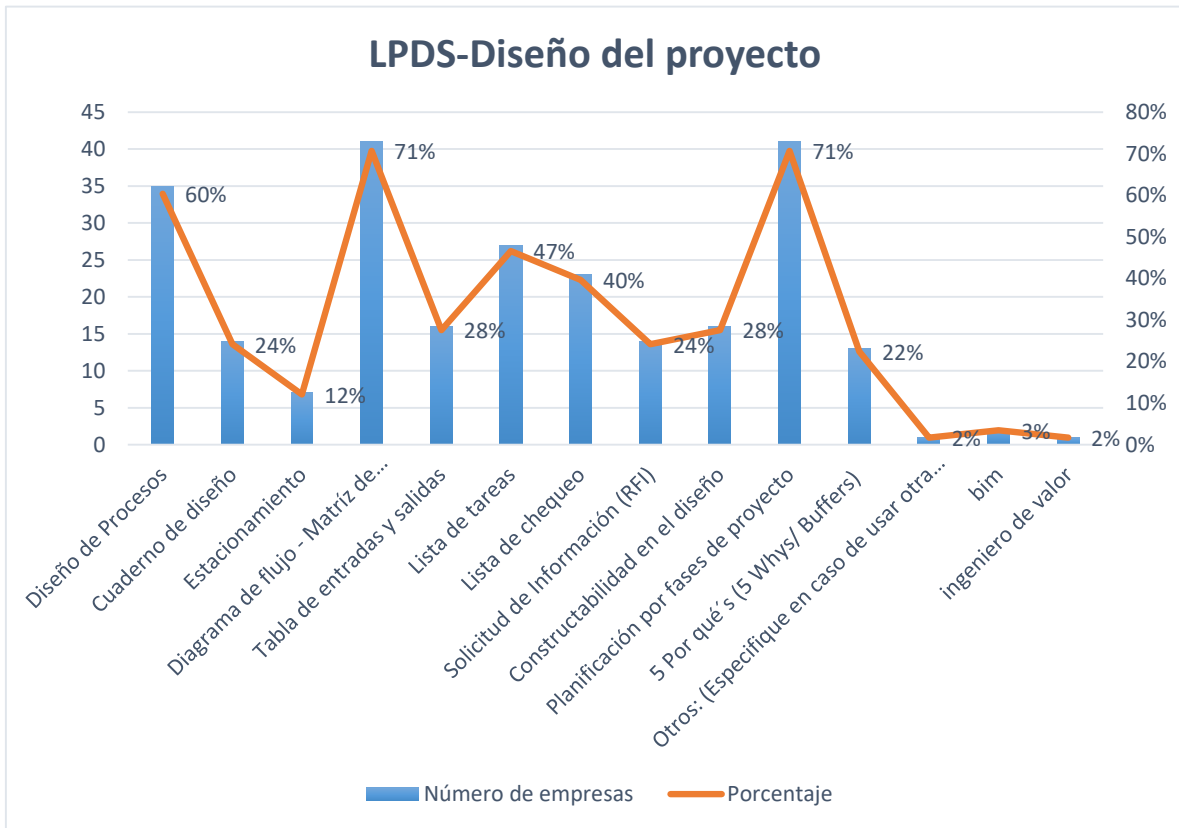


Figura 4.3.2 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Diseño del proyecto.

En la fase de Suministro Lean, 2 de las 7 herramientas enlistadas son utilizadas por arriba del 50% de las empresas, que son las que tienen que ver con respecto a la planificación semanal de actividades futuras y el plan de trabajo semanal. En lo que respecta al as demás herramientas, su utilización sólo es llevada a cabo por menos del 40% de las empresas, a excepción de las 5´s, en donde el 40% de las empresas la utiliza, como se puede observar en la figura 4.3.3.

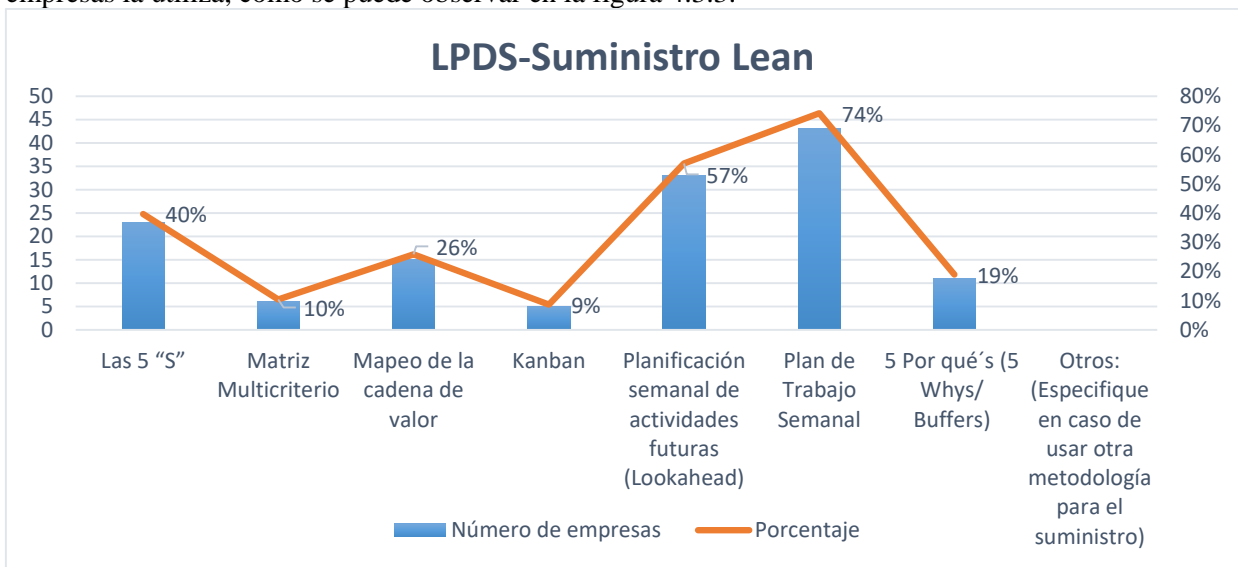


Figura 4.3.3 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Suministro Lean.

En lo que respecta a la fase de Montaje o ejecución Lean, 3 de las 12 herramientas enlistadas son utilizadas por más del 50% de las empresas, pero ninguna de ellas supera el 70%. Pese a que se tiene un porcentaje de utilización de cada una, son muy pocas las empresas quienes las implementan de forma general.

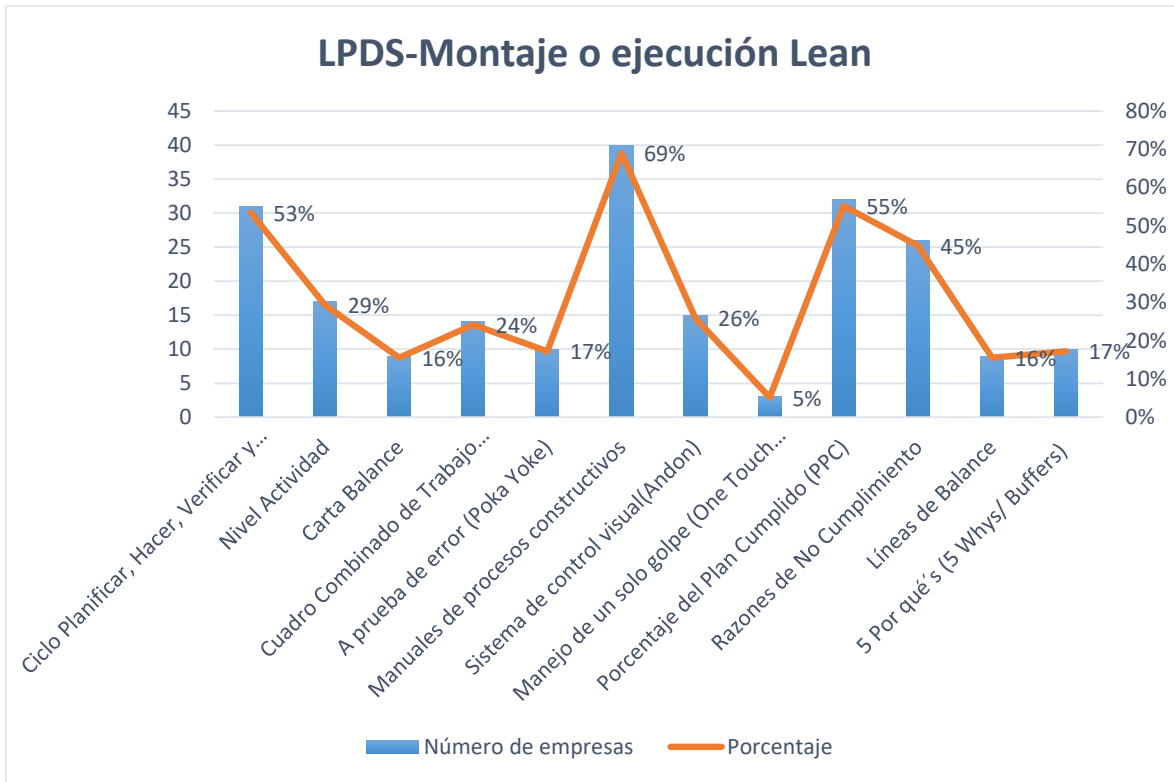


Figura 4.3.4 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-Montaje o ejecución Lean.

Se puede observar en la figura 4.3.5 que las herramientas para la fase de Uso y mantenimiento son las más utilizadas por las empresas encuestadas, ya que todas se encuentran por arriba del 40%, sin embargo, ninguna supera el 80% de uso.

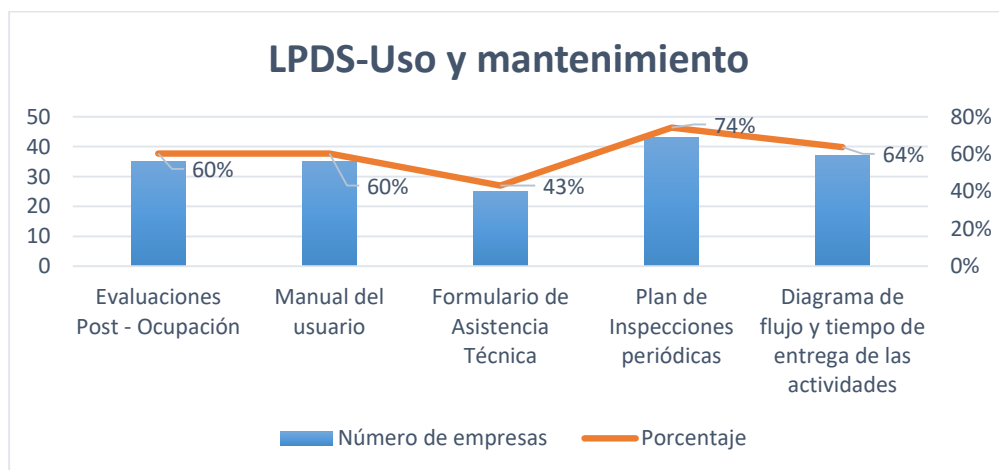


Figura 4.3.5 Porcentaje de utilización de las herramientas LPDS-UsO y mantenimiento.

4.4 Resultado de los beneficios percibidos.

En la última sección del instrumento, se solicitó a las empresas que indicaran cuales eran los beneficios en los que se veía un incremento al realizar proyectos en donde se llevara a cabo la implementación de alguna metodología de mejora, dando como resultado la tabla 8, en la se expresan la cantidad de empresas que reportaron un incremento en los beneficios enlistados de las 58 respuestas por parte de las empresas. Los resultados muestran que 31 empresas reportan una reducción en la generación de residuos generales y peligrosos, también 31 empresas reportan una reducción en el consumo de agua en el aspecto ambiental; 46 reportan un incremento en el nivel de calidad y 45 empresas reportan la reducción de accidentes laborales en el aspecto social; así como una mayor satisfacción del cliente desde el aspecto económico con el reporte de 43 empresas.

Tabla 8 Beneficios percibidos con la implementación de LEAN.

BENEFICIOS PERCIBIDOS CON LA IMPLEMENTACIÓN DE LEAN.	N° empresas
<i>Aspecto medio ambiental</i>	
Reducción de consumo de energía.	30
Reducción de consumo de agua.	31
Reducción de consumo de materiales.	29
Reducción de generación de residuos generales y peligrosos.	31
Reducción de emisiones de CO ₂ .	25
<i>Aspecto social</i>	
Simplificar las cosas a través de la reducción de etapas, pasos y partes.	30
Reducción de accidentes laborales.	45
Menor rotación de personal.	29
Incremento en el nivel de calidad.	46
Satisfacción del personal	33
<i>Aspecto económico</i>	
Mayor satisfacción del cliente.	43
Incremento en la utilidad.	29
Reducción de costos	26
Reducción de tiempo/ciclo de construcción.	33
Introducir mejora continua en el proceso.	24
Balance del flujo de construcción y sus cambios.	36

4.5 Discusión

A pesar de que la construcción se encuentra en el cuarto lugar con respecto al PIB generado en el país, no se cuenta con estudios sobre el estado actual de *Lean construction* dentro del país, incluso es escasa la información con respecto a otras estrategias de mejora. Caso contrario en el área de *Lean Manufacturing*, el cuál es ampliamente conocido dentro del sector nacional, que aunque continúa presentando diversidad en su implementación, ya se conocen casos de éxito. Es necesario que se tome conciencia de los beneficios que se obtienen con la implementación de sistemas de mejora continua e innovación. Hasta el momento se observa un interés escaso por *Lean Construction* en México, ya que de acuerdo con los resultados obtenidos hasta el momento con el instrumento, se tienen muchos problemas de administración de proyectos, así como una escasa información sobre los factores críticos que pueden lograr un incremento en el proceso de mejora continua en el sector.

Pons (2014), menciona que el orden lógico para que se implemente con éxito LC requiere entre otras cosas, la adaptación de esta metodología a las circunstancias, cultura y recursos de cada empresa, cada región y país, por lo que en concordancia con él, es necesario el análisis preliminar de la situación actual en México para poder lograr una implementación exitosa, que contemple los puntos críticos específicos en los que se debe trabajar dentro del sector, de esta manera, al observar los resultados potenciales que se pueden lograr con esta investigación, se puede observar que se tienen las bases para poder desarrollar la adopción de esta metodología en el país de forma exitosa, ayudando así, a que el nivel de implementación aumente y se considere competitivo con respecto a los demás países en las mismas condiciones.

Sertyesilisik (2016), menciona que los factores críticos de éxito (FCE) dentro de Lean Construction son: “Cultura y enfoque estratégico, Pensamiento organizacional Lean, Liderazgo de la dirección, Integración de gestión de operaciones, Prácticas de gestión de recursos humanos”, algunos de ellos fueron tomados en cuenta para esta investigación, ya que en común acuerdo con el autor mencionado, factores como la cultura y el pensamiento organizacional son críticos para una implementación exitosa y al observar los resultados obtenidos hasta el momento, se confirma que es acertado con respecto a lo que menciona el autor.

Sarhan et al. (2018), así como Saini et al. (2018), concuerdan con que es necesario realizar más investigaciones para comprender el papel de la cultura nacional en la implementación de LC, así como la forma en que las culturas nacionales en diferentes países constituyen barreras para la implementación. De igual forma mencionan que estudio similar en otra área o país podría destacar un conjunto diferente de FCE para la transferencia y el intercambio de conocimiento tácito. Es importante intentar una investigación específica del sector y examinar los hallazgos obtenidos en el estudio. Los factores como la confianza entre organizaciones y personas, la transferencia de conocimiento, la capacidad de liderazgo, estrategias corporativas, la motivación, habilidades y entrenamiento, son factores que mencionan los autores que se pueden considerar críticos para la adopción de la metodología y que estos pueden variar de una región a otra, de acuerdo a la cultura que se tiene en cada una. Analizando lo mencionado por los autores y observando las respuestas obtenidas, así como el interés de algunos respondientes por conocer más sobre el tema, se puede argumentar

que la cultura es uno de los factores más importantes que se deben tener en cuenta para la implementación de LC, que incluso podría llegar a ser el factor crítico más importante a tomarse en cuenta.

La experiencia de otros países en los que ya se ha implementado la metodología y los resultados obtenidos que se reportan en la literatura, han conducido al diseño de una estrategia de implementación de técnicas basadas en los principios de LC que ha producido buenos resultados pero éstos aún evolucionan. La estrategia implica el desarrollo de educación sistemática y acciones de investigación, una interacción activa con los directores superiores de contratos y sus organizaciones del proyecto, la colaboración entre empresas y una constante búsqueda de nuevas maneras para mejorar el proceso de implementación. Hay la necesidad de encontrar métodos para consolidar cambios dentro de las empresas, mantener la motivación y la persistencia en una cultura conservadora.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Múltiples lecturas revisadas durante el desarrollo de esta investigación, mencionan que los beneficios obtenidos por la implementación de Lean Construction (LC), son clasificables en términos de sustentabilidad, los cuales se pueden dividir en términos de medio ambiente, social y económico. De igual forma, analizando los resultados obtenidos con el instrumento, más del 40% de las empresas que han trabajado bajo alguna metodología de mejora, así como bajo alguna certificación, reportan un incremento en beneficios de sustentabilidad que se proporcionaron como respuesta, por lo que la posibilidad de que LC tenga una adopción positiva como metodología, debido a los beneficios que reporta, dando por aceptada parcialmente la hipótesis 1(H₁), que se planteó al principio de la investigación.

El primer objetivo de la investigación fue determinar cuáles eran los FCE para la implementación de LC, entre los que se encuentran el aprendizaje y mejora continua, trabajo en equipo, control de la calidad total, sustentabilidad, entre otros, los cuáles fueron descritos e incluidos en el instrumento, de acuerdo a lo encontrado en la revisión de literatura a nivel mundial, sin embargo, aún queda por estudiar si para México son igual de significativos, una vez obtenidos los resultados de la aplicación del instrumento.

Los valores de alfa de Cronbach son superiores a 0,70 para el instrumento como un todo y para cada uno de los constructos que lo integran, lo que prueba la confiabilidad que se puede obtener. Hasta el momento, se puede mencionar que el instrumento tiene potencial para cumplir de manera generalizada con el objetivo de la investigación de la que forma parte, sin embargo, es necesario continuar realizando los análisis necesarios, así como las respectivas modificaciones en el constructo “Resistencia al cambio” para poder continuar con la validación estadística del instrumento y que este cumpla con su función como parte integral de la investigación. Por otra parte, analizando las respuestas obtenidas hasta el momento por parte de las empresas, se cumple parcialmente con la hipótesis 2 (H₂), en la que los factores críticos seleccionados para el estudio tienen potencial para ser calificados como críticos para el éxito en la implementación de LC, sin embargo, se requieren más estudios al respecto que puedan confirmarlo.

Debido a que no existe un manual o especificaciones para determinar que herramientas deben ser consideradas dentro de los Proyectos Lean, se escogieron las herramientas publicadas por el Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC). Por otro lado, una herramienta usada en los proyectos de construcción puede encontrarse dentro del LPDS si es que cumple con los principios de la construcción Lean. Cada herramienta está relacionada a una o más de los 16 principios de la construcción, sin embargo, también se ha encontrado que algunos de los principios no están relacionados a una herramienta específica, por lo cual es necesario la continua investigación para lograr que todos los principios sean aplicados durante un proyecto. Por lo que se concluye que dentro del LPDS se puede encontrar el grupo de herramientas críticas necesarias para LC, dando por cumplido lo mencionado en la hipótesis 3 (H₃), así como el objetivo dos de esta investigación.

Se puede observar de manera general que en cada etapa de la metodología se utilizan 2 de las herramientas más sencillas de aplicar y que a su vez son las que más aportan en cuanto a mejoras del proyecto con respecto a la visión tradicional. Estas herramientas replantean totalmente la manera de trabajar pasando de un sistema “push” a un sistema “pull”, mencionado este punto, es normal que el uso de estas herramientas se haya divulgado mucho más que otras herramientas más complejas de la filosofía Lean dado las mejoras que representan. Sin embargo, se deben utilizar las herramientas de manera constante y con un orden para que las mejoras que estas representan se vean reflejadas en los resultados durante la implementación de LC, con los resultados obtenidos hasta el momento, se puede ir analizando en qué herramientas se necesita capacitación, así como cuáles son las que se deben reforzar, cumpliendo de esta manera con el objetivo tres.

Es evidente la necesidad que se tiene por cambiar el estado actual de la administración en construcción en nuestro país. Los problemas correspondientes a la eliminación de desperdicios y la ineficiencia, son inversamente proporcionales al valor que puede tener el producto de la construcción. Es inminente el apoyo que se requiere en el sector para trabajar en la disminución de todas las actividades que no agregan valor y la eliminación de todas aquellas que generen costos extra que no se tenían contemplados, por falta de una buena administración del proyecto.

En general, la construcción Lean tiene la capacidad para mejorar el estado de la industria en México, sin embargo, pese a que la metodología tiene más de 20 años en desarrollo, el desconocimiento que se tiene es notorio desde la escases en el uso de las herramientas de mejora continua, así como en el desarrollo de procesos que busquen la eficiencia en cada una de sus etapas. De esta manera, se puede concluir que la hipótesis 4 (H₄), es acertada para fines de la presente investigación. Es evidente la necesidad de contar con técnicas más sofisticadas en la administración de proyectos de construcción que permita a la industria ser más productiva y cada vez obedecer estándares de calidad más estrictos. Debido a que sólo se llegó a la validación del instrumento en este proyecto de investigación, no se puede concluir satisfactoriamente el objetivo cuatro que se planteó al principio, queda pendiente por obtener resultados prácticos una vez analizado el resultado de la aplicación del instrumento y realizar la comparación entre el sistema tradicional y LC.

Aunque no se tiene evidencia en el país sobre la implementación de esta metodología, los resultados obtenidos en otros países motivan la visión de implementar técnicas basadas en los principios de LC que han producido buenos resultados y que continúan evolucionando. Esta visión implica el desarrollo de una visión sistemática y acciones de investigación en el interior de las organizaciones, así como en el exterior. Contar con el apoyo y la interacción activa de los directores y superiores de las empresas constructoras y de las empresas de proyectos, así como la colaboración entre empresas que propicie a la búsqueda constante de estrategias para mejorar los procesos de implementación.

Es prácticamente imposible mejorar lo que no se tiene medido, además de aceptar lo incompleto como inevitable, como por ejemplo una planificación deficiente, de aquí la necesidad de ser flexibles como un requisito en la mejora continua. Trabajar constantemente en la capacitación de los contratistas, toda oportunidad de aprendizaje de errores no debe ser desperdiciada y debe ser analizada adecuadamente como parte de un principio de mejora

continua, aún a pesar de la resistencia al cambio que se da ante la presencia de una nueva metodología de trabajo. Esta metodología debe permear a tal grado en las empresas que debe considerarse como parte de una cultura organizacional y de las empresas que integran un ciclo productivo, creando en todos los integrantes de esta metodología una forma de vida y pensamiento.

5.2. Recomendaciones

La validación de este instrumento de LC se muestra como un recurso potencial para la implementación exitosa de la metodología Lean Construction. Además, la aplicación del instrumento permite la evaluación indirecta de los factores que normalmente no se tienen en cuenta al realizar el desarrollo de un proyecto constructivo. La implicación de los sistemas de educación superior y grupos específicos de investigación que estén en colaboración directa con las empresas es un dato a tener en cuenta, ya que tal y como hemos visto, existe una relación directa entre la investigación y los países con mayores niveles de implementación y casos de éxito. De la misma forma, se ha demostrado que LC es un trabajo en equipo y que para abordar el cambio definitivo, cuyas ventajas ya han quedado más que demostradas, se necesita la implicación de todos los agentes sociales: constructores, promotores, administración pública, arquitectos, ingenieros, proveedores y fabricantes, legisladores y la universidad o centros de investigación; y que la capacitación es la clave para lograr una implementación exitosa.

El listado de Herramientas del LPDS propuesto en este proyecto no debe verse como el único existente que podría hacerse, debido a que los conceptos relacionados a Lean Construction se encuentran en renovación constantemente. Se realizan investigaciones y propuestas de nuevas herramientas dentro de la filosofía Lean cada año, cada herramienta debe ser aceptada o validada por el Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC), de esta manera se puede establecer que la herramienta propuesta se encuentra dentro del marco de la filosofía Lean. La lista puede ser vista como un marco de referencia para aquellos que deseen conocer y aplicar la filosofía Lean dentro de la industria de la construcción.

Finalmente, se recomienda la investigación en cada uno de los temas relacionados a Lean Construction, así como en el desarrollo de nuevas herramientas que puedan ser aplicadas de acuerdo a las necesidades que se tengan en cada proyecto y cada región, de modo que se puedan obtener más beneficios y que a su vez, reporten un incremento los ya obtenidos.

5.3. Trabajo futuro

Los instrumentos para la evaluación de LC son escasos en la literatura. Debido a esto, su validación todavía representa un reto no finalizado y, considerando su relevancia para la implementación de un sistema de mejora continua en el sector de la construcción, nuevos estudios para re-explorar su dimensionalidad y validez de contenido deberán ser considerados, además del análisis correspondiente en la aplicación del mismo dentro del sector, una vez que su validación haya sido concluida. De igual manera, se pueden desarrollar modelos de ecuaciones estructurales que permitan analizar la relación entre las variables que se están estudiando.

6. REFERENCIAS

- Abdusalam, A., & Al-Suadari, A. (2007). Evaluating the effect of construction process characteristics to the applicability of lean principles. *Construction Innovation*, 7(Iss 1), 99-121.
- Agócs, C. (1997). Institutional resistance to organizational change: denial, inaction and repression. *Journal of Behavioral Economics*, 16, 917-993.
- Alarcón, L. F., & Pellicer, E. (2009). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas [A new approach in management: Lean Construction]. *Revista de Obras Públicas*, 3496, 45-52.
- Alarcón, L. F., Diethelm, S., Rojo, O., & Calderón, R. (January de 2008). Assessing the impacts of implementing lean construction. *Ingeniería y Construcción*, 23, 26-33.
- Almeida, A. L., Bertucci, J. L., & Belo, J. S. (2010). A influência da comunicação na identificação dos empregados com a organização e sua valorização como recurso estratégico. *XXX ENANPAD Encontro Nacional da Anpad* (pág. 1650). Salvador: Anais.
- Al-Sudairi, A. A. (2007). Evaluating the effect of construction process characteristics to the applicability of Lean principles. *Construction Innovation*, 7(Iss 1), 99-121.
- Amaro Guzmán, R. (s.f.). *Administración de Personal*. México: Limusa.
- Antunes, R., & Walsh, K. (2016). Quicker reaction, lower variability: the effect of transient time in flow variability project. *Driven Production*, 73-82.
- Aziz, r., & Hafez, S. (Diciembre de 2013). Applying lean thinking in construction and performance improvement. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), 679-695.
- Ballard, G. (1999). What is Lean Construction. *Seventh Conference of the International Group for Lean Construction*. California: IGLC, Paper 7.
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. (D. o. PhD Dissertation, Ed.) Birmingham: Ph.D. thesis. College of Engineering & Physical Sciences.
- Ballard, G., & Howell, G. (1994). Implementing Lean Construction: Stabilizing Work Flow. *2da Conferencia Anual del Grupo Internacional de la Construcción Lean (IGLC)*. Santiago, Chile.
- Ballard, G., & Zabelle, T. (2000). *Lean Design: Process, Tools & Techniques*. Lean Construction Institute.

- Barrick, M. R., Bradley, B. H., Kristof-Brown, A. L., & Colbert, A. E. (2007). The moderating role of top management team interdependence: Implications for real teams and working groups. *Academy of Management Journal*, 50(3), 544-557.
- Bernabeu, A. M., & Palací, F. J. (s.f.). El constructo «Orientación a la calidad total» y su medida: el Cuestionario OCT. *Psicothema*, 15(3), 433-439.
- Bertelsen, S. (2004). Lean Construction: where are we and how to proceed? *Lean Construction Journal*, 1, 46-69.
- Bigné, A. J., Moliner, T. M., & Callarisa, F. J. (2000). El valor y la fidelización de clientes: Una propuesta de modelo dinámico de comportamiento. *Revista europea de dirección y economía de la empresa*, 9(3), 65-78.
- Botero, L. F., & Álvarez, M. E. (2005). Last planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción. Estudio del caso de la ciudad de Medellín. *Ing. y Desarrollo*, 17(0122-3461), 1-12.
- Briones, G. (1996). *Metodología de la Investigación Cuantitativa en las Ciencias Sociales*. Instituto Colombiano Para El Fomento De La Educación Superior, Icfes. Bogotá: ARFO Editores e Impresores Ltda.
- Buendía, L., Colás, P., & Hernández, F. (1998). *Métodos De Investigación En Psicopedagogía*. Madrid, España: Madrid, McGraw-Hill.
- Buenger, V., Daft, R. L., Conlon, E. J., & Austin, J. (1996). Competing values in organizations: contextual influences and structural consequences. *Organization Science*, 7(5), 557-576.
- Bunge, M. (2000). *La investigación científica*. México: Editorial Siglo XXI.
- Castillo, I. R. (2014). *Entrega de herramientas del sistema de proyectos Lean (LPDS)*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- CEESCO, C. d. (Semptiembre de 2016). *La Industria de la Construcción impulsada por un solo motor: La Edificación*. Obtenido de Cámara Mexicana de la Insustria de la Construcción:
<http://www.cmic.org.mx/cmhc/ceesco/2016/Art%C3%ADculo%2001092016.pdf>
- CEESCO, C. d. (3 de Octubre de 2017). *Ranking Mundial de Infraestructura 2017-2018 (World Economic Forum)*. Obtenido de Cámara Nacional de la Industria de la Construcción:
<http://www.cmic.org.mx/cmhc/ceesco/2017/RANKING%20DE%20COMPETITIVIDAD%20EN%20INFRAESTRUCTURA%202017-2018.pdf>
- CEESCO, C. d. (Mayo de 2018). *Situación Actual y Perspectivas de la Industria de la Construcción en México*. Obtenido de Cámara Mexicana de la Industria de la

Construcción:

http://www.cmic.org.mx/cmic/ceesco/2018/SITUACION%20DE%20LA%20ACTIVIDAD%20PRODUCTIVA%20DE%20LA%20INDUSTRIA%20DE%20LA%20CONSTRUCCION%20TRIMESTRE%202018_CESCO.pdf

Chiavenato, I. (1995). *Administración de Recursos Humanos*. México: MacGraw-Hill. México.

CIB, C. I. (15 de Octubre de 2000). *Conseil International du Bâtiment (International Council for Building)*. Obtenido de International Council For Research And Innovation In Building And Construction: <http://www.cibworld.nl/site/home/index.html>

CMIC, C. M. (2012). *Infraestructura. El proyecto que México necesita*. Obtenido de <http://www.cmic.org.mx/agendaindustria/>

CMIC, C. M. (2015). *Valor de producción de la obra realizada por las empresas constructoras; por tipo específico de obra, según localización geográfica de las obras*. Recuperado el Abril de 2016, de http://www.cmic.org/cmic/economiaestadistica/2014/VBP_2013

Collins, J., & Hitt, M. (2006). Leveraging tacit knowledge in alliances: The importance of using relational capabilities to build and leverage relational capital. *Journal of Engineering & Technology Management* *Jet-M*, 23(3), 147-167.

Collins, J., & Smith, K. G. (2006). Knowledge exchange and combination: the role of human resource practices in the performance of high-technology firms. *Academy of Management Journal*, 49(3), 544-560.

Cozby, P. C. (2005). *Metodos de Investigacion del Comportamiento*. McGraw-Hill.

Cronbach, L. J. (1971). Test Validation. In R. Thorndike. En *Educational Measurement* (2 ed., pág. 443). Washington DC: American Council on Education.

Dallasega, P., Rauch, E., Matt, D. T., & Fronk, A. (2015). Increasing productivity in ETO construction projects through a lean methodology for demand predictability. *IEOM 2015-5th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Proceeding*.

Dean, J., & Bowen, D. (1994). Management theory and total quality: Improving research and practice through theory development. *Academy of Management Review*, 19(3), 392-418.

Delgado, A. (2014). Método de valor ganado como herramienta de Lean Construction. *ETS de Ingeniería de Edificación*.

- Deming, E. (1989). *OUT OF THE CRISIS. Quality, productivity and competitive position*. Cambridge University Press.
- Dornbusch, R., Fisher, S., & Startz, R. (2015). *Macroeconomía* (Vol. 8). Canadá: Mc Graw Hill.
- Eisenberger, R., Hutchinson, S., Huntington, R., & Sowa, D. (Agosto de 1986). Perceived Organizational Support. *Journal of Applied Psychology*, 71(3), 500-507.
- Flint, D. J., & Woodruff, R. B. (2001). The Initiators of Changes in Customers' Desired Value. *Industrial Marketing Management*, 30(4), 321-337.
- Forbes, L. H., & Ahmed, S. M. (2011). Foundations of Lean Construction. *Modern Construction*, 3.
- Formoso, C., & Jobim, M. (2003). Servicio al cliente en la Industria Brasileña de construcción de Viviendas Brasileña. *Ingeniería de Construcción*, 23-32.
- Formoso, C., Isatto, E., & Hirota, E. (1999). Method for Waste Control in the Building Industry. *7ma Conferencia Annual de la Construcción Lean (IGLC)*. Berkeley.
- Giangreco, A., & Peccei, R. (2005). The nature and antecedents of middle manager resistance to change: evidence from an Italian context. *The International Journal of Human Resource Management*, 16(1), 812-829.
- Gómez, W. C. (30 de 05 de 2017). *Sustentabilidad ambiental, sustentabilidad economica y sustentabilidad social-Definiciones y concepto*. Obtenido de La Bioguía: <http://www.labioguia.com/notas/sustentabilidad-ambiental-sustentabilidad-economica-y-sustentabilidad-social-definiciones-y-concepto>
- Guaderrama, A. I., Arroyo, J. C., & Parra, J. P. (Noviembre de 2012). La influencia de la cultura organizacional y la capacidad de absorción sobre la transferencia de conocimiento tácito intra-organizacional. *Máynez Guaderrama Aurora I., Cavazos Arroyo J., Nuño De La Parra José P. (Nov. 2012). La influencia de la cultura orEstudios gerenciales*, 28, 191-211.
- Gutiérrez, Á. (6 de Abril de 2011). *Los 11 Principios de Lean Construction*. Obtenido de La Construcción sin Pérdidas: <https://construccionlean.wordpress.com>
- Hall, R. (Febrero de 1992). The strategic analysis of intangible resources. *Strategic Management Journal*, 13(2), 135-144.
- Hogan, T. (2004). *Pruebas Psicologicas*.
- Honorato, M. (6 de Mayo de 2016). *La Lealtad y Satisfaccion del Cliente Comienza con el Compromiso de los Empleados*. Obtenido de <https://www.beetrack.com/>

- Hornung, & Rousseau. (2007). Active on the job proactive in change: how autonomy at work contributes to employee support for organizational climate. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 43, 401-426.
- Hsu, I. (2008). Knowledge sharing practices as a facilitating factor for improving organizational performance through human capital: A preliminary test. *Expert Systems with Applications*, 35(3), 1316-1326.
- Hsu, W.-Y., Chen, M.-C., Wang, T.-H., & Sun, S.-H. (Junio de 2008). Coping strategies in Chinese social context. *Asian Journal of Social Psychology*, 11(2), 150-162.
- Illia, L. (December de 2009). Exploring how to diagnose members' concerns about changes in core elements of organizations. *The Journal of Applied Behavioral Science*, 45(4), 550-580.
- Itami, H., & Roehl, T. W. (1987). *Mobilizing invisible assets*. Harvard University Press.
- Juran, J. M., Gryna, F. M., & Bingham, R. S. (1983). *Quality Control Handbook* (3 ed.). Barcelona: Editorial Reverté S. A.
- Kerlinger, F. (1975). *Investigacion del Comportamiento: Tecnicas y Metodologia*.
- Kermez, J. S. (2017). *Ecología, economía, educación*. Ciudad de México: El Colegio Nacional.
- Kerr, S. (1995). On the folly of rewarding A, while hopping for B. *Academy of Management Executive*, 9(1), 7-16.
- Kibert, C. (1994). Sustainable construction : proceedings of the First International Conference of CIB TG 16. *International Council for Building Research, Studies and Documentation. TG 16*. Tampa: Gainesville, Fla. : Center for Construction and Environment, M.E. Rinker Sr. School of Building Construction, College of Architecture, University of Florida.
- Kim, Y. W., Azari-N, R., Yi, J. S., & Bae, J. (2013). Environmental impacts comparison between on-site vs.prefabricated Just-In-Time (prefab-JIT) rebar supply in construction projects. *Journal of Civil Engineering and Management.*, 19(5), 647-655.
- Kline, R. (2011). *Principles and practices of Structural Equation Modeling*. New York: The Guilford Press.
- Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction. *Cent. Integr. Facil Eng., TECHNICAL(CIFE)*, 1-81.
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. (T. R. Finland, Ed.) Finland: Vuorimiehentie.

- Lavy, S., & Fernandez-Solis, J. (2010). Complex Healthcare Facility Management and Lean Construction. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 3(2), 3-6.
- LCI, I. L. (24 de Noviembre de 2017). *History Lean Construction Institute*. Obtenido de <http://www.leanconstruction.org/about-us/history/>
- Lema, R., Quadros, R., & Schmitz, H. (September de 2015). Reorganising global value chains and building innovation capabilities in Brazil and India. *Research Policy*, 44(7), 1376-1386.
- López, D. H. (2015). Mecanismos de gestión cultural en la formación de hábitos y en la transformación de la cultura organizacional. *Suma de Negocios*, 5(11), 29-38.
- Malhotra, N. K. (1997). *Investigacion de Mercados. Un Enfoque Practico*. Mexico D.F: Prentice-Hall Hispanoamerica.
- Marhani, M. A., Jaapar, A., & Bari, N. A. (2012). Lean Construction: Towards Enhancing Sustainable Construction in Malaysia. *Procedia-Soc. Behav. Sci.*, 68, 87-98.
- Mártinez, A., Vela, M. J., & Luis, P. d. (2007). Flexibilidad e innovación: el efecto modelador de la cooperación. *Revista europea de dirección y economía de la empresa*, 16(4), 69-88.
- Martínez, L. (03 de Agosto de 2015). *La importancia del entrenamiento laboral*. Obtenido de Entrenamiento Laboral: www.eldinero.com.do
- Mathieu, J., Maynard, M. T., Rapp, T., & Gilson, L. (2008). A review of recent advancements and a glimpse into the future. *Journal of Management*, 34(3), 410-473.
- Mercedes, G. C., Álamo, V. F., & García, B. H. (2011). Antecedentes de la resistencia al cambio: factores individuales y contextuales. *Cuadernos de Economía y Dirección de la Empresa*, 14(4), 231-246.
- Mohammad, M. A., Mohd, N. M., Rohaizah, S., Wan, N. O., & Herman, S. A. (2016). Exploring Lean Construction Component for Malaysian IBS Logistics Management- A literature Review. (A. S. Publishers, Ed.) *Advanced Science Letter*, 22(5/6), 1593-1596.
- Mohr-Jackson, I. (1998). Conceptualizing Total Quality Orientation. *European Journal of Marketing*, 32(1/2), 13-22.
- Nahmens, I., & Ikuma, L. H. (2012). Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding. *Journal of Architectural Engineering*, 18(2), 155-163.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1997). Criação de conhecimento na empresa: como as empresas japonesas geram dinâmica da inovação.

- Ogunbiyi, O., Oladapo, A., & Goulding, J. (2014). An empirical study of the impact of lean construction techniques on sustainable construction in the UK. *Construction Innovation, 14*(1), 88-107.
- Ohno, T. (1988). *El Sistema de producción Toyota: más allá de la producción a gran escala*. España: Gestión.
- Oreg, S. (2003). Resistance to change: developing an individual difference measure. *Journal of Applied Psychology, 88*, 680-693.
- O'Reilly, C. A., Caldwell, D., & Mirabile, R. (1990). More than a mirage: Disposition situation interaction as explanations of work behavior. *Working paper, Walter A. Haas School of Business*.
- Orihuela, P., & Ulloa, K. (2008). Metodología para promover la Ingeniería Basada en Múltiples Alternativas. *III Encuentro Latino-Americano de Gestión y Economía de la Construcción*. Bogotá, Colombia.
- Orihuela, P., & Ulloa, K. (2011). *La Planificación de las obras y el Sistema Last Planner*. Construcción Integral.
- Padilla, L. (2010). Lean Manufacturing Manufactura Esbelta Ágil. *Revista Ingeniería Primero, 15*(01), 64-69.
- Pérez, E. R., & Medrano, L. (2010). Análisis Factorial Exploratorio: Bases conceptuales y Metodológicas. *Revista Argentina de Ciencias del Comportamiento (RACC), 2*(1), 58-66.
- Pérez, F. d. (1994). *Gestión de la calidad empresarial: calidad en los servicios y atención al cliente, calidad total*. Madrid, España: ESIC Editorial.
- Pierce, J. L., Gardner, D., Cummings, L., & Dunham, R. (1989). Organization-based self esteem: construct definition, measurement and validation. *The Academy of Management Journal, 32*, 622-648.
- Pons, A. J. (Marzo de 2014). Introducción a Lean Construction. *Fundación Laboral de la Construcción, 1*, 23-28.
- Poo, A. (2003). El sector de la construcción en México. *Adm. para el diseño.*, 120-140.
- Porras, D. H., Sánchez, R. O., & Galvis, G. J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *AVANCES Investigación en Ingeniería, 11*(1), 32-53.
- Porto, J. P., & Gardey, A. (2012). *Definición de cambio*. Recuperado el <http://definicion.de/web-2-0/>
- Ramos, J. A., Dávalos, C., & López, A. (Mayo de 2015). Análisis para la implementación del modelo Lean en el sector de la construcción. *CULCYT*(56), 33-40.

- Rhoades, L., & Eisenberger, R. (2002). Perceived organizational support: A review of the literature. *Journal of Applied Psychology*, 87(4), 698-714.
- Saini, M., Arif, M., & Kulonda, D. J. (2018). Critical factors for transferring and sharing tacit knowledge within lean and agile construction processes. *Construction Innovation*, 18(1), 64-89.
- Salem, O., Solomon, J., Genaidy, A., & Luegring, M. (2005). Site implementation and assessment of Lean Construction techniques. *Lean Construction Journal*, 2(1), 1-21.
- Sánchez, J. L. (2012). Modelos de gestión de proyectos: dirección de proyectos compatible con el pensamiento Lean. *Dyna-Ingeniería e Industria*, 87(2), 214-221.
- Sarhan, J., Xia, B., Fawzia, S., Karim, A., & Olanipekun, A. (2018). Barriers to implementing lean construction practices in the Kingdom of Saudi Arabia (KSA) construction industry. *Construction Innovation*, 18(2), 246-272.
- Schalk, R., & J. W. Campbell, C. F. (1998). Change and employee behavior. *Leadership & Organization Development Journal*, 19(3), 157-163.
- Schein, E. (1988). *La cultura empresarial y el liderazgo. Una visión dinámica* (Vol. 1). Barcelona, España: Plaza & Janes Editores.
- Schneider, B., Brief, A. P., & Guzzo, R. A. (Marzo de 1996). Creating a Climate and Culture for Sustainable Organizational Change. *Organizational Dynamics*, 24(4).
- Seigyoung, A., & Bulent, M. (September de 2005). The influence of top management team functional diversity on strategic orientations: The moderating role of environmental turbulence and inter-functional coordination. *Seigyoung Auh , Bulent Menguc . (Septiembre, 2005). The influence of top management team functional diversity on s International Journal of Research in Marketing*, 22(3), 33-350.
- Seppänen, O., Modrich, R.-U., & Ballard, G. (2015). Integration of Last Planner System and Location-Based Management System. *O. Seppänen, R.-U. Modrich, and G. Ballard, "Integration of 23rd Annual Conference Int. Gr. Lean Construction*, (págs. 123-132).
- Serpell, A. (1993). *Administración de obras de construcción*. Santiago de Chile: Ediciones de la Universidad Católica de Chile.
- Sertyesilisik, B. (January de 2016). Embedding sustainability dynamics in the Lean Construction Supply Chain Management. *YBL Journal of Built Environment*, 4(1), 60-78.
- Slater, S. L., & Narver, J. C. (Marzo de 1995). Market orientation and the learning organisation. *Journal of Marketing*, 59, 63-74.

- Sorokhaibam, K., & Chandan, B. (2017). Modeling the key barriers to Lean Construction using interpretive structural modeling. *Journal of Modeling in Management*, 12(4), 652-670.
- Spišáková, M., & Kozlovská, M. (2013). Lean production as an innovative approach to construction. *Journal of civil engineering*, 8(1), 87-96.
- Succonini, K. L. (Agosto de 2013). La construcción se hace ágil. *Consultoría, Infraestructura y Obra*, 17(8), 65-73.
- Taylor, S. J., & Bogdan, R. (1998). *Introduction to Qualitative Research Methods: A Guidebook*. Nueva York, Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- Thompson, B. (2003). *Score reliability: contemporary thinking on reliability issues*. Thousand Oaks, California: SAGE.
- Tsai, W. (2001). Knowledge Transfer in intraorganizational networks: Effects of network position and absorptive capacity on business unit innovation and performance. The Academy of Management. *The Academy of Management Journal*, 44(5), 996-1004.
- Tsao, C., & Beikmann, B. (2012). 12 Meeting facilitation techniques to improve healthcare design development. *20va Conferencia Anual del Grupo Internacional Construcción Lean (IGLC)*, . San Diego, USA.
- Ugalde, B. N., & Balbastre, B. F. (2013). Investigación cuantitativa e investigación cualitativa: buscando las ventajas de las diferentes metodologías de investigación. *Ciencias Económicas*, 31(2), 179-187.
- Valdés, A. (Enero de 2015). De cara al siglo XXI, la arquitectura y el concreto. *Construcción y tecnología en concreto.*, 18-23.
- Watkins, K. E., & Marsick, V. J. (1995). *Sculpting the Learning Organization: Lessons in the art and science of systemic change*. San Francisco, California, United States: Human Resource Development Quarterly.
- Watkins, K. E., & Marsick, V. J. (2003). *Making learning count! Diagnosing the learning culture in organizations, advances in developing human resources* (2 ed., Vol. 5). California, United States: Thousand Oaks, California.
- Watkins, K., & Marsick, V. (1993). *Sculpting the learning organization: The art and science of systematic change*. San Francisco: JosseyBass.
- Watkins, K., & Marsick, V. (1996). *In Action: Creating the Learning Organization*. American Society for Training and Development.

- Wijk, R. V., Jansen, J. J., & Lyles, M. A. (Junio de 2008). Inter- and Intra-Organizational Knowledge Transfer: A Meta-Analytic Review and Assessment of its Antecedents and Consequences. *Journal of Management Studies*, 45(4), 830-853.
- Wijk, R., Jansen, J., & Lyles, M. (2008). Inter- and Intra-Organizational Knowledge Transfer: A Meta-Analytic Review and Assessment of its Antecedents and Consequences. *Journal of Management Studies*, 45(4), 830-853.
- Woodruff, R. B., & Gardial, S. F. (1996). *Know Your Customer: New Approaches to Understanding Customer Value and Satisfaction*. Cambridge: MA: Blackwell Publishers, Inc.
- Zapparoli, M. (2003). Concepciones teóricas metodológicas sobre investigación. *Revista de la Escuela de Estudios Generales*, 5, 191-198.
- Zeitz, G., Johannesson, R., & Ritchie, J. (1997). An employee survey measuring total quality management practices and culture: Development and validation. *Group and Organization Management*, 22(4), 414-444.
- Zhang, L., & Chen, X. (2016). Role of Lean tools in supporting knowledge creation and performance in Lean Construction. *Procedia Engineering*, 145, 1267-1274.

APÉNDICE A Instrumento de Medición

1.- PRESENTACIÓN:					
<p>Lean Construction constituye una nueva filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo concepto fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas). Este modelo introduce cambios en la gestión de la construcción con el objetivo de mejorar la productividad, enfocando todos los esfuerzos en la estabilidad del flujo de trabajo. En años recientes <i>Lean Construction (LC)</i> ha sido implementado en diferentes países como una forma efectiva de reducir los desperdicios en la construcción, en México la implementación ha sido incipiente. El presente proyecto de investigación pretende evaluar el nivel de conocimiento e implementación LC en México, así como los factores que afectan su desarrollo en nuestro país.</p> <p>Toda la información aquí proporcionada es confidencial y forma parte de una investigación para la obtención de grado de maestría, por lo que su uso está regulado por el organismo que financia el proyecto (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) y la institución educativa participante (Universidad Autónoma de Baja California).</p>					
2.- DATOS DEMOGRÁFICOS DE LA EMPRESA					
INSTRUCCIONES:					
Por favor, marque con una "X" el recuadro del lado izquierdo de acuerdo a la opción que sea su respuesta en cada pregunta.					
¿Cuántos empleados tiene su empresa (aproximadamente)?					
50-99					
100-150					
151-200					
201 o más					
¿Cuántos años de antigüedad tiene la empresa en el sector?					
3.- DATOS DEMOGRÁFICOS DEL ENCUESTADO					
¿En qué área de trabajo se encuentra?					
Supervisión de construcción					
Control de proyecto					
Supervisión de calidad					
Generación y costos					
Gerencia/administración de proyecto					
Otro (especifique)					
¿Cuántos años tiene de experiencia?					
4.- DATOS DEMOGRÁFICOS DE LA EMPRESA					
¿En qué estado de la república se encuentra su empresa?					
¿El proyecto(s) actual cuenta con alguna de las siguientes certificaciones o se encuentra en proceso de implementación?				SI	NO
Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables (PCES)					
Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)					
Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology (BREEAM)					
Green Globes for New Construction and Continual Improvement of Existing Buildings					
¿Dentro de la empresa se trabaja o ha realizado proyectos bajo alguna metodología de mejora continua?					
Lean construction					
ISO 9001:200					
Kaizen (Mejora Continua)					
Total Quality Management (TQM)					
Six Sigma					
Otro (Mencione cuál):					
¿En cuántos proyectos en total ha participado la empresa?					
¿Del total de proyectos en los que participado la empresa, cuántos de ellos han sido bajo alguna metodología de mejora continua?					
Si desea recibir los resultados del estudio por favor indique el correo de contacto					

5.-FACTORES DE RELEVANCIA EN LEAN CONSTRUCTION					
INSTRUCCIONES:					
A continuación encontrará una serie de enunciados. Por favor, responda a cada uno de ellos marcando con una "X" de acuerdo a opinión. Para responder utilice los siguientes criterios:					
1 nunca, 2 casi nunca, 3 algunas veces, 4 frecuentemente, 5 muy frecuentemente.					
	1	2	3	4	5
5.1 Evaluación referente a aprendizaje y mejora continua (Kaizen)					
Para implementar una mejora continua en el proceso de construcción:					
Los equipos de trabajo son retribuidos por sus logros alcanzados como grupo					
Los responsables de proyecto buscan continuamente oportunidades de aprendizaje tanto para ellos y sus empleados.					
Se crean sistemas para medir las diferencias entre el funcionamiento actual y el esperado.					
Las personas discuten abiertamente sobre los errores con el fin de aprender de estas experiencias.					
Las personas perciben los problemas en el trabajo como oportunidades de aprendizaje.					
5.2 Evaluación sobre resistencia al cambio					
Considero que dentro de la empresa:					
El cambio me ayuda a mejorar situaciones insatisfactorias de mi trabajo.					
Considero que el cambio solo beneficia a la organización.*					
Considero que el cambio me ayuda a hacer mejor mi trabajo.					
No creo que se me comunique nada sobre el proceso de cambio hasta que ya se quiera implantar.*					
Participo en el proceso de toma de decisiones sobre el cambio que afecta directamente a mis tareas					
5.3 Evaluación sobre pensamiento y cultura					
Para lograr un crecimiento favorable con respecto al pensamiento y cultura dentro de la empresa:					
Se desarrollan relaciones de trabajo positivas entre los miembros.					
Consideran las propuestas de los empleados en las decisiones de gestión de la empresa.					
Los responsables del proyecto reconocen de alguna manera el trabajo bien hecho.					
Al pertenecer a esta empresa:					
Me siento más seguro en las funciones que desempeño.					
El trabajo que realizo es valioso.					
5.4 Evaluación referente al soporte organizacional					
Para lograr un soporte organizacional consolidado, la empresa:					
Se preocupa por mejorar la calidad de vida de los empleados.					
Fomenta la formación y el desarrollo profesional de los empleados.					
El salario de los empleados está relacionado con las competencias y los rendimientos que obtienen.					
Brinda apoyo a las personas para compartir sus problemas personales.					
Frecuenta cursos de perfeccionamiento profesional para sus empleados.					
5.5 Evaluación referente a la gestión de la calidad total (TQM)					
Para lograr una gestión de calidad total dentro de la empresa:					
Los productos y/o servicios cumplen con los estándares nacionales e internacionales de calidad.					
Se analiza el trabajo para buscar formas de hacer mejor las cosas.					
Se recogen datos con el fin de realizar mejoras en el trabajo.					
Se realiza una planificación de cursos para la formación y desarrollo del todo el personal.					
Se intentan medir las necesidades de los clientes externos.					
Se sigue de cerca y se evalúa el nivel de compromiso en atender las necesidades de los clientes.					
5.6 Evaluación sobre trabajo en equipo.					
Para la buena práctica de trabajo en equipo, dentro de la empresa:					
Las personas están abiertas a escuchar diferentes puntos de vista antes de hablar.					
Los equipos/grupos perciben las ideas generadas como resultado de sus discusiones grupales y/o por la información recogida por ellos.					
Los miembros de los equipos colaboran recíprocamente para desarrollar sus actividades.					
Los equipos de trabajo cumplen con sus actividades a tiempo.					
A los miembros de los equipos/grupos se les tratan como iguales, sin importar el puesto, la cultura, u otras diferencias.					
5.7 Evaluación sobre Sustentabilidad					
Conforme a los aspectos que implican la sustentabilidad, dentro de la empresa:					
Las iniciativas sustentables han permitido mejorar la productividad.					
Cuenta con métricos para evaluar el desempeño sustentable.					
Las iniciativas sustentables superan las regulaciones de gobierno.					
Lograr ventajas competitivas y estratégicas es un motivador para adoptar iniciativas sustentables.					
Los indicadores en materia de sustentabilidad y desempeño operacional están relacionados.					
La ejecución de iniciativas sustentables satisfacen e influyen a las personas sobre su deseo de permanecer laborando en ella.					

6.- METODOLOGÍA PARA IMPLEMENTACIÓN DE LEAN CONSTRUCTION - LPDS (LEAN PROJECT DELIVERY SYSTEM)

Existen herramientas establecidas para entender mejor la implementación gracias al Lean Project Delivery System (LPDS). Se trata de un enfoque por etapas que comprende la definición de proyecto, el diseño, el suministro, el montaje o ejecución y el uso y mantenimiento posterior del edificio, instalaciones o infraestructura.

A continuación se muestra una lista con las herramientas que se utilizan en cada etapa de la metodología presentada. Por favor, responda marcando con una "X" de acuerdo con su propia opinión si es una herramienta conocida por la empresa, así como la cantidad de proyectos en los que se ha llegado a utilizar cada una de ellas.

6.1 Definición del proyecto		SI	NO	#	#
El equipo de diseño, trabaja con los propietarios o promotores para concretar el propósito y traducir ese propósito en requisitos específicos. Durante esta fase, el propietario determina el costo permitido para el proyecto y el equipo de diseño se compromete en respetar sus costos teóricos. Representantes de todas las etapas del ciclo de vida del proyecto tienen que estar involucrados, incluidos los diseñadores o proyectistas y los constructores.				PROY TOTAL	PROY APLICADO
Matriz de selección de equipo de diseño.					
Cuaderno de diseño					
Matriz de necesidades y valores del inversionista					
Matriz de necesidades y valores del usuario final					
Base de datos y repositorios					
Matriz de Alineación de Propósitos					
Despliegue de la función de calidad (QFD)					
Planificación Maestra					
5 Por qué's (5 Whys/ Buffers)					
Sistema Último Planificador (SUP/LPS)					
Otros: (Especifique en caso de usar otra metodología para la definición del proyecto)					
6.2 Diseño del proyecto		SI	NO	#	#
El equipo crea varias alternativas, basadas en los requisitos de diseño, las restricciones del proyecto y el costo objetivo. El objetivo es encontrar la alternativa de diseño que mejor cumpla los planes del propietario y entregar el máximo valor al cliente. En esta fase, muchos de los costos pueden ser eliminados o minimizados; esos ahorros satisfacer más necesidades del cliente.				PROY TOTAL	PROY APLICADO
Diseño de Procesos					
Cuaderno de diseño					
Estacionamiento					
Diagrama de flujo - Matriz de responsabilidades					
Tabla de entradas y salidas					
Lista de tareas					
Lista de chequeo					
Solicitud de Información (RFI)					
Constructabilidad en el diseño					
Planificación por fases de proyecto					
5 Por qué's (5 Whys/ Buffers)					
Otros: (Especifique en caso de usar otra metodología para el diseño del proyecto)					
6.3 Suministro Lean		SI	NO	#	#
En esta metodología es necesario facilitar la entrega de los materiales en la obra. Se requiere definir el diseño del producto y del proceso para poder contar con los materiales y cantidad de mano de obra en la cantidad necesaria en las etapas correctas.				PROY TOTAL	PROY APLICADO
Centros logísticos					
Las 5 "S"					
Matriz Multicriterio					
Mapeo de la cadena de valor					
Kanban					
Planificación semanal de actividades futuras (Lookahead)					
Plan de Trabajo Semanal					
5 Por qué's (5 Whys/ Buffers)					
Otros: (Especifique en caso de usar otra metodología para el suministro)					
6.4 Montaje o ejecución Lean		SI	NO	#	#
Se inicia con la entrega de información, materiales, mano de obra, herramientas, o componentes que se utilizaran para la ejecución en la obra y termina con el cumplimiento de las instalaciones y puesta en marcha del edificio o infraestructura.				PROY TOTAL	PROY APLICADO
Ciclo Planificar, Hacer, Verificar y Actuar (PDCA)					
Nivel Actividad					
Carta Balance					
Cuadro Combinado de Trabajo Estandarizado					
A prueba de error (Poka Yoke)					
Manuales de procesos constructivos					
Sistema de control visual(Andon)					
Manejo de un solo golpe (One Touch Handling)					
Porcentaje del Plan Cumplido (PPC)					
Razones de No Cumplimiento					
Líneas de Balance					
5 Por qué's (5 Whys/ Buffers)					
Otros: (Especifique en caso de usar otra metodología para el montaje o ejecución)					

