

DECANATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL
FORMATO DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO

Fecha de entrega: Julio 14 de 2020

Estudiante: Fran Marcela Castiblanco Medina

Director: Ivonne Castiblanco Jiménez

Codirector: Joan Paola Cruz González

El presente documento avala la entrega del trabajo de grado por parte del director y codirector.

Documentos anexos: Copia digital del Trabajo de Grado (1).

Ivonne Castiblanco Jiménez

Firma Director

Joan Paola Cruz G.

Firma Co-director

Fran Marcela Castiblanco Medina

Firma Estudiante

**ANÁLISIS CUALITATIVO DE HERRAMIENTAS
LEAN PARA LA GENERACIÓN DE UNA GUÍA
APLICABLE A LA CADENA DE ABASTECIMIENTO
DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA EN BOGOTÁ
D.C.**

FRAN MARCELA CASTIBLANCO MEDINA

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2020**

**ANÁLISIS CUALITATIVO DE HERRAMIENTAS
LEAN PARA LA GENERACIÓN DE UNA GUÍA
APLICABLE A LA CADENA DE ABASTECIMIENTO
DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA EN BOGOTÁ
D.C.**

FRAN MARCELA CASTIBLANCO MEDINA

Trabajo de grado para optar al título de
Magíster en Ingeniería Industrial

Director
M. Sc. Ivonne Angélica Castiblanco Jiménez
Co-director
M. Sc. Joan Paola Cruz González

**Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Decanatura de Ingeniería Industrial
Maestría en Ingeniería Industrial
Bogotá D.C., Colombia
2020**

© Únicamente se puede usar el contenido de las publicaciones para propósitos de información. No se debe copiar, enviar, recortar, transmitir o redistribuir este material para propósitos comerciales sin la autorización de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Cuando se use el material de la Escuela se debe incluir la siguiente nota “Derechos reservados a Escuela Colombiana de Ingeniería” en cualquier copia en un lugar visible. Y el material no se debe notificar sin el permiso de la Escuela.

Publicado en 2020 por la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Carrera 45 No. No 205-59 Bogotá D.C., Colombia.
TEL: +57 (1) 668 36 00

Agradecimientos

Doy gracias a Dios por regalarme la oportunidad de vivir esta experiencia y por haber guiado mis pasos a lo largo de la maestría, por ser mi fortaleza en momentos difíciles, por bendecirme, y por permitirme amar la Ingeniería Industrial.

A mis padres y hermana, mis mayores promotores durante este proceso, a quienes amo profundamente, por apoyarme en cada decisión y proyecto emprendido, por llenar mi vida de alegría y amor cuando más lo he necesitado, por su paciencia, y por sus palabras de aliento en cada momento.

A mi abuelito, quien, aunque ya no se encuentra físicamente aquí, siempre estará presente en mi corazón, y quien me enseñó que hay que luchar hasta el final y ser siempre honesto.

A Andrés Aranguren, por motivarme a iniciar esta maestría, por su interés en el desarrollo de esta investigación, y por mostrarme que los sueños pueden hacerse realidad con esfuerzo y sacrificio.

A mis compañeros profesionales del sector de la construcción, con quienes trabajo y de quienes he aprendido tantas cosas relacionadas con la ingeniería civil, por compartirme sus conocimientos y experiencias y brindarme la información que requería.

Agradezco gratamente a las ingenieras Ivonne Castiblanco y Joan Paola Cruz por su compromiso en el rol de Director y Co-director, por creer en mí y brindarme la oportunidad de desarrollar este trabajo de grado bajo su orientación, por su tiempo, asertividad y sugerencias para orientar esta investigación.

A la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por abrirme las puertas para emprender este reto educativo y por su apoyo en la participación en el evento IGLC 2019 en Irlanda.

Resumen

En la construcción de proyectos arquitectónicos no se controlan fácilmente los desperdicios en los procesos a lo largo de la cadena de abastecimiento, por ser en gran parte actividades subcontratadas, y por la variabilidad en los tiempos de ejecución de las mismas; en consecuencia, los proyectos toman más tiempo de lo planificado en ejecutarse y esto encarece los costos.

El objetivo de este estudio es realizar un análisis cualitativo de contenido de las diferentes herramientas *lean* aplicables a los sistemas productivos, y de la situación actual del *Lean Construction*¹, para obtener un marco teórico decisivo que permita proponer una guía de aplicación de dichas herramientas en el sector construcción, sin aumentar la inversión de los proyectos, que agrupe los más importantes enfoques *lean* adaptables a los principales eslabones de esta cadena de abastecimiento, particularmente en proyectos de vivienda en la ciudad de Bogotá, y que así mismo posibiliten a las empresas constructoras desarrollar sus procesos basados en sistemas *lean* y fomentar la mejora continua.

Esta guía de aplicación es sometida a validación por diferentes profesionales del sector, y será la base para posteriores estudios de investigación como la implementación y evaluación de dicho desarrollo o la creación de otras. Para el desarrollo de la investigación se tomará como base el método de investigación de análisis cualitativo de contenido de Mayring (2014).

Abstract

In construction of architectural projects, the waste in processes along the supply chain is not easily controlled, because they are largely outsourced activities, and because of the variability in their execution times; as a result, projects take longer than planned to execute and this increases its costs.

The objective of this study is to perform a qualitative content analysis of the different lean tools applicable to production systems, and of the current situation of Lean Construction, in order to obtain a decisive theoretical framework that allows to propose a guide for the application of these tools in the construction sector, without increasing the investment of the projects, that groups the most important approaches that are adaptable to the main actors of this supply chain, particularly in housing projects in Bogotá, and that also allow construction companies to develop their processes based on lean systems and encourage continuous improvement.

This application guide is submitted to validation by different professionals in construction sector, and it will be the basis for further research studies such as the implementation and evaluation of said development or the creation of others. For the development of the research, Mayring's qualitative content analysis research method will be used as the basis.

¹ Una definición concreta de *lean construction* fue dada por Koskela (creador de esta filosofía) en el 2002: "*Lean construction* es un camino para diseñar sistemas de producción en la construcción que minimicen el desperdicio de materiales, tiempo, y esfuerzos con el objetivo de generar la máxima cantidad posible de valor". Esta definición indica que el *lean construction* tiene los mismos objetivos que el *lean manufacturing* (eliminar el desperdicio y maximizar el valor) pero aplicado directamente a la construcción (Gao, S.; Pheng, S., 2014).

Tabla de Contenido

1. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN	11
1.1. INTRODUCCIÓN	11
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.2.1. Contexto Económico Colombiano del Sector Construcción	14
1.2.2. Desperdicios en la Construcción, <i>Lean Thinking</i> y <i>Lean Construction</i>	16
1.2.3. Antecedentes del <i>Lean Construction</i> en Colombia.....	18
1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	21
1.4. OBJETIVOS.....	21
1.4.1. Objetivo General.....	21
1.4.2. Objetivos Específicos.....	22
1.5. METODOLOGÍA PROPUESTA	22
1.6. RESULTADOS ESPERADOS Y ENTREGABLES.....	25
1.7. ALCANCE Y LIMITACIONES	26
2. QUALITATIVE ANALYSIS OF LEAN TOOLS IN THE CONSTRUCTION SECTOR IN COLOMBIA.....	27
ABSTRACT.....	27
2.1. INTRODUCTION	27
2.2. COLOMBIAN CONTEXT	29
2.3. RESEARCH METHOD	30
2.3.1. Search for Experts	30
2.3.2. Affinity Analysis	32
2.3.3. Pareto Analysis	34
2.4. CONCLUSIONS.....	35
2.5. REFERENCES.....	36
3. DESIGN OF AN APPLICATION GUIDE, BASED ON CONTINUOUS IMPROVEMENT, RELEVANT TO SUPPLY CHAIN OF HOUSING PROJECTS IN BOGOTÁ D.C.	40
ABSTRACT.....	40
3.1. INTRODUCTION	40
3.2. LITERATURE REVIEW	42
3.2.1. Last Planner® System (LPS).....	42
3.2.2. Building Information Modeling (BIM).....	42
3.2.3. Visual Management (VM).....	43
3.2.4. Value Stream Mapping (VSM).....	43

3.2.5.	Target Value Design (TVD).....	43
3.2.6.	5 S.....	44
3.2.7.	Integrated Project Delivery (IPD).....	44
3.2.8.	Choosing by Advantages (CBA).....	44
3.2.9.	Kanban Dashboard.....	45
3.3.	DESIGN OF AN APPLICATION GUIDE BASED ON CONTINUOUS IMPROVEMENT	45
3.3.1.	Background.....	45
3.3.2.	Application of Lean Tools in Construction Supply Chain.....	47
3.3.3.	Content and Interface of LC APP Guide	48
3.3.3.1.	Last Planner® System (LPS) Interface	50
3.3.3.2.	Building Information Models (BIM) Interface.....	52
3.3.3.3.	Visual Management (VM) Interface	52
3.3.3.4.	Value Stream Mapping (VSM) Interface	53
3.3.3.5.	Target Value Design (TVD) Interface	53
3.3.3.6.	5S Interface.....	53
3.3.3.7.	Integrated Project Delivery (IPD) Interface	54
3.3.3.8.	Choosing by Advantages (CBA) Interface	54
3.3.3.9.	Kanban Dashboard Interface	55
3.4.	VALIDATION OF LC APP GUIDE.....	56
3.4.1.	Results.....	56
3.5.	CONCLUSIONS.....	58
3.6.	REFERENCES.....	59
3.7.	APPENDIX.....	61
4.	CONCLUSIONES	62
5.	RECOMENDACIONES	64
	REFERENCIAS	65
	ABREVIACIONES.....	71
	ANEXOS.....	72

Listado de Figuras

Figura 1. Enfoque tradicional vs. Enfoque lean (Pons, 2014. p. 24).....12

Figura 2. Crecimiento anual del PIB real de edificaciones 2001-2017 (DANE, 2017).15

Figura 3. Etapas de la investigación.....24

Figure 4. Nationality of the authors32

Figure 5. Pareto chart.....35

Figure 6. Management models used according to the size of sales.42

Figure 7. Pareto Chart of lean tools.46

Figure 8. LC APP tool start interface.....48

Figure 9. Last Planner® System button menu.....50

Figure 10. LC APP intermediate programming interface.51

Figure 11. LC APP contractor evaluation module.....52

Figure 12. LC APP VSM process interface.....53

Figure 13. LC APP results of the 5S audits interface.54

Figure 14. LC APP CBA tool interface.....55

Figure 15. LC APP Kanban Board tool interface.55

Figure 16. Model of LC APP guide perception survey.61

Figura 17. Modelo de encuesta de validación80

Figura 18. Resultados de las encuestas de validación81

Listado de Tablas

Tabla 1. Productos de la investigación.....	25
Table 2. Characteristics of the experts consulted by geographic context.....	31
Table 3. Characteristics of the sources by nationality and age of the publication	32
Table 4. Proposed affinity of lean tools.....	33
Table 5. Lean tools most named by the experts.....	34
Table 6. Applicability of each lean tool in main actors of the supply chain.	47
Table 7. Applicability of each lean tool in different processes of a construction company.....	48
Table 8. Relation between LC APP lean tools, use, and type of waste.	49

1. PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

Uno de los encuentros más cercanos que ha tenido Colombia con *Lean Construction* fue cuando Lauri Koskela, el creador de esta filosofía, vino a Colombia a un evento de la Cámara Colombiana de la Construcción en el 2015. Koskela expuso que ésta metodología le permitía a las empresas reducir los costos de operación, los desperdicios de todos los recursos, aumentar las ganancias, y mejorar la productividad y la calidad de vida de las personas que trabajaban en el sector (Periódico Portafolio, 2015). A partir de entonces, en este gremio quedó retumbando el interrogante ¿de qué trata *Lean Construction*?

Lean Construction fue creado en 1992 y consiste en la puesta en marcha de cambios conceptuales en la gestión de la construcción con el objetivo de mejorar la productividad enfocando todos los esfuerzos en la estabilidad del flujo de trabajo, y en la eliminación o reducción de desperdicios. Actualmente esta filosofía ha progresado significativamente en el mundo y su aplicación se ha extendido a todas las etapas de los proyectos de construcción, desde la planeación del proyecto hasta la entrega del inmueble al cliente. Sin embargo, en Colombia su conocimiento y aplicación para algunos profesionales es desconocido, aunque en algunas universidades y en algunas constructoras se ha fomentado su uso desde la década del 2000, y su interés ha ido creciendo.

La organización Lean Construction Enterprise (2016), en su sitio web, afirma que el principio básico de *Lean Construction* es reducir al máximo posible el tiempo invertido en actividades que no le agregan valor al producto final, es decir, reducir las pérdidas en las actividades de construcción (con pérdidas hacen referencia al tiempo dedicado por un individuo a actividades que el cliente del proyecto no está dispuesto a pagar, como esperas, defectos, transportes, entre otros).

Revisando el panorama actual del sector de la construcción en Colombia, la práctica del *Lean Construction* podría facilitar el cumplimiento de metas, y más después de obtener un resultado negativo de 1.3% en el PIB del año pasado, cifras del Periódico Portafolio (2020), Más aún, en la misma publicación, los expertos apuntan a que se dará un freno en las ventas del sector a causa del coronavirus, lo que podría dificultar el avance previsto inicialmente.

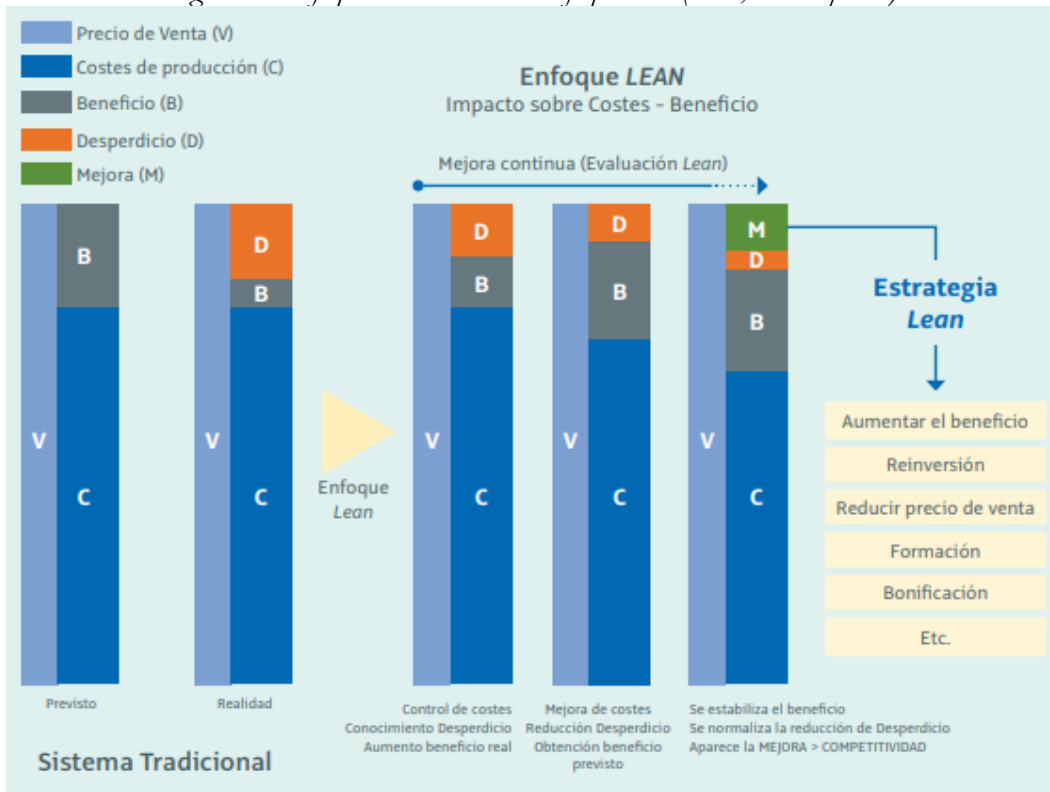
El sector de la construcción es una de las principales actividades económicas del país, y que genera mayor empleo en Bogotá, en especial la construcción de vivienda. La actividad constructora en Colombia se divide en dos ramas: la de la edificación (soluciones de vivienda), y la de las obras civiles de infraestructura (públicas y privadas). Adicionalmente, además de las empresas constructoras de vivienda, las empresas que se relacionan en forma indirecta con la construcción y que inciden en su productividad son numerosas, como las ladrilleras, las cementeras, las de acabados en madera, las de pinturas, las de acero, las de fabricación de porcelana sanitaria, etc. En efecto, de los 60 subsectores de la economía, el sector edificador demanda insumos y servicios de un total de 27 subsectores (CAMACOL y SENA, 2016).

Por lo anterior, si se quiere mejorar el flujo en la cadena de abastecimiento de la construcción, hay que tener en cuenta tanto a los proveedores como a los clientes, y

hacerlos partícipes de las herramientas de *Lean Construction*. Lo que se busca entonces es crear un producto basado en *Lean Construction* que mediante su aplicación permita reducir o eliminar desperdicios en la construcción, y que abarque a varios eslabones de esta cadena de abastecimiento.

Reforzando lo anterior, Pons (2014) presentó un gráfico comparativo en el que se evidencia la diferencia desde el punto de vista económico del enfoque tradicional y del enfoque de *Lean Construction*, en el cual, desde el inicio del proyecto, todos los agentes del mismo trabajan en equipo para maximizar el valor del bien y minimizar actividades que no agregan valor, buscando el interés común y no el particular, lo que se traduce en menores costos, mayores ganancias y mejora continua.

Figura 1. Enfoque tradicional vs. Enfoque lean (Pons, 2014. p. 24).



Esta investigación de carácter descriptivo surge de la motivación de trabajar en el sector de la construcción de vivienda, y de evidenciar desperdicios de todo tipo de recursos (tiempo, financieros, materiales, humanos, físicos, técnicos), y fallas relacionadas con planeación, liderazgo y comunicación. Adicional, desde el campo de la ingeniería industrial, particularmente del conocimiento de los principios de *Lean Construction* y *Lean Thinking*, pueden reconocerse posibles herramientas *lean* que permitan mejorar la productividad empresarial en proyectos de construcción de vivienda, dadas las condiciones del sector en Bogotá.

Bajo esa estructura, el presente documento se encuentra estructurado en tres partes. Primero se encuentra la caracterización de la problemática, los objetivos, la metodología, el alcance y las limitaciones de la investigación. Posteriormente se exponen dos artículos científicos, cada uno presentando los resultados de las dos fases de investigación

expuestas en la metodología: la fase de recolección de la información y la fase de diseño de la herramienta.

El capítulo dos expone el primer artículo científico titulado “*QUALITATIVE ANALYSIS OF LEAN TOOLS IN THE CONSTRUCTION SECTOR IN COLOMBIA*”, presentado en la 27ª Conferencia Anual del International Group for Lean Construction (IGLC 2019), realizada en julio de 2019 en la ciudad de Dublín, Irlanda. En este evento dicha presentación se enmarcó en la categoría *Learning and Teaching Lean Construction* y se presentaron los primeros hallazgos de la investigación realizando un recorrido conceptual por el *Lean Construction* en viviendas, identificando las principales tendencias de esta filosofía a nivel mundial, y exponiendo los análisis de Pareto y de afinidad de las herramientas *lean* encontradas.

En este capítulo se evidencia la ejecución de los primeros dos objetivos específicos, los cuales fueron revisar el estado del arte a nivel nacional e internacional respecto a todo lo relacionado con la implementación de prácticas de *Lean Construction* en vivienda, y analizar la información encontrada mediante herramientas de calidad como el análisis de afinidad y el análisis de Pareto.

Posteriormente en el capítulo tres, se presenta el artículo científico “*DESIGN OF AN APPLICATION GUIDE, BASED ON CONTINUOUS IMPROVEMENT, RELEVANT TO SUPPLY CHAIN OF HOUSING PROJECTS IN BOGOTÁ D.C.*”, realizado para la Revista Construction Economics and Building, de Australia, el cual se encuentra en proceso de sometimiento. Este documento comprende la fase de diseño de la guía de aplicación de herramientas de *Lean Thinking* y *Lean Construction*, y los últimos cuatro pasos de la metodología planteada. En este segundo artículo se retoma parte del primer artículo presentado en Irlanda, como estrategia de publicación, para dar claridad de los resultados iniciales a los evaluadores de la Revista.

En dicho artículo se evidencia la construcción de una guía computacional para la implementación de diferentes herramientas y enfoques *lean* para el sector de la construcción. Se especifica también el uso cada herramienta *lean*, derivadas de los resultados obtenidos el artículo científico del capítulo dos; se evidencian los resultados de la eficacia de esta guía de aplicación, realizada mediante validación aparente (encuestas realizadas a profesionales del sector de la construcción); y las conclusiones finales de la investigación.

Finalmente, se presentan las conclusiones que se obtuvieron en las dos investigaciones, validando el cumplimiento de cada uno de los objetivos presentados, las recomendaciones para investigaciones posteriores, las oportunidades de mejora, las referencias en que se basó el desarrollo de toda esta investigación, y los anexos.

1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Contexto Económico Colombiano del Sector Construcción

El sector de la construcción en Colombia se ha convertido en los últimos años en una de las actividades con mayor dinamismo en la economía y que genera considerables aportes en las arcas nacionales², por lo cual el mercado inmobiliario y edificador, tras ser en el 2017 el que más cayó, sintió una mejoría en el 2018 por la mayor disposición de los hogares a invertir en finca raíz y por el repunte de la oferta, lo que hace que se proyecte como firme y constante y que se ubique entre los mejores de América Latina.

De acuerdo a un documento emitido por Revista Dinero en julio de 2018, se auguraba un buen futuro para esta esfera económica en Colombia, ya que la actividad edificadora en los últimos años ha tenido un cambio positivo gracias al desarrollo en materia de acceso a la vivienda y la construcción no residencial e industrial, entre otros. El avance del sector ha tenido efectos satisfactorios en materia económica, generación de empleo y reducción del déficit habitacional.

“Este año se proyecta un crecimiento de 1,3% del valor agregado del sector, cifra positiva que traza el camino de una recuperación que se dará paulatinamente [...] Una franca recuperación se espera para el sector constructor en el segundo semestre del año, tras varios meses en que este mercado perdió su ritmo de crecimiento.” (2018a).

Vale citar también un fragmento del sitio web de la constructora Cusezar, de 2016, en el que se presentó una noticia en la cual se afirmaba que el favorable desempeño de la construcción, tanto en viviendas como en obras civiles, llevaría a la economía a un crecimiento económico sustancial para ese año:

“De acuerdo con las estadísticas que entregó el DANE en su informe final de Indicadores económicos alrededor de la construcción del 2014, el sector de la construcción fue el principal actor en el incremento de PIB del país, contribuyendo con un porcentaje mayor al 10% del total de las actividades económicas” (2016).

A pesar de esto, la construcción es un sector que presenta fuertes fluctuaciones, y tomando en consideración el cambio inesperado en el contexto económico mundial desde finales del 2014 por cuenta de la caída en los precios del petróleo y el incremento del precio del dólar, así como la expectativa generada por el esperado crecimiento que anunciaba el Gobierno para este sector ante el avance de las 4G y el apoyo de los subsidios de vivienda, se ha venido incrementando la incertidumbre de este mercado en materia de desempeño económico desde el 2015, por lo que se esperaba que generara una desaceleración del negocio de finca raíz para el 2016 (Revista Dinero, 2015).

En efecto, el periódico El Colombiano (2018) informó que los primeros tres meses del 2018 no trajeron buenas noticias para el sector constructor. Enunció que según el Departamento

² Según el DANE la construcción de edificaciones actualmente genera inversiones anuales por \$77 billones y aporta \$46 billones a la economía nacional. Sin embargo, el sector de la construcción se sigue contrayendo pese a la progresiva recuperación económica del país (Revista Dinero, 2018b).

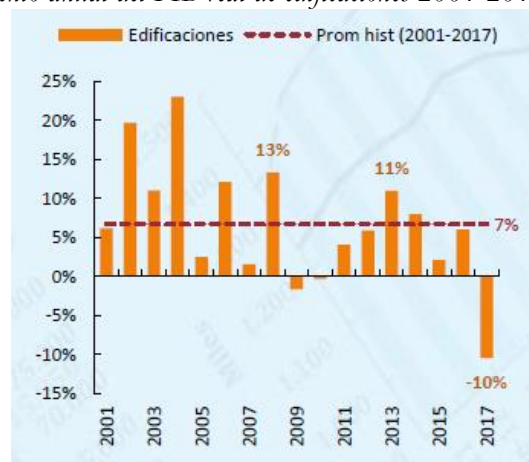
Administrativo Nacional de Estadística (DANE), entre enero y marzo, el segmento construcción del país se contrajo 8,2% con respecto al mismo periodo de 2017.

“La meta es volver a desempeños muy parecidos a lo ocurrido en 2016, momento en el que la construcción creció 4,1%, incluso por encima del 2% al que se incrementó la economía del país. Para ese momento se constituyó además como el segundo segmento más importante de la economía local, solamente superado por “servicios financieros e inmobiliarios”” (2018).

La Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL), en uno de sus estudios económicos de marzo del 2018, también confirmó el mal periodo que pasó la construcción en el país el primer semestre de ese año:

“Es así como, de acuerdo con las cifras reportadas por el DANE, el renglón edificador presentó una contracción del 10% anual en el 2017; dato que resultó inferior al crecimiento promedio del 7% al que venía acostumbrado (Figura 2), y que se justificó por la contracción del -16,2% de la producción de destinos no residenciales y, en menor medida, por la caída del -6,2% del sector vivienda” (2018).

Figura 2. Crecimiento anual del PIB real de edificaciones 2001-2017 (DANE, 2017).



Por su parte, el Banco Davivienda (2016), en su Informe del Sector Edificaciones del mes de enero de ese año, declaró:

“Al cierre del año 2015 se observaron importantes síntomas de caída en la actividad edificadora. A pesar de que los metros cuadrados de obras nuevas mantienen un ritmo de crecimiento robusto, el comportamiento del grupo de No residenciales (oficinas principalmente) generó una contracción en la actividad de la construcción en el tercer trimestre del año, según se recoge en las cifras del PIB”. [...] “Durante 2015 se dispararon los costos de construcción de vivienda”.

En resumen, la construcción ha sido uno de los sectores más dinámicos en los últimos años y un impulsor de la economía nacional. Un incremento en el ritmo de crecimiento del sector de la construcción propicia una aceleración de los sectores restantes, y genera desarrollo, empleo, y crecimiento de la economía del país. Así mismo, problemas que surjan en este sector se traducen en una crisis o depresión de la economía nacional.

1.2.2. Desperdicios en la Construcción, *Lean Thinking* y *Lean Construction*

En Colombia, lamentablemente, la mayoría de construcciones (independientemente del tipo) se realizan con una planeación deficiente por causas como diseños incompletos, presupuestos imprecisos, cronogramas desarticulados y atrasados, comunicación no asertiva entre las diferentes partes involucradas, ausencia de coordinación interna, instrucciones confusas, etc., lo que en la mayoría de los casos ocasiona desperdicios de materiales, incrementos en las cantidades inicialmente calculadas y presupuestadas, pago de horas extras para poder cumplir con los tiempos de entrega, descuentos a contratistas, sobrecostos administrativos, reprocesos por diseños mal ejecutados, retrasos en la programación de las diferentes actividades del proceso constructivo, y finalmente insatisfacción de los compradores al momento de recibir su inmueble.

Adicional a esto, la mayoría de los procesos constructivos tradicionales son realizados manualmente, lo que hace que la productividad de cada proceso dependa principalmente de la organización de las actividades y del rendimiento y la experiencia de cada trabajador, convirtiendo el factor “productividad” en un punto crítico.

Por otro lado, el sistema de producción en la construcción colombiana se sigue planificando bajo la filosofía de la ruta crítica con fechas límite. El problema surge cuando muchas actividades no se completan en las fechas límite, provocando desperdicios en términos de esperas, defectos, condicionantes en las actividades sucesoras etc.; por otra parte, los cronogramas de obra no están correctamente articulados con los presupuestos de las obras y en muchos casos hay deficiencias en las redes del cronograma induciendo “falsas holguras”.

Para disminuir los inconvenientes mencionados anteriormente, se han estudiado metodologías enfocadas en mejorar los procesos de planeación y seguimiento de una manera efectiva, que ofrezcan herramientas que hagan más sencilla la toma de decisiones, mitiguen riesgos, disminuyan tiempos de ejecución y reduzcan costos. Las herramientas de *Lean Thinking* ayudan a la planificación eficiente de las actividades en los sistemas productivos, como el de la construcción, y a la reducción o eliminación de los desperdicios. Rojas et. al. (2017), menciona que para algunos autores el objetivo de la filosofía *lean* es la búsqueda de causas que generan los desperdicios. La aplicación de *Lean Thinking* en la construcción se fundamenta en la mejora de aspectos que inciden negativamente sobre la productividad en proyectos de construcción y se resumen en desperdicios.

Los principios de *Lean Thinking* se fundamentan en la mejora continua y en dar prioridad a las actividades que agregan valor al producto sobre las que no lo hacen, de manera que se reduzca al máximo (y en lo posible se elimine) el tiempo invertido en actividades que no le agregan valor al producto final. En virtud de esta filosofía creada en Japón las empresas pueden ser más eficientes y reducir los costos originados por la "no calidad". Muchas empresas internacionales estudiaron la experiencia exitosa de Toyota³ y aplicaron las

³ El Sistema de Producción Toyota (TPS) fue desarrollado por la Toyota Motors Company, por Taiichi Ohno, jefe de producción en Toyota, en las décadas de los 50 y 60, para proporcionar mejor calidad, a un menor coste y con plazos de entrega más cortos mediante la eliminación de desperdicio (improductividad o actividades que no añaden valor). El TPS está compuesto por dos pilares: el Just-in-Time (JIT) y el Jidoka; y se sustenta y perfecciona a través de estándares de trabajo y Kaizen o mejora continua, seguido de un plan de acción a través de un ciclo PDCA (plan-do-check-act) (Pons, 2014).

nuevas técnicas en sus plantas industriales, mediante el sistema conocido como *Lean Manufacturing*.

Posteriormente, en 1992, en la Universidad de Stanford, en Estados Unidos, el finlandés Lauri Koskela tuvo la idea de extender el *Lean Thinking* hacia actividades no industriales, como la construcción. Su trabajo fue 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.

En la búsqueda de mejorar la productividad en la construcción se ha propuesto la filosofía *Lean Construction* (construcción sin pérdidas) dirigida a la gestión de proyectos en construcción, Así pues, *Lean Construction* es la adaptación y aplicación de los principios de producción de la fabricación japonesa a la construcción, en la cual se asume que ésta es un tipo de producción especial (Bertelsen, 2004). *Lean Construction* tiene como finalidad la reducción de desperdicios, aumentar la productividad y mejorar la seguridad industrial en la construcción, es decir, la prevención de accidentes y la seguridad del trabajador (Rojas, 2017).

La Organización Colombiana Lean Construction Enterprise (2016)⁴ afirma que “*Un proceso lean es aquel que no tiene desperdicios, por lo que es vital identificar estas <mudas> con el fin de eliminarlas por completo evitando que vuelvan a aparecer*”. Tal como lo mencionan Rojas, et. al. (2017), en las empresas manufactureras, y especialmente en el sector de la construcción, se evidencian 7 tipos de *mudas* o desperdicios, que deben ser eliminados o reducidos por medio de la filosofía lean.

- Reprocesos: por actividades mal ejecutadas o dañadas por otras cuadrillas de trabajo; colección de errores que se repiten con frecuencia y que ocasionan esperas y sobrecostos.
- Sobreproducción: se hace más de lo necesario en el momento, se adelanta trabajo en una actividad que posteriormente debe esperar para ser alcanzada por su actividad sucesora.
- Inventarios: excesos de materiales que sobraron por una mala planeación y que se traduce en dinero estancado en la obra y que genera desperdicio.
- Movimientos: mover constantemente elementos que no son necesarios en el momento.
- Transportes: desplazamientos innecesarios, actividades que involucran a la logística al no planear de manera correcta los materiales que deben estar en obra, y se incurre en sobrecostos de transporte para hacerlos llegar a tiempo.
- Esperas: demoras por falta de equipos, herramientas, materiales, y por actividades previas que no se han terminado o que quedan mal ejecutadas; tardanzas por omitir una correcta instrucción para realizar una labor o por el tiempo ocioso debido a la actitud de un trabajador.
- Defectos: Errores que se evidencian al momento de entregar el inmueble.

⁴ Lean Construction Enterprise (LCE) es una organización dedicada a la difusión académica y profesional de estrategias que conducen al incremento del desempeño económico de la industria de la construcción. Está compuesta por una red de expertos que asesoran temas de investigación y desarrollo, implementación de *lean construction*, procesos constructivos y desarrollo organizacional. Para ver más detalles visitar el sitio web <http://www.leanconstructionenterprise.com>

Vale la pena destacar que, en el 2013 se llevó a cabo el Seminario Lean Construction por parte del International Technology Network (ITN), en el cual se afirmó que *“El 30% de los costos en la construcción se debe a errores, demoras y faltas de comunicación y que además 10% del valor de los proyectos son reprocesos”*⁵.

Herrandiz (2009, p. 26) hace un comparativo entre el abastecimiento en la industria manufacturera y en la construcción, y justifica por qué se generan tiempos muertos e inventarios:

“El aprovisionamiento en la industria manufacturera es una cadena programada con el proceso de material para que el proceso de producción fluya sin necesidad de tener un stock amplio. El aprovisionamiento en la industria de la construcción está planificado, pero debido a la complejidad de los proyectos esta planeación varía un sinnúmero de veces por causas que son muy difíciles de prever con anterioridad”.

1.2.3. Antecedentes del *Lean Construction* en Colombia

Actualmente son poco conocidas las implementaciones de *lean* en las constructoras de Bogotá y en Colombia en general, ya que aunque se han desarrollado pilotos y algunos casos de éxito de *Lean Construction*, en la mayoría de casos no se han publicado oficialmente sus experiencias y resultados, de manera que varias constructoras hoy en día siguen presentando problemas por el incumplimiento en las entregas de los inmuebles a los clientes, lo cual evidencia la necesidad de la implementación de herramientas *lean* en la construcción para ejercer control sobre los factores innecesarios que generan sobrecostos, logrando ahorros en costos financieros y en costos de administración de obra, calidad en el producto final y mayor rentabilidad.

Las investigaciones sobre *Lean Construction* en Colombia se iniciaron en el 2002, a la cabeza de CAMACOL y Luis Fernando Botero Botero, quienes han publicado diferentes artículos en la revista Ciencia y Tecnología y algunos libros sobre este tema. A esto se suman algunos estudios realizados por estudiantes de ingeniería civil e industrial en algunas empresas colombianas dedicadas a proyectos de construcción. Esta filosofía, la cual solo comprende algunos enfoques del *Lean Thinking*, ha sido poco practicada en Colombia y así mismo el conocimiento que se tiene al respecto es poco, por lo que es importante recopilar toda la información que se tenga de ella, las herramientas *lean* de las cuáles se ha valido, en dónde se ha implementado y la formulación de otras herramientas que pueden implementarse exitosamente a lo largo de toda la cadena de abastecimiento de este sector.

Universidades colombianas como Los Andes, la EAFIT, la Universidad del Norte, la Javeriana, la Pontificia Bolivariana, están impartiendo cursos de extensión de esta temática, en los cuales presentan los conceptos básicos de la filosofía *Lean Construction* como estrategia en la gestión de la construcción, y su uso como herramienta práctica en la identificación de pérdidas y el establecimiento de indicadores para el mejoramiento del desempeño de los proyectos en ejecución. Otros centros educativos están integrando éstas

⁵ Conferencia llevada a cabo en el Congreso ITN (International Technology Network) el día 4 de Julio de 2013. Presentación recuperada de: http://www.academia.edu/6009417/Seminario_Lean_Construction.

temáticas en sus programas de Ingeniería Civil y Arquitectura, lo cual implica un avance en la difusión del conocimiento de estas prácticas desde la academia.

Existen pocos estudios realizados por estudiantes de ingeniería en algunas constructoras y registros de capacitaciones en el uso de *Lean Construction* que ha desarrollado CAMACOL en convenio con la Universidad EAFIT, dirigidas al personal de empresas constructoras como Triada, Urbansa, Arpro, Arrecife y Construmax, gracias a las cuales se han obtenido mejoras en los tiempos de entrega de las obras y reducción de los costos⁶ (CAMACOL, 2014). Sin embargo, se han visto esfuerzos por parte de algunas empresas relacionadas con el sector de la construcción para aprender acerca de esta filosofía, por lo cual en el 2015, el fundador de *Lean Construction*, Lauri Koskela, entregó un reconocimiento a 33 empresas colombianas que han implementado el modelo (CAMACOL, 2015)⁷.

Botero y Álvarez, en conjunto con la Universidad EAFIT, han desarrollado varios estudios de análisis del sector de la construcción en Colombia, y en 2003 por ejemplo, desarrollaron una investigación en la cual identificaron pérdidas en tres proyectos de vivienda que sumaban 12000 m² de área, y encontraron que la mayor frecuencia de ocurrencia de las pérdidas se generaba por esperas en el proceso constructivo (49%), lo cual alerta a las constructoras sobre la necesidad de una mejor planeación para la disposición y localización de recursos.

Los mismos autores en 2004, después de realizar una prueba piloto en el año 2002 con un importante grupo de constructoras de la ciudad de Medellín (17 obras de 9 constructoras, 4 diferentes sistemas constructivos y 136.572 m²), y del inicio de un programa de mejoramiento en gestión de la construcción en el 2003, basado en los principios de *Lean Construction*, presentaron una guía para el mejoramiento de la productividad en la construcción de proyectos de vivienda, con la cual mejoraron el desempeño aumentando la competitividad de las empresas del sector. Los buenos resultados obtenidos en los proyectos estudiados mostraron la efectividad de la metodología propuesta y concluyeron que se requieren de algunas condiciones especiales para que los resultados sean positivos, como el compromiso a nivel gerencial, la capacitación y activa participación del personal y la cultura del mejoramiento continuo. En esta investigación también se hizo sensibilización sobre los nuevos enfoques de producción aplicados a la construcción, se capacitó al personal de obra (directores y residentes) sobre la herramienta a utilizar (*Last Planner System* o *LPS*), se identificaron las pérdidas y se hicieron informes semanales de

⁶ En el informe de gestión de 2013, presentado en la XLVIII Asamblea anual de afiliados 2014, CAMACOL menciona que en el ciclo de capacitación de ese año participaron 157 personas de 33 empresas en sus cursos de *lean construction*. Ellos han desarrollado capacitaciones específicas de esa temática desde el 2007. Para ver más detalles visitar el sitio web <http://www.camacolcundinamarca.co/documentos/informe-GESTION-2013.pdf>.

⁷ En Mayo de 2015, Lauri Koskela y la Regional Bogotá y Cundinamarca de CAMACOL reconocieron en el Foro Internacional: Innovación en la gestión integral de proyectos: diseño, logística y eficiencia, realizado en el marco de Expoconstrucción & Expodiseño 2015, a 18 empresas colombianas, líderes en el país en la implantación de *lean construction* en sus proyectos constructivos.

Las empresas que fueron reconocidas por su compromiso en la implementación de la metodología como herramienta de mejora continua y productividad del sector fueron: Apiros, Amarilo, Arpro Arquitectos Ingenieros, Bioconstrucciones de Colombia, Construcciones Arrecife, Constructora Bolívar, Constructora Capital Bogotá, Corac Construcciones, Cusezar, Desarrolladora de Zonas Francas, Grecon Ingenieros, IC Constructora, Ingeurbe, Marval, Organización Construmax, Proksol, Prodesa, Triada y Urbanizadora Santafé de Bogotá Urbansa.

seguimiento de las acciones correctivas implementadas. Como limitación encontraron que solo usaron el LPS para evaluar el aumento de la productividad y no implementaron ninguna otra herramienta *lean* (Botero y Álvarez, 2004).

Martínez (2011) desarrolló una propuesta de metodología para la implementación de la filosofía *lean* en proyectos de construcción colombianos, teniendo en cuenta el modelo de planeación y ejecución tradicional. La investigación la realizó en dos proyectos de construcción: Remodelación del centro zonal ICBF en Sincelejo y Consorcio Archivo Naval en Cartagena, en los cuales encontró que existían las mismas pérdidas y por lo tanto los mismos efectos en la productividad. Los hallazgos encontrados en ellos sirvieron para construir una metodología y luego sí aplicarla a un proyecto de construcción, el cual arrojó resultados favorables en la disminución de los tiempos no contributivos, logrando así la mejora en la productividad al identificar una reducción de las pérdidas en más del 70% luego del proceso de implementación de las acciones de mejora y la visualización de los factores que inciden en las pérdidas del proceso constructivo. La metodología que propuso el autor consistió en identificar la ruta de planeación y ejecución realizada en estos dos proyectos (secuencia lógica de actividades realizadas cuando se planea y se ejecutan los proyectos) y proponer otra nueva ruta basada en los preceptos de la filosofía *lean*. En ese orden de ideas no se aplicaron diferentes herramientas *lean* sino mediciones de tiempos contributivos, no contributivos y productivos e identificación de pérdidas.

García (2012) desarrolló un estudio para la aplicación de *Lean Construction* en las viviendas de interés social en Colombia desde su concepción hasta la liquidación del proyecto empleando el *Lean Project Delivery System* (LPDS) con la finalidad de hacer que el proceso constructivo fuera un poco más industrializado. En esta investigación esbozó los principios y el paso a paso de una metodología para aplicar esta filosofía a este tipo de viviendas y se obtuvo como resultado que al hacer una comparación entre los tiempos empleados en el sistema convencional y los tiempos empleados con la metodología *lean* hay una reducción del 41% en el tiempo de ejecución de la actividad de mampostería en bloque. Nuevamente en esta investigación se aplica solo la herramienta LPDS y no se emplean más herramientas *lean*. Cubaque (2014) diseñó una propuesta para la implementación de *Lean Construction* mediante la aplicación del *Last Planner System* buscando aumentar la confiabilidad del flujo de trabajo mediante la medición de las actividades que se programaron con las actividades que no se cumplieron, y mediante la determinación de las causas de no cumplimiento que son las restricciones para las cuales se aplicaron acciones correctivas para eliminar la variabilidad.

Argos (2015), en su página de internet menciona la experiencia *Lean Construction* de la constructora Arquitectura y Concreto basándose en los resultados obtenidos por Martínez y Villegas (2008), quienes desarrollaron el primer proyecto *lean* de la compañía: Akacia, un conjunto de casas campestres ubicado en la ciudad de Medellín, el cual probó las bondades del método y sirvió como modelo para la implementación de la metodología en la empresa y posteriormente la consolidación del área de *Lean Construction*. Los resultados de la prueba piloto permitieron obtener beneficios como: entregar las casas a tiempo a la interventoría con una diferencia de 15 días que se mantuvo desde el principio con respecto a la programación inicial, entregar las casas al cliente de acuerdo a los plazos de tramitación y escrituración de la gerencia, mejorar las especificaciones por unos 250 millones de pesos, reducir los costos de producción comparado con proyectos similares y los costos de personal por administración en actividades de aseo y detalles de oficiales y reducir los pendientes de entrega gracias a la presión en la recepción de las actividades y la exigencia de la interventoría, además los costos reales por m² se redujeron en un 13%.

Otros avances se evidencian en otras constructoras como es el caso de Urbansa en Bogotá, quien en su búsqueda permanente de estándares más eficientes, modernos y competentes implementó la filosofía *Lean Construction*, convirtiéndose en la primera empresa en Colombia certificada por el ICONTEC en esta práctica. Urbansa asimiló el concepto moderno de *Lean Construction*, con un robusto sistema de información presente, desde la integración de sistemas de calidad y gestión ambiental, benchmarking, hasta el monitoreo y control de cada proyecto.

Si se revisa la gran acogida que han tenido las prácticas de *lean* en el mundo y los casos comprobados de mejora continua que han surgido con la implementación de las herramientas del *Lean Thinking*, y partiendo además del hecho que el *Lean Construction* es una filosofía poco conocida que solo abarca algunos enfoques del *Lean Thinking*, que no obedece un orden o un conjunto de reglas fijas para implementarse, y que su aplicación se puede adaptar según las necesidades y objetivos de cada empresa y cada proyecto, vale la pena revisar todas las herramientas que se pueden implementar en la construcción y comprobar la aplicabilidad del *Lean Construction* en la cadena de abastecimiento de este sector.

Tomando la problemática anteriormente descrita como foco de estudio, en este trabajo se desarrolla una revisión en profundidad de la literatura para examinar el conocimiento existente acerca de los enfoques *lean* implementados en obras de construcción y sus características. Como resultado de ello se propone un marco teórico que jugará un papel decisivo en la formulación de una guía computacional de aplicación de herramientas de *Lean Thinking* y *Lean Construction*, que se adapte a la cadena de suministro de la construcción de viviendas en Bogotá y que será la base para posteriores estudios de investigación como la implementación y evaluación de dicha guía, o la creación de otra.

1.3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Para lo anteriormente descrito se plantean las siguientes preguntas de investigación:

¿Hay herramientas del *Lean Thinking* que pueden adaptarse e implementarse a lo largo de las cadenas de abastecimiento de la construcción y que no están inmersas en el *Lean Construction*, las cuales pueden constituir una propuesta de cambio y mejora aplicable en las constructoras colombianas para mejorar la eficiencia de sus procesos sin aumentar la inversión?

¿Puede crearse una guía de aplicación de varias herramientas de *Lean Thinking* y *Lean Construction*, que se implementen en la cadena de suministro de la construcción de viviendas?

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar un análisis cualitativo de contenido del estado del arte de las herramientas *lean* empleadas en los principales actores de la cadena de abastecimiento de la construcción de vivienda (proveedores, constructoras, clientes), y proponer una guía de aplicación de los principales enfoques de *Lean Thinking* y *Lean Construction* aplicables en esta cadena, que

permitan a las empresas constructoras de vivienda desarrollar sus procesos basados en mejora continua y reducir o eliminar sus desperdicios.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Revisar el estado del arte, a nivel nacional e internacional, de las herramientas *lean* implementadas en la cadena de abastecimiento de la construcción de vivienda, y hallar la relación entre las técnicas desarrolladas por *Lean Construction* y las desarrolladas por *Lean Manufacturing*.
2. Analizar el estado del arte encontrado mediante la aplicación de herramientas como el diagrama de Pareto y el análisis de afinidad del sistema⁸, para identificar las metodologías *lean* que más se han utilizado en el sector, y con base en esto sugerir una guía que se ajuste a las obras de construcción de vivienda.
3. Proponer una guía de aplicación que contenga varias herramientas de *Lean Thinking* y *Lean Construction*, aplicable en las distintas etapas de proceso constructivo y en los principales actores de la cadena de abastecimiento de la construcción, según el análisis efectuado previamente.
4. Conocer y evaluar la aplicabilidad de la guía propuesta mediante la implementación de una encuesta de percepción cualitativa dirigida a diferentes profesionales del sector de la construcción.

1.5. METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología a seguir para desarrollar esta investigación está basada en el trabajo de Mayring (2014) titulado *Análisis cualitativo de contenido: fundamentos teóricos y procedimientos básicos*. La idea central del análisis cualitativo de contenido es partir de la base metodológica del análisis de contenido cuantitativo, pero conceptualizar el proceso de asignación de categorías como un acto cualitativo-interpretativo siguiendo reglas analíticas de contenido. En este sentido, el análisis cualitativo de contenido es un enfoque de métodos mixtos: asignación de categorías como paso cualitativo y análisis de frecuencias de categorías como paso cuantitativo.

⁸ En el documento Herramientas de calidad del profesor Arturo Ruíz (2009) se definen estos tipos de diagramas así:

- El diagrama de Pareto es un histograma en el que se ordenan cada una de las categorías o elementos por orden de mayor a menor frecuencia de aparición lo que facilita evidenciar el Principio de Pareto, el cual enuncia que el 80% de los problemas están producidos por un 20% de las causas, por lo que se debe concentrar los esfuerzos en localizar y eliminar esas pocas causas que producen la mayor parte de los problemas.
- El análisis de afinidad es una herramienta que sintetiza un conjunto de datos agrupándolos en función de la relación que tienen entre sí y de su afinidad verbal. Se basa en el principio de que muchos de estos datos son afines, por lo que pueden reunirse bajo unas pocas ideas generales.

Esta metodología de investigación parte de los procesos tradicionales de investigación de enfoques cuantitativos y los reformula y expande para enfoques cualitativos. Para lograr el análisis cualitativo de contenido Mayring establece siete pasos:

Paso 1: Selección del objeto de análisis; planteamiento de la pregunta concreta de investigación y de la relevancia para el conocimiento; eventualmente hipótesis si el estudio lo requiere; formulación y explicación del punto de vista del investigador.

Paso 2: Vinculación de la pregunta de investigación con la teoría y desarrollo del pre-análisis (análisis de la situación actual, estado de la técnica, enfoque teórico, concepciones del tema).

Paso 3: Definición del tipo de investigación y de las unidades de análisis. Para este caso, la investigación es de tipo exploratorio y descriptivo: exploratorio porque es un tema de investigación poco estudiado en profundidad y se busca obtener información sobre la posibilidad de llevar a cabo una investigación más completa sobre un contexto particular de la vida real, y descriptivo porque busca especificar las propiedades importantes de cualquier fenómeno que sea sometido a análisis.

Respecto a las unidades de análisis estas corresponden a los segmentos de contenido sobre los cuales se comienzan a elaborar los análisis, representan el alimento informativo principal para procesar, en este caso, son todas las fuentes de información secundarias que se revisarán. En este paso también se establecen las reglas de análisis y los códigos de clasificación.

Paso 4: Definición de la muestra y de la estrategia de muestreo: La muestra puede consistir en documentos (diferentes archivos, páginas web, videos, etc.), personas (entrevistas) situaciones (notas de campo) o entidades más amplias (grupos, ciudades...).

Paso 5: Métodos de recopilación y análisis de datos y desarrollo de categorías cualitativas: Se puede definir a las categorías como los cajones o casillas en donde el contenido previamente codificado se ordena y clasifica de modo definitivo para lo cual es necesario seguir, al igual que en el caso de la codificación, un criterio, pero en esta oportunidad, dicho criterio depende mucho más de elementos inferenciales, fundamentalmente razonamientos del investigador y elementos teóricos, que permiten consolidar la categorización.

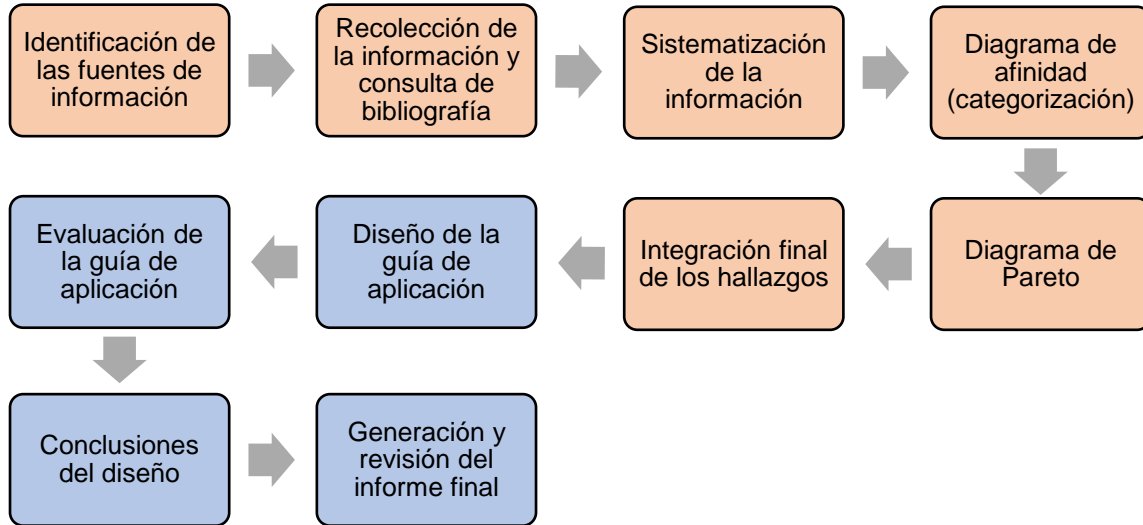
Paso 6: Procesamiento del estudio y presentación de los resultados con respecto a la pregunta de investigación.

Paso 7: Definición de los parámetros de evaluación y análisis de la coherencia del análisis efectuado.

En esta propuesta se distinguen claramente dos fases de trabajo (Ver Figura 3): la primera fase de recolección de información (cuadros rosados), que incluye todo el análisis cualitativo de contenido y diseño conceptual de la cadena de abastecimiento de la construcción de vivienda, la cual corresponde a la adquisición del conocimiento de todo el sistema y en la que se establecen las herramientas *lean* existentes, se analizan aquellas que ya se han implementado y aquellas que no, y se generan diagramas de análisis.

La segunda fase (cuadros azules) es propiamente la del diseño de la metodología de implementación de herramientas *lean* en este sistema productivo, la evaluación de la guía de aplicación propuesta y la elaboración del documento y del artículo científico.

Figura 3. Etapas de la investigación.



1. **Identificación de las fuentes de información:** La investigación se realizará mediante consulta de fuentes primarias y secundarias de información que incluyen la literatura disponible, fuentes en internet, bases de datos, observación directa y entrevistas a personal operativo y administrativo de obra si se requiere, con el fin de conocer y comprender las condiciones de cada actividad principal del proceso constructivo.
2. **Recolección de la información y consulta de bibliografía:** En esta etapa se revisará el estado del arte o conocimiento disponible de expertos, entendidos estos como los autores que documentan información de los factores relacionados directa o indirectamente con esta problemática. La consulta bibliográfica tratará de abarcar un amplio número de autores, tanto nacionales como extranjeros, destacados en temas relacionados con los problemas a abordar: herramientas *lean* y *Lean Construction*. Esta consulta brindará la información necesaria para reconocer las condiciones particulares que puede llegar a tener el sistema a estudiar y el medio en que se encuentra inmerso, además de definir los lineamientos primarios de clasificación de las herramientas, así como encontrar un gran número de herramientas *lean* comunes a varios autores acerca del foco de estudio.
3. **Sistematización de la información:** La información obtenida se llevará a una base de datos para sistematizarla y poder generar los posteriores diagramas que categorizarán el conocimiento.
4. **Diagrama de afinidad:** Una vez se ha adquirido y recopilado el conocimiento proveniente de expertos nacionales e internacionales se homologarán las herramientas *lean* implementadas en proyectos anteriores y las que podrían implementarse, mediante la afinidad de las mismas. Este diagrama permitirá agrupar aquellas herramientas *lean* que están relacionadas de forma natural y que se encuentran dispersas.

5. **Diagrama de Pareto:** Se identificará la frecuencia de las herramientas *lean* mencionadas por los diferentes autores consultados, ya afinadas, con el fin de jerarquizar desde aquellas que más se encuentran en las fuentes consultadas y que son más relevantes hasta las que menos se encuentran en la bibliografía estudiada.
6. **Integración final de los hallazgos:** Revisión y análisis de la coherencia de la clasificación de categorías obtenida e integración de últimos hallazgos.
7. **Diseño de la guía de aplicación:** Después de analizar y agrupar las herramientas *lean* que pueden implementarse en cada uno de los actores de la cadena de abastecimiento se iniciará el diseño de la guía que puede aplicarse para la eliminación de los desperdicios en la cadena de abastecimiento.
Para efectos de esta investigación la <<guía de aplicación>> hace referencia al producto final de este trabajo, a una herramienta computacional que va a contener diferentes herramientas de *Lean Thinking* y *Lean Construction*, de forma operativa o informativa, pero que implementadas en conjunto en determinados eslabones de la cadena lograrán desarrollar los procesos críticos de la cadena de abastecimiento de la construcción de vivienda en Bogotá de forma armónica.
8. **Evaluación de la guía de aplicación:** Con el fin de evaluar si la guía de aplicación propuesta cumple los objetivos señalados previamente, se llevarán a cabo diferentes encuestas cualitativas de percepción aplicables a diferentes profesionales del sector de la construcción (ingenieros residentes senior y junior, directores de obra, gerentes de proyecto, arquitectos de diseño, residentes logísticos, entre otros).
9. **Conclusiones del diseño:** Tomando como base todo el conocimiento adquirido y la lógica, concordancia y coherencia de los resultados obtenidos, se evaluará si la guía de aplicación propuesta cumple con el objetivo de minimizar los desperdicios en la cadena.
10. **Generación y revisión del informe final.**

1.6. RESULTADOS ESPERADOS Y ENTREGABLES

Tabla 1. Productos de la investigación.

Producto	Descripción
Cuadro de aplicación de herramientas <i>lean</i>	Cuadro de herramientas <i>lean</i> aplicables en los principales eslabones de la cadena de abastecimiento.
Guía de aplicación de herramientas de <i>Lean Thinking</i> y <i>Lean Construction</i>	Guía computacional que contiene los principales enfoques <i>lean</i> aplicables en la cadena de abastecimiento de la construcción de vivienda en Bogotá.
Producto científico 1	Una ponencia en un evento científico – académico durante el primer semestre del 2019 (TG1).
Producto científico 2	Un artículo avalado para publicar en una revista indexada en el ámbito nacional o internacional en el segundo periodo del 2019 (TG2).

1.7. ALCANCE Y LIMITACIONES

Se busca crear una guía computacional de aplicación de herramientas de *Lean Thinking* y *Lean Construction* en la industria de la construcción, que sea fácil de manejar, y que tenga una interfaz amigable con el usuario, con el fin que sea funcional y confiable para empresas de construcción que dentro de sus objetivos planeen incursionar en la práctica de *Lean Construction*, y que quieran saber el paso a paso para la implementación, o conocer más de las herramientas *lean* para este sector.

El alcance real del estudio está en la eliminación de desperdicios de tiempo, financieros, de materiales, de reprocesos, de flujos de información perdidos, de falta de liderazgo, de falta de unidad y falta de proyección a mediano y largo plazo en los proyectos de construcción. Sin embargo, se requiere que todas las partes involucradas estén sintonizadas con los objetivos que se quieren lograr, que se establezcan compromisos y se cumplan, y que se brinde toda la información necesaria cada vez que se requiera. Así mismo, es necesario empoderar al equipo de trabajo y al líder para que las herramientas *lean* se implementen de inicio a fin, no solo un par de semanas, ni desarrollarlas a medias.

La versatilidad de las herramientas *lean* permite que su uso no se limite solo a construcciones de vivienda, sino también de comercio u obras de infraestructura, y también a la construcción de vivienda de todos los estratos sociales, aunque en la validación de la herramienta se corroboró que ésta fuera funcional para construcción en estrato alto.

La guía de aplicación que se propone solo abarca las herramientas de *Lean Thinking* y *Lean Construction* más mencionadas en la revisión del estado del arte, después de someter todas las menciones de herramientas *lean* encontradas al análisis de Pareto, lo cual no quiere decir que las otras herramientas no puedan implementarse o no puedan tener éxito en las constructoras colombianas.

Para la guía interactiva que se quiere crear, particularmente para el módulo de Last Planner® System, el usuario debe ingresar unos datos como las actividades a planear y las fechas previstas, por lo que debe contar con las programaciones de obra en un software que se pueda exportar a Excel para facilitar el importe de datos.

Esta investigación propone el uso de la guía de aplicación, pero no se aplicará en un proyecto como tal. Después de desarrollar dicha guía, y de someter la aplicabilidad de la misma a validación con diferentes profesionales del sector para las fases críticas del proceso constructivo, los resultados pueden servir para futuras investigaciones en las que se implemente la guía o se modifique.

2. QUALITATIVE ANALYSIS OF LEAN TOOLS IN THE CONSTRUCTION SECTOR IN COLOMBIA

Fran M. Castiblanco¹, Ivonne A. Castiblanco², and Joan P. Cruz³

ABSTRACT

This descriptive research identifies the lean tools applied worldwide in the supply chain of housing construction recognizing which are the most common tools across different countries, the least explored and which tools have the most reception in Colombia.

Through a literary review of 84 academic papers from 22 countries, 254 mentions of 30 lean tools were detected, developing a qualitative content analysis from identified trends of the main differences and similarities in the adoption of lean construction (LC) in Colombia, Latin America and the different continents.

The results derived from a Pareto chart and an affinity analysis in which lean tools were reduced to 23 categories, show that the main practices of lean manufacturing and lean construction are Last Planner® System, Building Information Models, Visual Management, among others.

This study is part of a subsequent project that will take the conclusions of this qualitative analysis to suggest an application guide (based on the continuous improvement tools found) that links applicable lean approaches with the main actors of the supply chain of housing projects in Bogotá.

Taking into account the research gap found, this study could serve as a basis for lean construction studies in countries similar to Colombia.

KEYWORDS

Affinity analysis, last planner® system, lean construction, Pareto chart, visual management.

2.1. INTRODUCTION

The construction sector in Colombia has become, in recent years, in a considerable contributor to the country's income, thus actively contributing to the Colombian economy. Revista Dinero (2018) documented in one of its publications that the real estate and building market, after being one of the most affected industries during 2017, felt an improvement in 2018 due to the greater disposition of households to invest in

¹ Master Student, Industrial Engineering. Escuela Colombiana de Ingeniería, Carrera 45 No. 205-59, Bogotá, Colombia, Phone +57 313 398 90 21, fran.castiblanco@mail.escuelaing.edu.co

² Professor, Industrial Engineering Department, Escuela Colombiana de Ingeniería, Carrera 45 No. 205-59, Bogotá, Colombia, Phone +57 305 712 78 13, ivonne.castiblanco@escuelaing.edu.co

³ Professor, Industrial Engineering Department, Escuela Colombiana de Ingeniería, Carrera 45 No. 205-59, Bogotá, Colombia, Phone +57 (1) 6 68 36 00 ext. 278 joan.cruz@escuelaing.edu.co

Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). "Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia" In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.

real estate and the rebound of the offer, projecting the industry firm and constant, being one of the best in Latin America⁴.

However, despite its importance in the national economy, this industry has the least technological progress and development at both a national and international level in comparison with other Latin American countries⁵. To reduce this disadvantage, methodologies focused on improving the planning and monitoring processes have been studied, offering tools with easier decision making, mitigation of risks and reduction of time and costs. Lean thinking tools help the efficient planning of activities in productive systems, such as construction, and the reduction or elimination of waste.

Porras, Sánchez and Galvis (2014) affirm that in Latin America the countries that show advances in the use and study of lean construction are Brazil, Chile, Peru and Colombia. Unlike United States and Europe, where lean construction is part of the curriculum in civil engineering related careers, in Colombia lean construction has been studied and practiced in private sector, while at universities there have not been advances on the subject. In Latin America, the country where LC is part of the civil engineering curriculum is Chile⁶.

The above shows the academic gap exist between Colombia and European, Asian or North American countries and the scientific relevance of this type of researches. In fact, only about 6% of the sources consulted in this investigation are from Colombian and 37% are from Latin America.

At present, the lean implementations in Colombian construction companies are not widely known and nowadays most of these companies present problems due to non-compliance of real estate deliveries to clients. This evidences the need for the implementation of lean tools in construction to exercise control over the unnecessary factors that generate cost overruns, achieving savings in financial and administration costs, quality in the final product and greater profitability.

If we review the great acceptance that lean practices have had in the world and the proven cases of continuous improvement that have arisen with the implementation of Lean Thinking tools, and starting from the fact that lean construction is a philosophy that encompasses some approaches of Lean Thinking, that does not obey an order or a set of fixed rules to be implemented and that its application can be adapted according to the needs and objectives of each company and each project, it is worth reviewing the tools that can be implemented in the construction and check the applicability of lean construction in the supply chain of this sector.

Taking the problem described above, this paper develops a review of the literature to examine the existing knowledge about lean approaches implemented and their characteristics in the construction industry. As a result, a theoretical framework is

⁴ According to National Administrative Department of Statistics (DANE), the construction of buildings currently generates annual investments of \$ 77 billion and contributes \$ 46 billion to the national economy. However, the construction sector continues to contract despite the progressive economic recovery of the country (Revista Dinero, August 30, 2018).

⁵ A report from The Economist Newspaper assures South America in general has a low productivity for every hour worked in construction sector. Even so, the cases of Chile and Argentina stand out as two countries with low growth, while Colombia, Brazil and Mexico have regressed (World Economic Forum, October 25, 2018).

⁶ In Europe there are already construction companies implementing lean construction. At the Polytechnic University of Valencia there are 2 master's degrees that include the Lean Construction subject since 2012 (El Constructor Newspaper, October 27, 2017).

Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). "Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia" In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.

proposed playing a decisive role in the formulation of an application guide that adapts to the supply chain of housing projects in Bogotá (understood as an application guide to the set of the different selected Lean Thinking tools that apply to the chain), and which will be the basis for further research studies such as the implementation and evaluation of that methodology or the creation of others.

2.2. COLOMBIAN CONTEXT

As mentioned by Araque et al., (2017), civil construction sector in Colombia is one of the main development axes for multiple families linked to this industry, representing an important national economic proportion. However, the characteristics of the workers and the working conditions of the sector have demonstrated the need for continuous improvement and evolution in search of formalization and technification of the associated activities⁷.

The conventional system in Colombia to plan and execute construction works differs from Lean Thinking, that is, there are currently few companies that implement this work philosophy (Rojas, et al., 2017).

According to a document issued by Dinero magazine (2018), a good future is predicted for this economic sphere in Colombia because of the positive change in the building activity thanks to the development in terms of access to housing and non-residential and industrial construction, among others. The progress of the sector has had satisfactory effects in terms of economy, generation of employment and reduction of the housing deficit.

In Colombia, unfortunately, most constructions regardless the type are carried out with poor planning, due to incomplete designs, imprecise budgets, disarticulated schedules, non-assertive communication among the different parties involved, absence of internal coordination, confusing instructions, weaknesses in business philosophy, lack of supervision, etc., that in most cases leads to an increase in costs and delays in the different construction activities.

Additionally, most traditional construction processes are carried out manually, which means that the productivity of each process depends mainly on the organization of the activities and the performance and experience of each worker, making the "productivity" into a critical point.

The Colombian Association of Systems Engineers (ACIS), on its website (2019), affirms lean construction acts on construction companies, in each process, adjusting deadlines, resulting in more quality, and ensuring deliveries without delay. Colombian construction companies must adopt lean because in a crisis scenario in the region, with scarce financial resources, only companies that apply this philosophy will be able to produce more and better using the same resources. Regarding compliance with deadlines, today the construction companies can not delay more, because it has a direct impact on the utility of the project, and it would cause fines and sanctions.

Research on lean construction in Colombia began in 2002 (Botero and Álvarez, 2004), where the tools Value Stream Mapping (VSM), Last Planner® System (LPS), Kanban, Building Information Modeling (BIM), 5S, Pull Planning System (PPS), Just

⁷ Construction is, worldwide, the industry with the least amount of increase in productivity in last 20 years. While manufacturing grew its added value by 3.6% and the world economy made it 2.8%, construction only did so at 1% (World Economic Forum, October 25, 2018).

Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). "Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia" In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.

in Time (JIT), Jidoka, Kaizen, among others, have been adopted. According to Pons (2014), techniques from the automotive sector such as concurrent engineering, value engineering, benchmarking and balance lines have been incorporated quickly to manage the integration of information with production cycles.

However, tools as such are not everything. From another point of view Hackler (2017) exposes the importance of building a lean culture in organizations and selecting teams that really want to adopt lean, because accelerating the understanding and implementation of lean in a company is based on change management. Also, the lean team requires the support of management at all levels from training the workers on practical tools to educating them on the lean principles as a general way to execute their projects.

2.3. RESEARCH METHOD

As a first instance, the state of the art of lean construction and some Lean Thinking tools used worldwide in the housing construction sector were reviewed, finding that there are different practices, including own ones, that have been developed in this sector to meet the needs of this industry.

Subsequently, the selected articles were classified reviewing whether they mentioned the implementation of a lean tool in a success case; in addition, the author or authors were taken into account, the country in which it was developed and the year of publication.

Consecutively after this classification, the results were recorded in a database and the affinity analysis was generated and then the Pareto chart.

To describe the system, the Mayring methodology (2014) entitled Qualitative Content Analysis was used⁸, starting with the selection of the object of analysis, the linking of the research question with the theory; the development of the pre-analysis through the bibliographic consultation of experts, identifying the lean tools used in the construction field; the definition of the sample and the method of data analysis by means of an affinity and Pareto analysis; and the analysis of the coherence of the study carried out.

2.3.1. SEARCH FOR EXPERTS

Based on the referential framework, which allowed dimensioning the variety of existing concepts related to lean construction, a search of sources related to this topic was made in order to know which lean tools are used in this sector.

This consultation provided the necessary information to recognize the particular conditions that the system to study can have and the environment in which it is immersed, also defining the primary guidelines for classification of the tools, as well as finding a large number of lean tools common to several authors about the focus of study.

Knowledge gathering was done taking secondary sources of information from experts, understood them as the authors who document information on the factors

⁸ The central idea of qualitative content analysis is to start from the methodological basis of quantitative content analysis but conceptualizing the process of assigning categories as a qualitative-interpretative act following content analytical rules. In this sense, qualitative content analysis is a mixed methods approach: assignment of categories as a qualitative step and analysis of the frequencies of categories as a quantitative step.

Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). "Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia" In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.

directly or indirectly related to this problem, that is, their publications and opinions, expressed mainly in research articles, by national and international authors.

84 documents between nationals and foreigners were consulted, majority of them were published on the website of the International Group for Lean Construction (IGLC) in the last five years (in this article only 23 references are presented, the total list of the 84 references is at the end of the document, as appendix). This database presents a complete collection of lean construction publications, so this was the main reason to select it as the prevailing source for this research. From these documents, a total of 254 mentions of Lean Thinking and lean construction tools were obtained, which were categorized by means of affinity in 23 selected causes according to relevance and being the most named by the experts.

The nationality of these authors is concentrated in twenty-two countries as shown in table 2. However, the most representative countries are Germany (Dlouhy, et al., 2017), Brazil (Franco and Picchi, 2016), Chile (Salvatierra, et al., 2015; Matta, et al., 2018), United States (Smith and Ngo, 2017; Alves, Azambuja and Arnous, 2016), India (Patel, Karia and Pandit, 2018), England (Tezel, et al., 2016) and Norway (Torp, Knudsen and Ronneberg, 2018). Other authors consulted came from Australia (Shou, et al., 2017), Ecuador (Martínes, Tommelein and Alvear, 2017), Estonia (Leonova, Ballard and Gehbauer, 2017), Finland (Singh, 2018), Ireland (Kemmer, et al., 2016), Lebanon (Hatoum, et al., 2018), Morocco (Hicham, Taoufiq and Aziz, 2016), Mexico (Dlouhy, et al., 2018), New Zealand (Hunt and Gonzalez, 2018), Netherlands (Vrijhoef, Dijkstra and Koutamanis, 2018), Peru (Murguía, Brioso and Pimentel, 2016), Palestine (Enshassi and Abu Zaiter, 2014), South Africa (Monyane, Emuze and Crafford, 2018) and Pakistan (Memon, et al., 2018).

Table 2. Characteristics of the experts consulted by geographic context

Country	Number of experts from the country	Percentage of experts
Germany	5	5,95%
Australia	1	1,19%
Brazil	15	17,86%
Chile	9	10,71%
Colombia	5	5,95%
Ecuador	1	1,19%
United States	12	14,29%
Estonia	1	1,19%
Finland	1	1,19%
India	7	8,33%
England	5	5,95%
Ireland	1	1,19%
Lebanon	4	4,76%
Morocco	1	1,19%
Mexico	1	1,19%
Norway	8	9,52%
New Zealand	1	1,19%
Netherlands	1	1,19%
Pakistan	1	1,19%
Palestine	1	1,19%
Peru	1	1,19%
South Africa	2	2,38%
Total	84	100%

Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). "Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia" In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.

Nearly 6% of the authors consulted are Colombians (Forero, et al., 2015, Mejía, et al., 2016, Cortés, et al., 2018, Porras, Sánchez and Galvis, 2014, Guevara, et al., 2011). Of the remaining experts consulted, 31% are from Latin American countries, 26% are European, 61% North American, 15% Asian, 4% come from African countries and the remaining 2% are from Oceania. This variety allows a greater proximity to the landscape of lean construction developed in Colombia and surrounding countries. Figure 4 shows a description of the nationality of the authors consulted.

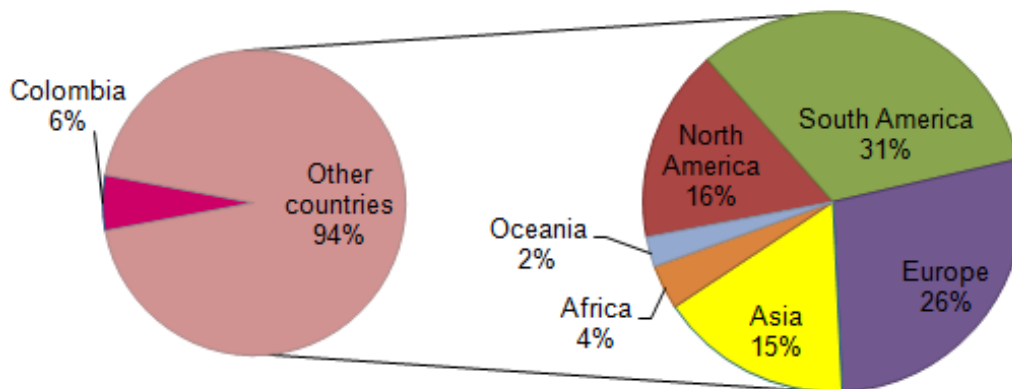


Figure 4. Nationality of the authors

Regarding the age of the documents reviewed, Table 3 shows that more than 97% of the information was prepared less than five years ago, and that was an aspect of interest in the search given that the objective is to review the current trends in lean construction. However, two articles presented at IGLC conferences, prepared in 2011 and 2013, of Colombian and Brazilian origin respectively, were reviewed because there are not many Colombian papers presented in IGLC and all those from Colombia that could provide information of interest to this investigation were reviewed.

Table 3. Characteristics of the sources by nationality and age of the publication

Characteristic	Total	Percentage
Colombian authors	5	5,95%
Foreign authors	79	94,05%
Sources of up to 5 years	82	97,62%
Sources over 5 years	2	2,38%

2.3.2. AFFINITY ANALYSIS

After reviewing and consolidating the 30 lean tools, the affinity analysis was carried out, by means of which these tools were classified into 23 categories, seeking to concentrate in the same group those that had similarities or that some authors expressed that they were related to others (see Table 4).

For example, according to the Lean Construction Institute (LCI) (2017), Building Information Modeling (BIM) is a useful tool for the process of generation and management of data during the life cycle of a project (building) that includes geometry of construction, spatial relations, geographic information, quantities and properties of building components, among others. But taking into account that BIM uses a three-dimensional dynamic building modeling software (3D) and that can also include four-dimensional (4D) simulations to see how part or all of the installation is designed to be

Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). "Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia" In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.

built and the 5D capacity for estimation based on models, in this category the BIM and 4D BIM tools mentioned separately by some authors were included (See Table 4).

Table 4. Proposed affinity of lean tools

Initial category	Fine-tuned lean tool
Building Information Models (BIM) 4D Building Information Modeling (BIM)	Building Information models (BIM)
Choosing by Advantages (CBA) Best Value Procurement (BVP)	Choosing by Advantages (CBA)
Waste walk Gemba	Gemba walk
Value Stream Mapping (VSM) Overall Process Analysis (OPA)	Value Stream Mapping (VSM)
Visual Management Poka Yoke Customization choice board Display boards	Visual Management (VM)
Chrono-analysis Work Sampling (WS)	Work Sampling (WS)

In the same way, the resulting category Choosing by Advantages (CBA) groups the Choosing by Advantages (CBA) and Best Value Procurement (BVP) tools. According to LCI glossary (2017), CBA is a solid, proven and effective decision-making system developed by Jim Suhr in 1999 to determine the best decision when analyzing the benefits of each option. Regarding the Best Value Procurement (BVP), Narmo, Wondimu and Laedre (2018) state that it is a procurement system created in 1992 that analyzes factors other than price, such as quality and experience, when selecting suppliers or contractors. This method was developed in the United States and is one of the ways to award contracts based on qualification instead of the price.

On the other hand, as stated by the LCI (2017), Gemba is a Japanese term for "real place", which is often used for the workshop or any place where a work of value creation actually takes place. The lean experts refer to "going to the gemba" or doing a "gemba walk" to make walks in the workplace and see how things really are done and where there is an opportunity to eliminate or reduce waste. Similarly, other authors such as Beck da Silva Etges, Bronzatto and Salgado (2018) refer to the same concept with the term "waste walk", so for purposes of this work are grouped in the category "gemba walk".

In Lean Lexicon (2008), the Value Stream Mapping is a simple diagram of each step involved in the flows of material and information necessary to carry a product from the order to the delivery in the current conditions. In the study by Theis, Tommelein and Emdanat (2017) the General Process Analysis (OPA) refers to a one-time analysis that aims to identify the different areas of work and define the steps of the process and the sequence of operations in each area. Since these two tools have the same purpose, they are grouped in the same category in this research.

As mentioned by the Lean Enterprise Institute (2008), Visual Management refers to the location at a glance of all the tools, parts, production activities and performance indicators of the production system, so the state of the system can be understood at a glance by all the parties involved. Reviewing the consulted publications, several authors mention different visual management tools such as Poka Yoke, visualization boards and personalization tools to name some visual management tools implemented in different

Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). "Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia" In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.

contexts, which based on their nature, can be categorized into a single tool: Visual Management.

Finally, Etges, Pereira and Silveira (2018) mention "Chrono Analysis" as a tool that consists of an uninterrupted time of filming during a long period (minimum of 4 hours) to observe the level of added value in complete cycles of activities. On the other hand, Pothen and Ramalingam (2018) mention the "Work sampling" that consists of a series of instantaneous observations of the work in progress that are taken at random over a period of time to measure productivity. This method provides information on the amount of time that workers spend doing productive, supportive and non-productive work. Therefore, they are grouped into a category called "Work sampling".

2.3.3. PARETO ANALYSIS

The Pareto analysis consists in organizing the lean tools in a descending manner depending on the frequency of mention by the experts consulted. By ordering each of the 23 categories according to the number of appearances, the relative frequency was calculated against the total of 254 records and the accumulated frequency. Table 5 shows the ordering and the tools enunciated by the authors.

Table 5. Lean tools most named by the experts

Fine-tuned lean tool	Frequency	Accumulated frequency	% total	% total accumulated
Last Planner® System (LPS)	46	46	18,11%	18,11%
Building Information Models (BIM)	41	87	16,14%	34,25%
Visual management (VM)	26	113	10,24%	44,49%
Value Stream Mapping (VSM)	17	130	6,69%	51,18%
Target Value Design (TVD)	16	146	6,30%	57,48%
5S	16	162	6,30%	63,78%
Integrated Project Delivery (IPD)	14	176	5,51%	69,29%
Choosing by Advantages (CBA)	13	189	5,12%	74,41%
Kanban	12	201	4,72%	79,13%
Takt Planning and Takt Control (TPTC)	8	209	3,15%	82,28%
A3 report	8	217	3,15%	85,43%
Andon	5	222	1,97%	87,40%
Set-Based Design (SBD)	5	227	1,97%	89,37%
Gemba walk	5	232	1,97%	91,34%
Just in Time (JIT)	4	236	1,57%	92,91%
Heijunka	4	240	1,57%	94,49%
Work Sampling (WS)	4	244	1,57%	96,06%
RFID	2	246	0,79%	96,85%
5 Whys	2	248	0,79%	97,64%
Jidoka	2	250	0,79%	98,43%
Value Engineering	2	252	0,79%	99,21%
Modelo Means - End	1	253	0,39%	99,61%
SMED	1	254	0,39%	100,00%
Total	254			

With this analysis it can be seen that the nine lean tools that represent 80% of all tools are Last Planner® System, Building Information Models, Visual Management, Value Stream Mapping, Target Value Design, 5S, Integrated Project Delivery, Choosing by Advantages and Kanban, adding 201 mentions of the total 254.

Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). “Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia” In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.

In Figure 5 Pareto chart is presented with the ordered categories of Table 5 on the horizontal axis and the absolute and relative frequencies on the vertical axes, the trend line shows the accumulation of the opinions given by the experts.

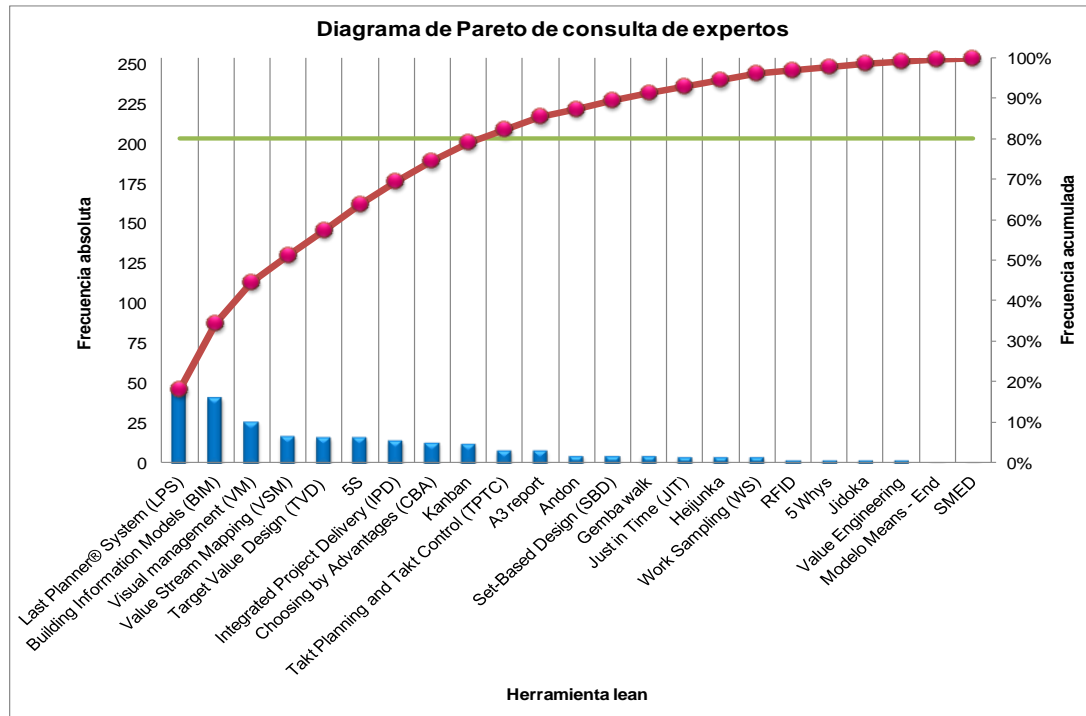


Figure 5. Pareto chart.

All these lean tools must be taken into account when proposing the global tool of lean construction in construction of housing in Colombia, because it has been evidenced, by experience in the sector, not even the basic tools such as 5 Whys, 5S, A3 report, Heijunka, are well implemented or even have a minimal idea of how to practice them.

It is worth mentioning that the Last Planner® System requires a certain level of lean understanding in order to be properly implemented, especially since multiple stakeholders are involved in this method. Considering that in Colombia the level of understanding and application of lean construction is not very widespread, it is important to start with an organizational change management and continuous training that implies the introduction of basic lean methods which would be a good start with raising lean awareness and pave the way to adopt the findings of this paper, specifically, the last planner® system as a global guiding tool to resolve the gap addressed.

2.4. CONCLUSIONS

Lean construction is an application of Lean Thinking. It requires a change of philosophy in the construction companies and in the relation with suppliers and clients for the tools to be effective. Additionally, it needs a change of culture and strong commitment from all stakeholders at medium term for the assimilation and application of the concept.

Hence, lean construction should not be conceived as a model or system in which only a few steps are followed, but as a thought aimed at the creation of tools that generate value for the activities, phases and stages of construction projects.

Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). "Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia" In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.

Although lean construction reduces operating costs, increases economic benefits, reduces material waste and improves the productivity and quality of life of people working in the construction industry, in Colombia the use of this tool has not taken off properly, remaining in practices developed in single projects on an experimental basis without any transcendence or reproducibility of its results.

Conventional construction in Colombia differs from Lean Thinking in the planning and execution of civil works, with only a few companies implementing this philosophy of work due to the industry still settles on many craft processes with a high level of inefficiency.

In Latin America, Brazil and Chile are the countries that have excelled in the development of advanced technologies to improve productivity in the construction sector. Of the 84 studies reviewed, only 6% are of Colombian origin and 37% of the total of authors is from Latin American. Lean construction represents an opportunity for the sector to take advantage of the benefits that have been evident in other countries.

The Last Planner® System is the most used lean tool for the planning of works through the use of balance lines as a tool for visualizing the master plan and weekly meetings and daily walks. It is convenient to review the functionality and use of other tools in order to obtain improvements in the construction processes.

To stay in the market, construction companies must improve the organization of their processes, maximizing value and reducing waste through the application of lean construction. Companies are realizing the importance of incorporating this philosophy in organizations, guiding the purchase of software and looking for management systems that already have the methodology incorporated.

2.5. REFERENCES

- Alves, T.D.C.L., Azambuja, M.M. and Arnous, B. (2016). "Teaching Lean Construction: A Survey of Lean Skills and Qualifications Expected by Contractors and Specialty Contractors in 2016". *Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Araque, G., García, D., and Aguirre, E. (2017). "The Lean Construction methodology and the analysis of losses in the Colombian civil sector: A case study". *Actas de Ingeniería*. Colombia. (3). 213-221 (in spanish).
- Botero, L., Álvarez, M. (2004). "Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento)". *Revista Universidad EAFIT*. Colombia. 40 (136). 50-64 (in spanish).
- Colombian Association of Systems Engineers (2019). "*La Importancia de adoptar el Lean Construction*". <<https://acis.org.co/portal/content/la-importancia-de-adoptar-el-lean-construction>> (Apr 20, 2019).
- Cortes, J.P.R., Ponz-Tienda, J.L., Delgado, J.M. and Gutierrez-Bucheli, L. (2018). "Choosing by Advantages; Benefits Analysis and Implementation in a Case Study, Colombia". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.
- Dlouhy, J., Binnering, M., Weichner, L. and Haghsheno, S. (2017). "Implementation of Lean Construction in Client Organizations – an Analysis of the Status Quo in Germany". *Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece.

- Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). "Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia" In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.
- Dlouhy, J., Ricalde, M., Cossio, B. and Januncio, C. (2018). "Large Scale Project Using Takt Planning and Takt Control-Creating and Sustaining Multitasking Flow". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.
- El Constructor Newspaper (2017). "Lean Construction: ¿Una nueva tendencia en construcción eficiente?". < https://www.elconstructor.com/lean-construction-una-nueva-tendencia-en-construccion-eficiente_4671.html> (Oct, 27, 2017).
- Enshassi, A. and Abu Zaiter, M. (2014). "Implementation of Lean Tools on Safety in Construction Projects in Palestine" In, Kalsaas, B.T., Koskela, L. and Saurin, T.A. *Proc. of the 22th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Oslo, Norway.
- Etges, B.M.B.D.S., Pereira, B.B. and Silveira, T.J.S.D. (2018). "A Lean Approach to Improve Productivity in a Coke Oven Refurbishment Project: A Case Study". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.
- Forero, S., Cardenas, S., Vargas, H. and Garcia, C. (2015). "A Deeper Look Into the Perception and Disposition to Integrated Project Delivery (IPD) in Colombia" In: Seppänen, O., González, V.A. and Arroyo, *Proc. of the 23th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Perth, Australia.
- Franco, J.V. and Picchi, F.A. (2016). "Lean Design in Building Projects: Guiding Principles and Exploratory Collection of Good Practices". *Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Guevara, J., Ozuna, A., Vargas, H., Prieto, J. and Ramirez, C. (2011). "Promoting Innovation in a Colombian Social Housing Construction Company" In: Rooke, J. and Dave, B., *Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Lima, Peru.
- Hackler, C., Byse, E., Reed, D. and Alves, T.D.C. (2017). "Building a Lean Culture". *Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece.
- Hatoum, M.B., Mustapha, R.E., Nassar, C., Zaheraldeen, H. and Hamzeh, F. (2018). "Lean Methods to Improve End User Satisfaction in Higher Education Buildings". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.
- Hicham, H., Taoufiq, C. and Aziz, S. (2016). "Last Planner® System: Implementation in a Moroccan Construction Project". *Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Hunt, R.J. and Gonzalez, V.A. (2018). "Innovation in the New Zealand Construction Industry – Diffusion of the Last Planner System". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.
- Kemmer, S., Biotto, C., Chaves, F., Koskela, L. and Fazenda, P.T. (2016). "Implementing Last Planner in the Context of Social Housing Retrofit". *Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Lean Construction Institute. (2017). LCI Lean Project Delivery Glossary. <<https://www.leanconstruction.org/learning/education/glossary/>> (05Dec18).
- Lean Enterprise Institute (2008). *Lean Lexicon. A graphical glossary for lean thinkers*. Fourth edition. USA.
- Leonova, M., Ballard, G. and Gehbauer, F. (2017). "Strategies That Can Help Transform the Construction Industry". *Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece.

- Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). "Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia" In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.
- Martinez, E., Tommelein, I.D. and Alvear, A. (2017). "Integration of Lean and Information Technology to Enable a Customization Strategy in Affordable Housing". *Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece.
- Matta, G., Herrera, R.F., Baladrón, C., Giménez, Z. and Alarcón, L.F. (2018). "Using BIM-Based Sheets as a Visual Management Tool for on-Site Instructions: A Case Study". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.
- Mayring, P. (2014). "Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution". *Social Science Open Access Repository*. Austria. <<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173>> (02Dec18).
- Mejía-Plata, C., Guevara-Ramirez, J.S., Moncaleano-Novoa, D.F., Londoño-Acevedo, M.C., Rojas-Quintero, J.S. and Ponz-Tienda, J.L. (2016). "A Route Map for Implementing Last Planner® System in Bogotá, Colombia". *Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Memon. A., Akhund M., Laghari A., Imad H., and Bhangwar S. (2018). "Adoptability of Lean Construction Techniques in Pakistan's Construction Industry". *Civil Engineering Journal*. Irán. 4(10). 2328-2337.
- Monyane, T.G., Emuze, F.A. and Crafford, G. (2018). "Identification of Lean Opportunities in a South African Public-Sector Projects Cost Management Framework". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.
- Murguía, D., Brioso, X. and Pimentel, A. (2016). "Applying Lean Techniques to Improve Performance in the Finishing Phase of a Residential Building". *Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Boston, USA.
- Narmo, M., Wondimu, P., and Lædre, O. (2018). "Best Value Procurement (BVP) in a Mega Infrastructure Project". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.
- Patel, V.V., Karia, N. and Pandit, D. (2018). "Identifying Value Enhancing Factors and Applicability of Visual Management Tools". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.
- Pons, J. (2014). "Introducción a Lean Construction". *Fundación Laboral de la Construcción*. Madrid. España. Vol. 1. 74 p.
- Porrás, H., Sánchez, O., Galvis, J. (2014). "Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual". *Journal Avances. Investigación en Ingeniería*. Colombia. 11 (1). 32-53 (in spanish).
- Pothen, L.S. and Ramalingam, S. (2018). "Applicability of Value Stream Mapping and Work Sampling in an Industrial Project in India". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.
- Revista Dinero. (2018). "Auguran buen futuro para el sector de la construcción en Colombia". <<https://www.dinero.com/edicion-impresa/informe-especial/articulo/perspectivas-del-sector-de-la-construccion-en-colombia-2018/259814>> (Jul. 5, 2018).
- Rojas, M., Henao, M., and Valencia, M. (2017). "Lean construction – LC bajo pensamiento Lean". *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. Colombia. 16 (30). 115-128 (in spanish).

Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., Cruz, J. P. (2019). "Qualitative analysis of lean tools in the construction sector in Colombia" In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*, Pasquire. C. and Hamzeh. FR. (Eds), Dublin, Ireland, pp. 1023-1036. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0185>. Available at: <www.iglc.net>.

Salvatierra, J.L., Alarcón, L.F., López, A. and Velásquez, X. (2015). "Lean Diagnosis for Chilean Construction Industry: Towards More Sustainable Lean Practices and Tools". In: Seppänen, O., González, V.A. and Arroyo, P., *Proc. of the 23th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Perth, Australia.

Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X. and Song, Y. (2017). "Application of Lean Production with Value Stream Mapping to the Blasting and Coating Industry". *Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece.

Singh, V. (2018). "Towards Creative Lean (Clean) Construction: From Lean Production to Lean Consumption". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.

Smith, J.P. and Ngo, K. (2017). "Implementation of Lean Practices Among Finishing Contractors in the US". *Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Heraklion, Greece.

Tezel, A., Aziz, Z., Koskela, L. and Tzortzopoulos, P. (2016). "Visual Management Condition in Highways Construction Projects in England". *Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Boston, USA.

Theis, P., Tommelein, I. and Emdanat, S. (2017). *Use of Takt Planning in Production System Design*. Workshop on Takt Planning. UC Berkeley. <<https://www.leanconstruction.org/?s=Use+of+Takt+Planning+in+Production+System+Design>> (Sep 26, 2017).

Torp, O., Knudsen, J.B. and Rønneberg, I. (2018). "Factors Affecting Implementation of Lean Construction". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.

Vrijhoef, R., Dijkstra, J.T. and Koutamanis, A. (2018). "Modelling and Simulating Time Use of Site Workers with 4D BIM". *Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction*. Chennai, India.

World Economic Forum. (2018). *Incrementemos la productividad en la construcción en Latinoamérica*. <<https://es.weforum.org/agenda/2018/10/incrementemos-la-productividad-en-la-construccion-en-latinoamerica/>>. (Oct. 25, 2018).

3. Design of an Application Guide, Based on Continuous Improvement, Relevant to Supply Chain of Housing Projects in Bogotá D.C.

*Marcela Castiblanco Medina¹, Ivonne Castiblanco Jiménez² and Joan Cruz González³

Abstract: This research presents the design of an application guide based on continuous improvement tools, valid to construction industry in Colombia. Through a literary review of 84 academic papers from 22 countries, 30 lean tools used in this sector were found, which after an affinity analysis were reduced to 23.

With the results mentioned above, a computational guide was created for users who are interested in knowing and applying Lean Construction, which does not represent an additional investment, and integrates nine most widely applied lean tools in construction, according to the result from Pareto analysis, like Last Planner® System, Building Information Models, Visual Management, among others. Thus, it teaches the step-by-step that organizations must take into account to apply these tools, identify problems related to planning and waste, and taking corrective actions to add value in Colombian construction supply chain.

Subsequently, an apparent validation of using the guide was carried out through a survey to expert panel, made up of people with different formal professions in construction industry, in order to validate the effectiveness of the guide in this city. The results show the use of this guide is timely and a good starting point to promote continuous improvement and the implementation of Lean Construction in Colombia.

Keywords: application guide, construction industry, continuous improvement, Colombia, lean construction.

3.1. INTRODUCTION

Construction value chain activates nearly 30 sectors of the economy, from the production of construction materials to the marketing of furniture and fixtures, and on a large scale, represents 13% of the World GDP (gross domestic product), that is, US 9.5 trillion (Bancolombia, 2019).

During the last decade, the important contribution from construction sector to the Colombian economy has been evident, which generates a strong dynamism in the national GDP and in the generation of employment.

¹ Master Student in Industrial Engineering. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C., COLOMBIA.

² Researcher. Politecnico Di Torino. Torino. ITALIA.

³ Professor. Industrial Engineering Department. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá D.C., COLOMBIA.

*Corresponding author: fran.castiblanco@mail.escuelaing.edu.co

Furthermore, it is of great interest to organizations of a public and private nature, and a significant focus of investment in Colombia.

However, construction is a sector which shows marked fluctuations, with expansionary and recessive phases. Dinero magazine (2019) stated in one of its publications: "Currently, the sector that for years was the jewel in the crown in the growth of the Colombian economy is going through a rough time" Portafolio newspaper (2020) complemented the above through a study carried out in 2017 by McKinsey & Company for Colombian Chamber of Construction (CAMACOL), a national sectoral guild, pointing out that the factors of low productivity in construction sector in that country are due to endogenous (internal) and exogenous (external) characteristics, many of which can be treated through good management practices.

According to Díaz (2007), some of the main problems present in construction, both in Colombia and in other countries, are: planning is not conceived as a system, but falls on a person in charge of programming and planning; management focuses on the short term, neglecting the long term; the performance obtained is not measured or monitored; errors in planning and the causes of their occurrence are not analyzed; there is no proper management of the resources associated with this industry (materials, time, financial, human, ...); frequent design changes; unrealistic price estimates; contractual complexity; contradictory business culture; and lack of communication between stakeholders. As mentioned in El Espectador newspaper (2019), construction industry is a "complex" sector due to the number of stakeholders involved in its development and the singularity of each project, among other uncertain situations that are part of projects formulation.

Lean Construction was created as a response to dissatisfaction over all these problems that generate cost overruns, non-compliance, accidents, among others. This lean approach started as a concept focused on the execution of infrastructure works, but currently it is carried out throughout the project, since the project idea is created, including contracts management, until construction work is completed and delivered to the buyer.

Regarding the implementation of organizational management models in companies in this sector in Colombia, CAMACOL and National Learning Service (SENA for its initials in Spanish) presented a report in 2016 in which they found that models do not have very advanced development, and as for the methodologies used for project management, development, monitoring and evaluation, the use of Lean Construction is still rudimentary, after the use of the Critical Route management model and the PMBOOK (CAMACOL and SENA, 2016) (Figure 6). Therefore, with regard to training needs at the operational and tactical professional level, companies feel the need to train in topics such as Lean Construction and eco-efficient technologies.

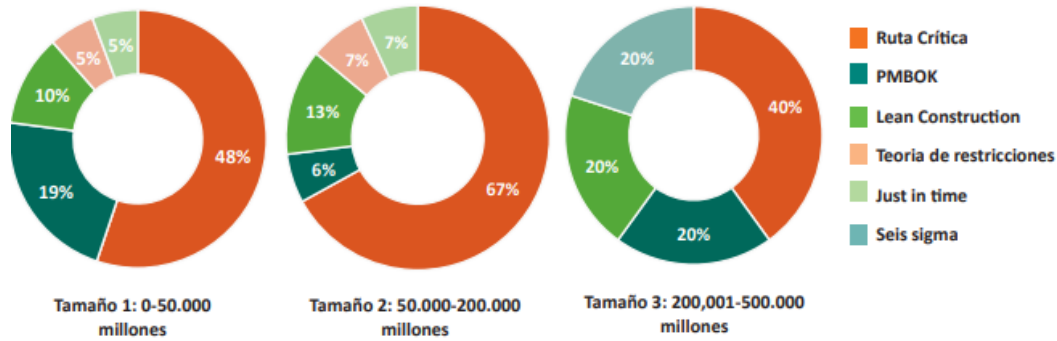


Figure 6. Management models used according to the size of sales.

Source: CAMACOL and SENA, 2016.

Consequently, for all previous, it is necessary to develop an interactive guide that shows the simplicity of the lean approach, which does not represent an additional investment for Colombian construction companies, which groups different lean tools (some from construction sector and other from manufacturing sector), which would be a manual of how the 9 chosen tools should be implemented, and what should be taken into account to make the work activities more efficient, particularly in the construction of housing in Bogotá.

3.2. LITERATURE REVIEW

3.2.1. Last Planner® System (LPS)

LPS is a planning and control system, applied to construction projects, developed by Glenn Ballard and Howell in 1992, whose initial focus was on improving the quality of weekly work plans, adding a forward search process "lookahead" (Ballard, 2000). This system makes a forecast for the future in order to control work plans.

This system involves three main processes, corresponding to long, medium and short term programming: master schedule; intermediate schedule, with the analysis of constraints and inventory of executable jobs; and the weekly work plan. Precisely LPS receives its name because the last planner is the person or group of people in charge of carrying out the programming in a short term project (Ballard, 2000).

This set of schedules reduces variability and uncertainty in construction, where last planner parts of what "SHOULD" be done; special importance is given to what "CAN" be done, and finally what will actually "DO" (Alarcón, 2011).

3.2.2. Building Information Modeling (BIM)

Building Information Modeling or BIM is a working methodology used in construction industry to design or integrate designs that uses 3D geometric models, and that could incorporate 4D schedules, 5D detailed or estimated

quantities, 6D environmental and 7D maintenance information, and other xD analyzes, to design, build, and operate a building throughout its life cycle. It is a collaborative work methodology for the creation and management of a construction project (Construdata, 2020).

This tool allows everyone involved to work on a single digital project model collaboratively and concurrently. To use BIM, we must make use of different software, such as: Autodesk, REVIT, ArchiCAD, Bentley, among others.

3.2.3. Visual Management (VM)

According to Lean Enterprise Institute (2008) VM is the placement in plain view of all tools, parts, production activities, and indicators of production system performance, so the status of the system can be understood at a glance by everyone involved.

Visual management is a work practice that consists of using and applying different visual tools and visualization techniques and incorporating them into traditional management.

Visual management is based on 2 components: the visual, which covers colors, graphics, post-it, physical boards and online, that is, it covers the how and where; and the management itself, which involves the what, the communication and the data that are essential to transmit. So, the only purpose of visual management is that people can quickly and easily understand (visual) what they want to convey (management).

3.2.4. Value Stream Mapping (VSM)

VSM is a simple diagram of every step involved in the material and information flows needed to bring a product from order to delivery. Value-stream maps can be drawn for different points in time as a way to raise consciousness of opportunities for improvement (Lean Construction Institute, 2017).

It is a flow chart, so it uses certain symbols to represent various work activities and information flows.

A current-state map follows a product's path from order to delivery to determine the current conditions. A future state map deploys the opportunities for improvement identified in the current-state map to achieve a higher level of performance at some future point (Lean Enterprise Institute, 2008).

3.2.5. Target Value Design (TVD)

TVD is defined by Ballard (2011) as a "management practice whose objective is to generate maximum value under a target cost set below the market price". This concept was introduced in 2007 by Hal Macomber, Greg Howell and Jack Barbeiro to refer to the adaptation of Target Costing to construction sector

(Zimina et. al., 2012). This tool involves the client as a key player in projects execution.

Capasso (2010) mentions that Target Costing (TC) "is a management tool that allows ordering, adapting and assembling the activities of the organization and their consequent costs to achieve a level of utility in accordance with the objectives set by the Management".

In the same way, Pease (2017), on Lean IPD website, expresses that the main concept of TVD is "to reduce the cost (or maintain the cost and increase the value) of a project through the design and delivery phases. without reducing the quality provided or the completion schedule".

3.2.6. 5 S

5S, defined by Lean Construction Institute (2017), is a disciplined approach to maintaining order in the workplace, using visual controls, to eliminate waste.

The five terms in Japanese are: 1) *Seiri*: separate needed from unneeded items (tools, parts, materials, paperwork), and discard the unneeded; 2) *Seiton*: a place for everything and everything in its place; 3) *Seiso*: clean and wash; 4) *Seiketsu*: cleanliness resulting from regular performance of the first three Ss; and 5) *Shitsuke*: discipline, to perform the first four Ss (Lean Enterprise Institute, 2008).

3.2.7. Integrated Project Delivery (IPD)

IPD is a collaborative process for the integral management of a project throughout its life cycle.

Lean Construction Institute (2018) defines IPD as a contract-based approach, creating an environment that enhances collaboration, innovation and value; characterized by early engagement of team members, shared risk and reward depending on the result of the project, and the joint management of the project.

The owner is in permanent contact with the team to create agreements with the project participants so that the customer can be offered greater value through the creation of shared risk and interest on the outcome of the project.

3.2.8. Choosing by Advantages (CBA)

CBA, as explained by Suhur, its creator, in 1999, is a decision-making system in which the importance of advantages must drive decisions, that is, the pros and cons of each of the options are not evaluated to make the decision, the advantages of each option are considered and measured, and decisions are made based on this (Dave et al., 2013).

This Lean Construction tool consists of definitions (factors, alternatives, attributes, criteria, advantages), models, principles and a set of methods that are adequate to support decisions of any complexity (Lean Project, 2020).

The objective decision-making process has seven steps as follows: 1) Identify the alternatives, 2) Define the factors, 3) Define the desired or required criteria for each factor, 4) Describe the attributes of each alternative, 5) Decide the advantages of each alternative, 6) Decide the importance of each advantage, and 7) Evaluate the cost of the alternatives and compare them.

3.2.9. Kanban Dashboard

Kanban is a Japanese term meaning "a signboard", is a communication tool used in JIT production systems. A Kanban Dashboard is a visualization tool that simply and graphically represents a workflow, pending tasks and the status of an activity (Kanbanize, 2020).

3.3. DESIGN OF AN APPLICATION GUIDE BASED ON CONTINUOUS IMPROVEMENT

3.3.1. Background

In the document *Qualitative Analysis of Lean Tools in the Construction Sector in Colombia* (Castiblanco, et. al., 2019), presented in 2019 at the 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), the results of a previous investigation were presented, which were the basis for the development of the application computational guide presented in this study.

As a first instance, the state of the art of Lean Construction and some Lean Thinking tools used worldwide in housing construction sector were reviewed. 84 documents were consulted between nationals and foreigners, mainly published on The International Group for Lean Construction (IGLC) website. Subsequently, the selected articles were classified reviewing whether they mentioned the implementation of any lean tool in a success case; in addition, the author or authors, the country in which it was developed, and the year of publication were taken into account.

The nationality of these authors was concentrated in twenty-two countries on the five continents, but only about 6% of the authors consulted were Colombian. Of the remaining experts consulted, 31% were from Latin American countries, 26% were European, 61% North American, 15% Asian, 4% came from African countries and the remaining 2% were from Oceania. This variety allows us to have a closer proximity to the Lean Construction panorama developed in Colombia and surrounding countries.

Regarding the age of the documents reviewed, more than 94% of the information was prepared less than five years ago, and that was an aspect of interest in the search, given that the objective was to review the current trends in Lean Construction.

From these documents, a total of 254 mentions were obtained from 30 Lean Thinking and Lean Construction tools. After reviewing and consolidating the 30

lean tools, an affinity analysis was carried out, through which these tools were classified into 23 categories, seeking to concentrate in the same group those that had similarities or that some authors expressed that they were related to others.

Finally, by ordering each of the 23 categories according to the number of appearances, the relative frequency was calculated against the total of 254 records and the accumulated frequency. In Figure 7 Pareto chart is presented with the ordered categories (lean tools) on the horizontal axis and the absolute and relative frequencies on the vertical axes, the trend line shows the accumulation of the opinions given by the experts.

Through the Pareto analysis, the nine lean tools that represent 80% of all the tools mentioned were: *Last Planner® System*, *Building Information Models*, *Visual Management*, *Value Stream Mapping*, *Target Value Design*, *5S*, *Integrated Project Delivery*, *Choosing by Advantages*, and *Kanban*, adding 201 mentions of the 254 totals. Based on the previous results, which correspond to the lean tools most related to Lean Construction worldwide, an application guide was developed which integrates continuous improvement methodologies to help construction companies, mainly, to develop their constructive processes simpler and more practical.

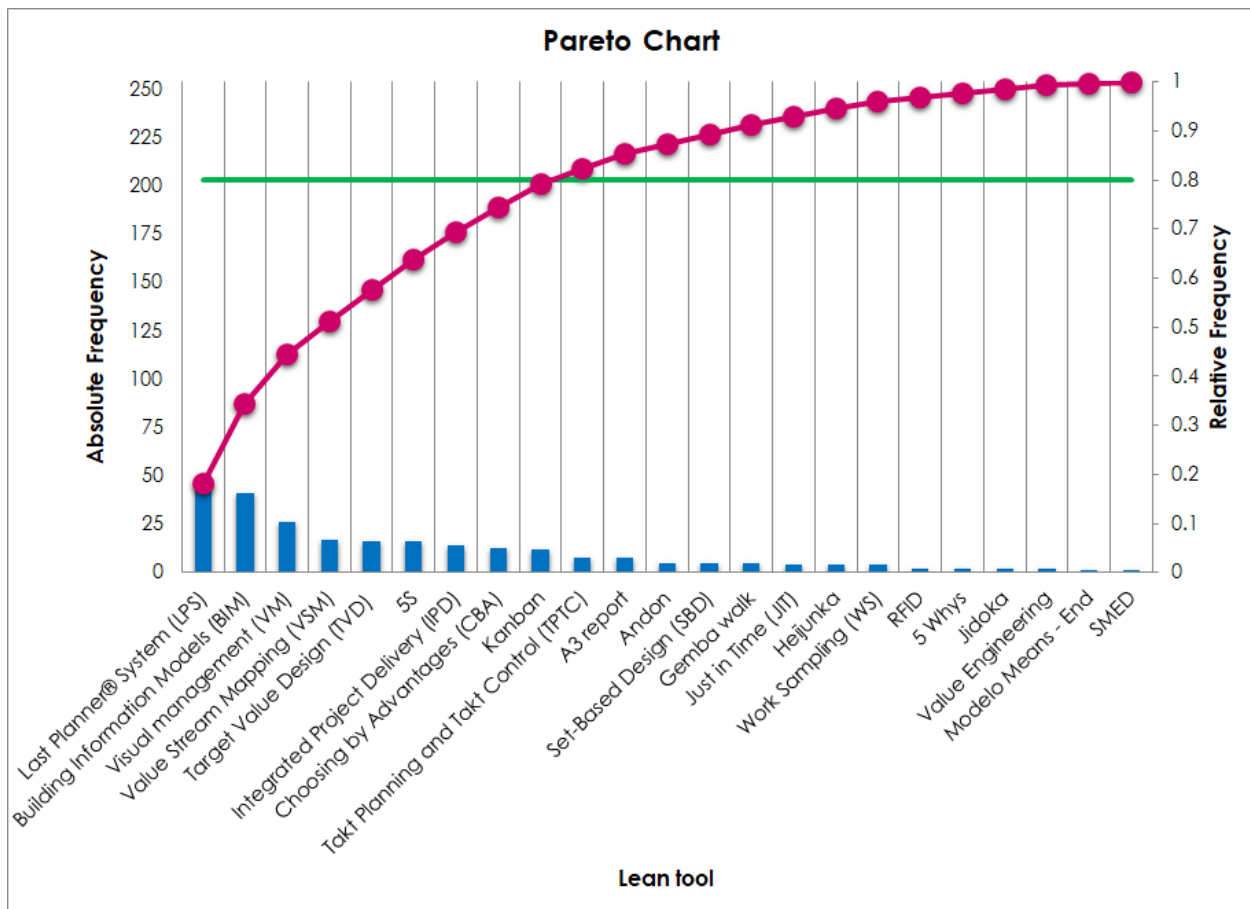


Figure 7. Pareto Chart of lean tools.

3.3.2. Application of Lean Tools in Construction Supply Chain

Although all the tools apply for use in construction companies, there are some that involve suppliers directly, integrating them into its use, such as BIM for calculating quantities and negotiating materials or reviewing delivery logistics when the conditions are particular in the building site, VM in the access routes to the building sites and to the warehouses with clear and precise indications for the drivers and unloading personnel, VSM to generate the present and future state maps and make improvements related to the dispatches, TVD to review market prices and negotiate to calculate the target cost, IPD because the concept of this tool itself involves the teamwork of all stakeholders, and CBA to evaluate supplier offers.

Similarly, although all the tools are indirectly focused on eliminating waste and delivering greater added value to customers, some tools involve them directly, such as VSM if the activities analyzed are the last ones before delivery to clients, IPD by the concept of this tool, TVD because this tool allows lean companies direct their business from the value of the customer, so start by working closely with them, trying to understand their needs and how the company can create more value for them (See Table 6).

Table 6. Applicability of each lean tool in main actors of the supply chain.

	SUPPLIERS	CONSTRUCTION COMPANIES	CUSTOMERS
Last Planner® System (LPS)		X	
Building Information Models (BIM)	X	X	
Visual management (VM)	X	X	
Value Stream Mapping (VSM)	X	X	X
Target Value Design (TVD)	X	X	X
5S		X	
Integrated Project Delivery (IPD)	X	X	X
Choosing by Advantages (CBA)	X	X	
Kanban		X	

In the same way, each lean tool is versatile and can be used in different processes in a construction company, as seen in Table 7, in which only some of the areas of the construction works are mentioned.

Table 7. Applicability of each lean tool in different processes of a construction company.

	Industrial Safety	Costs control	Designs	Programming	Purchasing	Logistics
Last Planner® System (LPS)	X			X	X	X
Building Information Models (BIM)		X	X	X	X	X
Visual management (VM)	X					X
Value Stream Mapping (VSM)	X			X	X	X
Target Value Design (TVD)		X			X	
5S	X					X
Integrated Project Delivery (IPD)	X	X	X	X	X	X
Choosing by Advantages (CBA)		X			X	
Kanban	X			X		X

3.3.3. Content and Interface of LC APP Guide

The application guide based on continuous improvement methodologies, whose name is LC APP (Lean Construction Application), takes as starting point the lack of planning and the interest in improving processes and avoiding over-processing in the most critical construction phases, as well as the need for stakeholder immersion in decision-making, and the application of tools not only for construction companies but also for customers and suppliers.

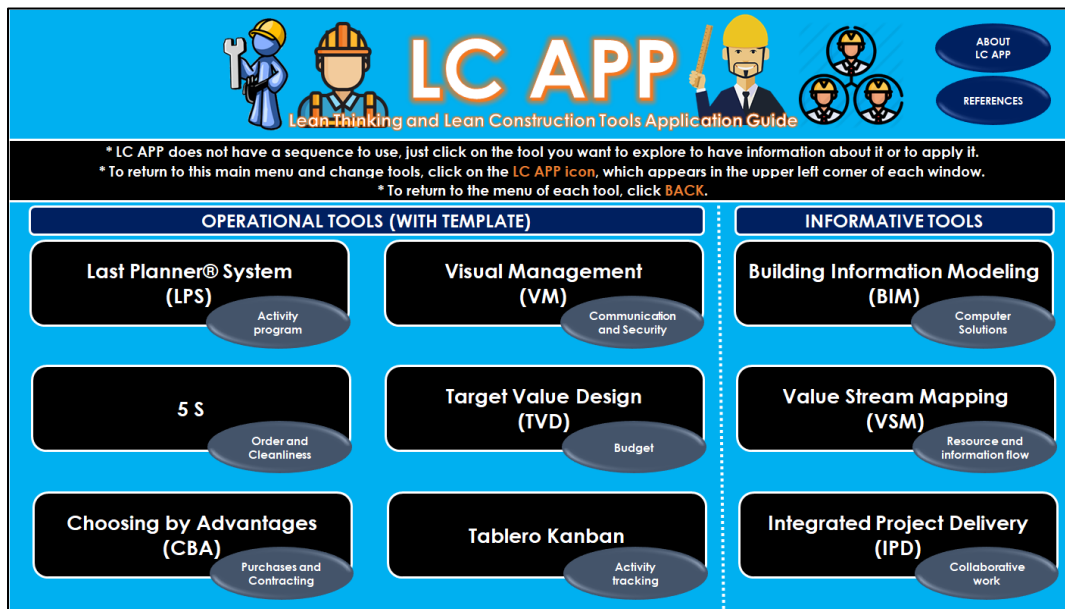


Figure 8. LC APP tool start interface.

For the design of the tool, it was thought that it would be easy to access and use for any worker of a large or small construction company, for this reason its design was developed in spreadsheets Microsoft Excel version 2016.

Figure 8 shows the main menu of LC APP, with nine buttons, one for each lean tool, with the general indications for its handling.

The nine lean tools are classified between “Operational tools” and “Informative tools”, because some are designed to be practiced directly from a template, and others only for information so that the user knows what the tool is, how it should be implemented, and the most important aspects of each one.

In addition to this, in the main menu, next to each lean tool, its main use is seen in an oval, so that the user can identify which aspect can be improved with its implementation. Table 8 summarizes the waste that impacts the use of each lean tool in LC APP.

Table 8. Relation between LC APP lean tools, use, and type of waste.

LEAN TOOL	USE	WASTE						
		REPROCESSES	OVERPRODUCTION	INVENTORIES	MOVEMENTS	TRANSPORTS	DELAYS	DEFECTS
Last Planner® System (LPS)	Activities program. Workflow.	X	X	X		X	X	
Building Information Models (BIM)	Computer Solutions. Designs. Calculation of quantities and costs.	X		X		X	X	X
Visual management (VM)	Internal and external communication. Industrial Security. Order.	X					X	X
Value Stream Mapping (VSM)	Flow of resources and information.			X	X	X	X	
Target Value Design (TVD)	Budgets. Cost control.	X		X				
5S	Order and cleanliness.	X		X	X	X	X	X
Integrated Project Delivery (IPD)	Collaborative work.	X	X	X			X	X
Choosing by Advantages (CBA)	Purchases. Contracting.	X					X	
Kanban Dashboard	Internal communication. Activities monitoring.	X	X	X		X	X	X

3.3.3.1. Last Planner® System (LPS) Interface: In this section the person in charge of managing the tool will find five buttons that will guide him to make a good planning of time and resources with the proper use of Last Planner® System. Figure 9 shows the menu of Last Planner® System module.



Figure 9. Last Planner® System button menu.

In the first button "Pull session", there is a format to develop the initial meeting, where the basic information of the project and data of the meeting are registered, a commitment of the interested parties to contribute in all that is required for the execution of the project, and the information of the stakeholders. This document must be printed and signed by all attendees.

The second button is "Master Program", which a Gantt Chart of the project seen in the long term will be generated. It is made up of each of the project activities, but the breakdown of activities is not as detailed or rigorous. In this program, tasks are grouped and divided into phases or stages; work sequences, task dependencies, milestones, deadlines, and clearances are shown. The idea is that whenever there are any changes that alter the long-term programming, this sheet will be updated.

The person in charge of leading Last Planner® must enter the list of activities in the tool together with their expected start date and end date, and with the duration of the activities the schedule graph is generated. Currently this programming is developed in software such as Microsoft Project, which facilitates the organization and display of information. For this reason, it is assumed that construction companies have this information in advance in any software and they can easily export it to Excel.

The third button is "Intermediate programming or lookahead", which corresponds to a period of six weeks generally, and must be reviewed weekly, that is, each week the following six weeks must be examined. Intermediate schedule is of great importance because it is there that the activities that can really be done are identified, as well as the restrictions that can generate delays in project execution.

The first thing to do is enter the information: the list of activities, scheduled start and end dates for each activity, and the start date from which you want to review the six weeks, the above by accessing the "Import information" button.

After this, when returning to the initial screen of the intermediate schedule, which corresponds to the inventory of executable work, the information is automatically filtered and only the list of activities to be carried out in the next six weeks appears.

In the weekly works committees, each of the medium term activities should be reviewed and analyzed if there are restrictions to execute them at that moment. Constraints are classified into categories such as workforce, materials, design, equipment and tools, and prerequisites or external factors. If there is a constraint, it is identified what type it is and it is marked with an X, and the link to go to the analysis of restrictions appears in the last column. Otherwise, if there are not restrictions, it appears that the activity is ready to run and therefore will not present any delay (See Figure 10).

LC APP INTERMEDIATE SCHEDULE - LOOKAHEAD PROGRAMMING										
INVENTORY OF EXECUTABLE WORKING										
IMPORT INFORMATION		GENERATE GANTT CHART		RETURN		ANALYZED TIME PERIOD: 5/07/2020 to 14/08/2020				
PROJECT: BAVIERA				PROJECT MANAGEMENT: JAVIER CERON				WEEK:		
No.	ACTIVITY	DATE		CONSTRAINTS					STATE	
		START	END	WORKFORCE	MATERIALS	DESIGN	EQUIPMENT AND TOOLS	PREREQUISITES OR EXTERNAL FACTORS	ACTIVITY READY TO PERFORM	GO TO RESTRICTIONS ANALYSIS
1	Wall - Slab 3	9/07/2020	24/07/2020		x				NOT	YES
2	Wall - Slab 4	27/07/2020	11/08/2020						YES	-
3	Wall - Slab 5	12/08/2020	27/08/2020			x			NOT	YES
									YES	-

Figure 10. LC APP intermediate programming interface.

In the link “Go to restriction analysis” the activities that are not ready to run appear, the purpose is to find the root cause of each one to solve them and that everything is available in the time that it is really required. In the last columns, the action plan is filled out and it is followed up at each weekly meeting until it is liberated.

The fourth button is the "Weekly Work Plan". Here are registered the activities that must be carried out during the week and which will make them follow up at the beginning and end of the week. The activities that are reviewed in the weekly schedule are part of the inventory of executable work. At this point, the progress of each activity is reviewed in terms of quantities (m³, m², Kg, apartment units, etc.), and its fulfillment will determine the percentage plan completed or PPC, a key indicator of weekly progress. The PPC is calculated when progress is recorded, and in non-compliance activities the cause of non-compliance must be determined and corrected as soon as possible.

You can review the evolution that PPC has had week by week in the button "See evolution of PPC", the ideal is that it is close to 100% or it tends to grow. At each weekly meeting the PPC must be registered to save the historical data and the diagram will be updated.

In the same way, in the weekly works committees the evaluation of the contractors must be made according to criteria such as compliance, quality, commitment, industrial safety, environmental management, among others that

are considered necessary (See Figure 11). LC APP is designed to rate from 0 to 100, with semaphore color scales, which can be modified by each user according to what they consider necessary depending on the organization's policies; likewise, the weighting of each factor can also be modified based on interest to determine the weekly rating of each contractor. In the button "Review criteria" is the base information to qualify each criterion and not do it subjectively.

LC APP WEEKLY WORK PLAN																											
CONTRACTORS EVALUATION																											
PROJECT: BAVIERA				PROJECT MANAGEMENT: JAVIER CERON																							
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">PLANNING PERIOD</th> <th rowspan="4">WEEK</th> </tr> <tr> <td>INITIAL DATE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FINAL DATE</td> <td></td> </tr> <tr> <td>REGISTRATION DATE</td> <td></td> </tr> </table>				PLANNING PERIOD		WEEK	INITIAL DATE		FINAL DATE		REGISTRATION DATE		<table border="1"> <tr> <th>QUALIFICATION</th> <th>RANGE</th> </tr> <tr> <td>GOOD</td> <td>85-100</td> </tr> <tr> <td>REGULAR</td> <td>61-84</td> </tr> <tr> <td>BAD</td> <td>0-60</td> </tr> </table>	QUALIFICATION	RANGE	GOOD	85-100	REGULAR	61-84	BAD	0-60	<table border="1"> <tr> <td>WEEKLY PPC</td> <td>67.14%</td> </tr> </table>	WEEKLY PPC	67.14%	<table border="1"> <tr> <td>RETURN</td> </tr> <tr> <td>REVIEW CRITERIA</td> </tr> </table>	RETURN	REVIEW CRITERIA
PLANNING PERIOD		WEEK																									
INITIAL DATE																											
FINAL DATE																											
REGISTRATION DATE																											
QUALIFICATION	RANGE																										
GOOD	85-100																										
REGULAR	61-84																										
BAD	0-60																										
WEEKLY PPC	67.14%																										
RETURN																											
REVIEW CRITERIA																											
CONTRACTOR	CONTRACTED ACTIVITY	CRITERIA					TOTAL																				
		COMPLIANCE (PPC)	QUALITY	COMMITMENT	INDUSTRIAL SAFETY	ENVIRONMENTAL MANAGEMENT																					
		30%	20%	15%	20%	15%																					
CONTRACTOR 1	CEILING	100	3	25	85	60	60.35																				
CONTRACTOR 2	MASONRY	70	75	80	100	90	81.5																				
CONTRACTOR 3	PAINTING	69	99	85	12	50	63.15																				
CONTRACTOR 4	STRUCTURE	10	15	20	25	30	18.5																				

Figure 11. LC APP contractor evaluation module.

Finally, there is the button for "Daily Schedule", which is made up of the most detailed activities that have been previously analyzed and made feasible, and which one by one will achieve the execution of the master program.

In this button, at the beginning of each working day, Construction Manager must record the activities and amounts scheduled for the day, the person in charge, make the five-minute meeting with the work team, share this information with them, and at the end of the day assess compliance, and conclude what is pending for the next day.

3.3.3.2. Building Information Models (BIM) interface: This tool, meanwhile, is an informative guide that allows the user to learn more about BIM, what is its functionality, its advantages, its use, what process it follows, what is the current situation of BIM in the world, some success stories in Colombia, and additional different BIM software options that can be used for design, management, programming, budgeting, and quantities of work, among others, depending on what you want to use.

3.3.3.3. Visual Management (VM) Interface: This tool is useful in all construction phases and in LC APP it has three buttons in which it presents conceptual information of visual management to understand its importance, some examples of applications in construction sector, and additional, it presents a check list for the user to evaluate different visual management conditions in certain areas of the building sites, and in different critical activities, framed in this continuous improvement tool.

3.3.3.4. Value Stream Mapping (VSM) Interface: Like BIM, this tool presents in a clear way for the user the bases and preliminary concepts for its implementation, is an informative tool.

This tool has three buttons in which the interested is contextualized with the basic concepts of VSM, the detailed step-by-step of the elaboration of a present and future VSM is presented, with an example for each stage (See Figure 12), and finally the different symbols that can be used in its layout are exposed.

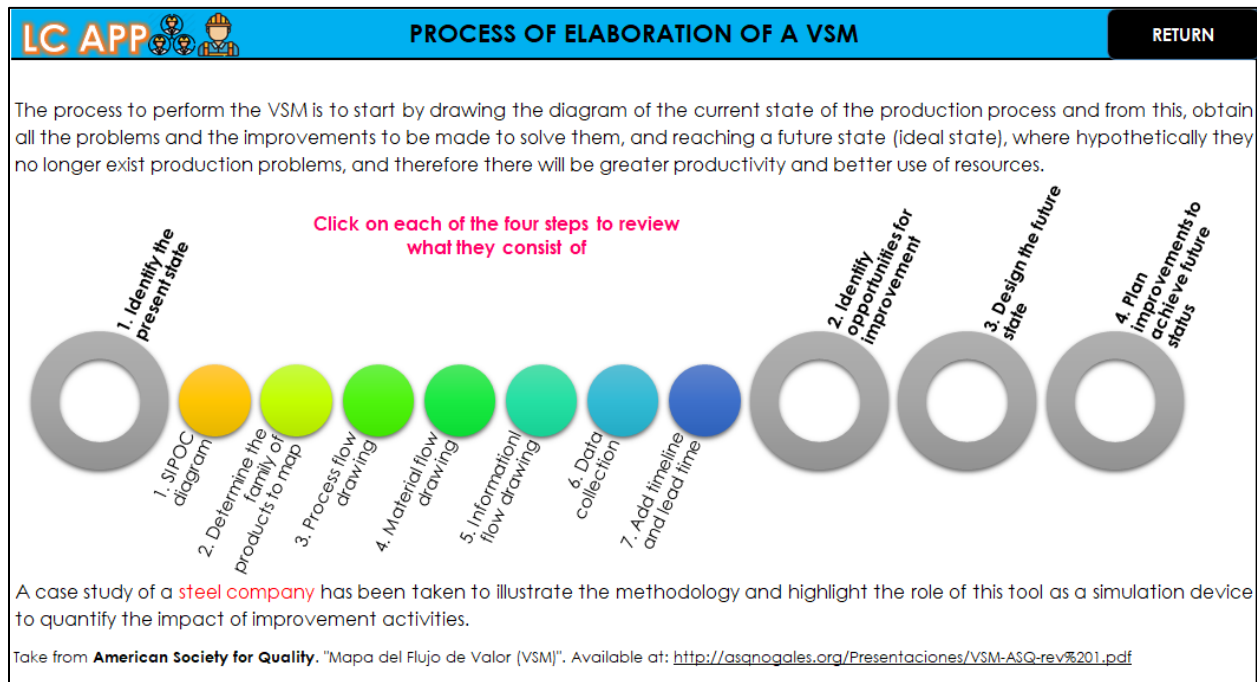


Figure 12. LC APP VSM process interface.

3.3.3.5. Target Value Design (TVD) Interface: In this lean tool, the user can work the budgets of the different construction phases to reach the target cost. The objective of using this tool is to follow up of the costs executed until the objective costs are achieved and not exceed them as much as possible.

The user must insert in this button the preliminary costs of the materials, the workforce contracts, all cost contracts of the activity to be analyzed, and other indirect manufacturing costs, the information of total consumption for said activity, and the profit that is desired to have (in percentage or in monetary units).

3.3.3.6. 5S Interface: This tool can be applied by the user to evaluate any workplace or activity of any construction phase through 7 buttons: one for each S, one in which the global results are presented, and another for the resulting action plans. For each of the five S, a check list is presented to evaluate the current conditions of classification, order, cleanliness, standardization and discipline of the process to be analyzed, by means of a qualification of whether or not it meets each parameter.

After evaluating each component of 5S, the scores for each S, the overall rating, and the resulting action plans are compiled in the "Results" button. The diagrams of the disaggregated results of the 5S audit, the traceability of the audits month by month or according to the defined periodicity, and the traceability of each S also appears (See Figure 13).

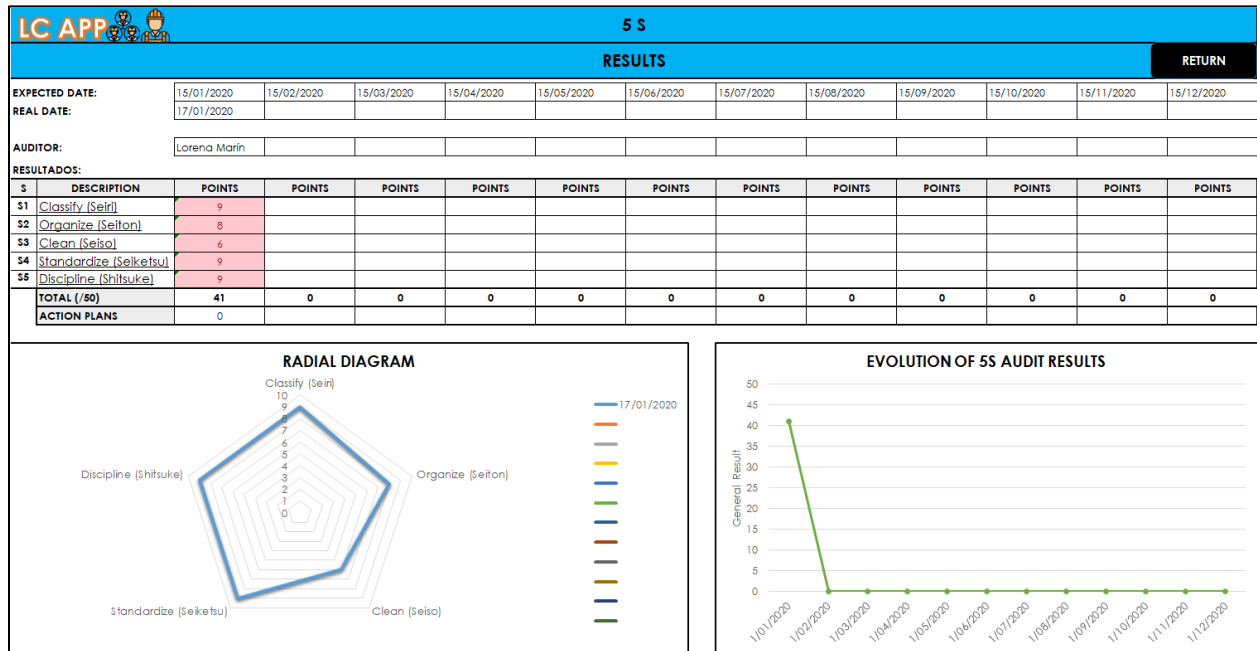


Figure 13. LC APP results of the 5S audits interface.

Finally, the "Action Plans" button presents the items that did not achieve a good grade and that must follow the PDCA cycle so as not to present nonconformities.

3.3.3.7. Integrated Project Delivery (IPD) Interface: This lean tool is presented for informational purposes to explain to the user the importance of collaborative contracts and that all parties involved must really participate in all stages of the construction project for it to be successful, which is immersed, for example, in the Pull Session of the LPS, in the elaboration of the budget in the TVD, in the use of BIM, and in the application of VM.

3.3.3.8. Choosing by Advantages (CBA) Interface: Through this tool, the user is shown the scheme that is handled in a CBA exercise, and everything is programmed so that when entering up to five alternatives and up to five factors and criteria, together with the attributes, advantages, and numerical valuation, the best option in terms of qualification and cost is highlighted; the cost vs. the importance of the advantages is also drawn, and the decision can be objectively taken (Figure 14).

LC APP CHOOSING BY ADVANTAGES

PROCESS / DECISION:

ABOUT CBA STEP BY STEP RETURN

KEY CONCEPTS SEE AN EXAMPLE

INSTRUCTIONS:

1. Type the available alternatives, in the cells highlighted with light orange (You can enter up to 5 alternatives)
2. Type the factors, identified as F1, F2, F3, F4 and F5 (You can enter up to 5 factors)
3. Type the criteria for each factor, identified as C1, C2, C3, C4 and C5
4. Type the attributes of each alternative for each factor, identified as "Atr"
5. Define the advantage of each attribute for each factor according to the chosen criteria, identified as "Vt"

FACTOR (CRITERION)	ALTERNATIVES				
	1	2	3	4	5
F1:	Atr:	Atr:	Atr:	Atr:	Atr:
	Vt:	Vt:	Vt:	Vt:	Vt:
C1:					
F2:	Atr:	Atr:	Atr:	Atr:	Atr:
	Vt:	Vt:	Vt:	Vt:	Vt:
C2:					
F3:	Atr:	Atr:	Atr:	Atr:	Atr:
	Vt:	Vt:	Vt:	Vt:	Vt:
C3:					
F4:	Atr:	Atr:	Atr:	Atr:	Atr:
	Vt:	Vt:	Vt:	Vt:	Vt:
C4:					
F5:	Atr:	Atr:	Atr:	Atr:	Atr:
	Vt:	Vt:	Vt:	Vt:	Vt:
C5:					
TOTAL					
COST					

Figure 14. LC APP CBA tool interface.

As well, from that window, you can access to different buttons with key information about CBA, the concepts that must be clear to do the decision-making exercise well, the step-by-step process that should be followed in case there is any doubt, and an example to have a guide.

3.3.3.9. Kanban Dashboard Interface: When you press this button, a board appears simulating to have several post its located in three columns, which can be moved to indicate the activities that are about to be done, that are being done and have already been done.

LC APP KANBAN DASHBOARD

RETURN

Fill in the cards and move them between the "REQUEST", "IN PROGRESS", and "DONE" columns as the activity unfolds.

REQUEST	IN PROGRESS	DONE
Task Responsible	Task Responsible	Task Responsible
Task Responsible	Task Responsible	Task Responsible
Task Responsible	Task Responsible	Task Responsible
Task Responsible	Task Responsible	Task Responsible

Figure 15. LC APP Kanban Board tool interface.

This lean tool is participatory and encourages communication among all members of the work team by visually notifying what is pending and what should be running.

In this button you can access more information about Kanban boards and recommendations to be taken into account so that the misuse of the tool does not play a trick (See Figure 15).

3.4. VALIDATION OF LC APP GUIDE

The validation process of LC APP guide for the implementation in construction of housing projects in Bogotá D. C. was carried out by preparing a questionnaire for the collection of information by three groups of evaluators (See Appendix). The surveys were developed to 24 professionals, individually, to determine if LC APP is functional, clear, simple and appropriate for construction sector.

The first group of evaluators groups subjects that would directly handle the guide, all the modules, as is the case of construction managers and senior residents of structure and finishes (engineers and architects).

A second group includes other professionals who would use some of LC APP tools, such as logistics residents (warehouse managers), comptrollers, programmers, and occupational health, safety and environmental inspectors.

Finally, the guide is also validated with a third group: professionals who will not directly handle the application guide, as is the case with project managers, but who will monitor its implementation; and additionally, the opinion of professionals who are not directly on construction sites but who are part of the construction companies was also requested, as is the case of a designer, a planner, an internal control auditor, a contracting manager, a management coordinator, a purchasing manager and equipment area resident.

The qualitative perception survey is descriptive and has nine questions, between closed multiple choice and dichotomous. Likewise, an additional space was left for observations and suggestions, which served as feedback for each of the lean tools.

3.4.1. Results

Regarding the first question, about a previous idea of Lean Thinking, Lean Construction or lean tools in general, 58% of the respondents stated that they had a notion or knowledge of these approaches, while the remaining 42% did not know information about this. Reviewing the position and profession of those who did not know about lean, there are architects, industrial safety inspectors, and civil engineers, who carry out administrative positions and not are outside in building sites. It is therefore important to extend this knowledge to all positions related to construction sector, not only to personnel who work directly on construction sites, nor only to civil engineers.

As to questions 2 and 3, about the ease of handling LC APP guide and, if after reviewing and exploring the application they consider it as a guide for continuous improvement in construction sector, 100% of the respondents answered affirmatively both questions, corroborating that guide is aligned with continuous improvement and that it is easy to use and functional, being able to understand the purpose of the tools without having prior knowledge of lean.

About lean manufacturing waste, the majority of respondents thought that the use of LC APP could significantly reduce delays (92%), reprocesses (83%) and

inventories (79%). However, it would also have an impact in the reduction of defects or errors (54%), in the reduction of underutilized personnel (50%), unnecessary transportation (29%) and repetitive or excess movements (28%). Respondents estimated that overproduction has the least impact on the LC APP with only 17% of opinions.

Relating to the optimization of resources of the companies in which LC APP is implemented, 100% of surveyed opined that time and money would be saved by implementing these tools with discipline, in order to anticipate situations and act early; for 75% of respondents, construction materials would be optimized by avoiding waste, reprocessing, or unnecessary purchases due to bad planning; for half of the professionals, companies would have better human resource management considering that with a better organization of tasks, with BIM software, with reduction of accidents and incidents through visual management and 5S, and with internal communication systems such as Kanban dashboards, collaborators would have more time to focus on the next tasks to do to avoid problems, and they would not spend time supervising rework, corrections, and reviewing problems that could have been avoided by planning.

Concerning the stakeholders that would benefit from the use of LC APP, for 92% of surveyed, the beneficiaries would be the final customers of the housing and the construction companies, because customers would receive their home on time and with fewer errors and pending details, and construction companies would reduce activities that do not add value to the clients, also would introduce continuous improvement in their processes and would focus on global processes to provide more effective solutions. 83% of respondents think company employees would be favored by reducing their leisure time related to unnecessary transportation, inspections, waiting and reprocessing. According to the respondents' perception, 71% and 67% believe that contractors and suppliers, respectively, would also benefit from participating in tools such as Last Planner® System, BIM, Value Stream Mapping, Integrated Project Delivery and Choosing by Advantages. This confirms that the main actors in construction supply chain would have a positive impact, therefore, the entire chain would improve.

On the other hand, all respondents stated that they would be willing to use the guide to check its usefulness in the processes or areas of their interest, and additionally, the application guide is considered 100% satisfactory for use in high value housing projects. The above was argued by a construction Manager because in this type of housing the finishes are finer, the areas are broader and the level of detail is more rigorous, therefore, the materials are more expensive, more exclusive, and any reprocessing, delay, or failure that occurs in the construction process has a high impact on cost.

Finally, 83% of the respondents consider that implementation of LC APP in their daily work will not generate extra activities or additional time to their regular workday, while 17% do consider that due to the unexpected eventualities of the day to day may be an additional load and may not be handled with sufficient commitment.

Most respondents reported positive feedback after exploring the guide. The general comments were that LC APP is a good contribution to start implementing lean in construction sector and to learn more about this philosophy in the company; it includes several axes that must be taken into account when carrying out a construction project such as budgets, schedules, material and information flows, industrial security, inventories, layout, among others; it improves internal communication between all members of the work team by having clear objectives to be met, and activities to be carried out in the short, medium and long term; it can be applied in all construction phases; it provides clear and graphical indicators, which makes it easy to monitor commitments; it offers precise theory to know beforehand information from the nine lean tools; it encourages the participation of all members of the work team; it being in Microsoft Excel is an advantage because everyone knows how to use this program; and finally that the guide design is dynamic and eye-catching.

Some respondents emphasized that in Last Planner® System and Kanban Dashboard tools, it can be difficult to record information daily, so it is very important that there is a level of commitment and this practice becomes a habit. In principle, there could be a leader who guarantees compliance and good management of these tools so that they are successful.

As suggestions, the respondents proposed ideas to improve the application guide so that historical records can be saved; include more lean tools focused on industrial security; pending activities or non-conformities of each module could appear on Kanban dashboard automatically; include balance lines in Lookahead programming of the LPS; use the Kanban dashboard in some online software (for example the Trello platform); generate a template to implement VSM; in the IPD module include strategies to generate collaborative contracts; and in the TVD module devise an alarm that will be activated when is about to hit the target cost. All this allows future research to be carried out perfecting the guide.

3.5. CONCLUSIONS

Construction sector in Colombia is one of the main axes of the country's economy, therefore, it is necessary to review and improve the management systems that are implemented in this sector. One of these is Lean Construction with which activities that do not add value can be identified and eliminated from the construction process.

As evidenced in this research, the lack of information regarding approaches such as Lean Thinking and Lean Construction in construction sector, makes the professionals linked to this economic activity manifest that the way in which they conceive and manage the projects must be improved. The proposed technological guide contains various lean tools that provide solutions to schedules, budgets, workflows, choice of suppliers and contractors, industrial security, among others; and allows analyzing and improving the value chain of

construction companies, reducing losses and reprocesses in different construction phases.

This research provides a useful, dynamic, and easy-to-use application guide for the identification of problems and waste in the construction housing in Bogotá, because it contains lean tools that facilitate the taking of corrective and preventive measures, which help to improve the critical processes of the construction phases, and promote an integration between construction managers, collaborators, contractors, suppliers, investors, and other stakeholders.

Proper management of contractors and suppliers is important to optimize the performance of the supply chain, and a key advance is to include them in the proposed continuous improvement actions. The application guide offers the option of involving them to have win-win negotiations and strengthen commercial ties, a sense of belonging, and loyalty of suppliers and contractors with organizations. Likewise, each of the lean tools adopted is based on satisfying customer requirements and exceeding expectations about the product is being offered (apartments), thus also linking this agent with the construction of the project.

For the proper application of the guide in the construction process, it is necessary to understand the added value of adopting this approach in order to transmit it directly to the organizational culture of the company, and that each collaborator involved in the process acquires the commitment to strengthen it in their daily activities, and in this way understand the usefulness of the lean tools and techniques to comply with the principles proposed by each one.

Conducting trainings as a formation process for the implementation of the new system is the beginning of the changes that can be managed to successfully implement the development of the application guide and improvements to it.

3.6. REFERENCES

- Alarcón, L.F. (2011). La gestión de la Obra desde el Último Planificador. *Revista de Obras Públicas*. Colombia. 3518 (158): 1-9.
- Ballard, G. (2000). The last planner system of production control. A thesis submitted to the faculty of Engineering of the University of Birmingham. Faculty of Engineering, The University of Birmingham.
- Ballard, G. (2011). Target Value Design: Current Benchmark (1.0). *Lean Construction Journal 2011*: 17-84.
- Bancolombia Business Group. (2019). Panorama y evolución del sector de la construcción en Colombia. Available at: <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/sector-construccion-colombia-2019/panorama-evolucion-sector-construccion> [Accessed on 28 April 2020].
- Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) and Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2016). Proyecto de Investigación del sector de la construcción de edificaciones en Colombia. Colombia. Available at:

- <https://camacol.co/sites/default/files/documentos/Proyecto%20Investigativo%20del%20Sector%20de%20la%20Construccion.pdf> [Accessed on 6 April 2020].
- Capasso, C. (2010). *El Costeo Objetivo*. Buenos Aires. Buenos Aires University. Available at: <https://cdmconsulting.files.wordpress.com/2011/11/target-costing-o-costo-objetivo.pdf> [Accessed on 1 April 2020].
- Castiblanco, F. M., Castiblanco, I. A., and Cruz, J. P. (2019). Qualitative Analysis of Lean Tools in the Construction Sector in Colombia. In: *Proc. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC)*. Dublin, Ireland, 3-5 Jul 2019. 1023-1036.
- Construdata magazine. (2020). BIM / VDC en la gestión moderna de proyectos PMI - PMBOK Parte 1. Diseño y planificación BIM. No. 193. December 2019-February 2020. p. 39.
- Dave, B., et al. (2013). *Implementing Lean in Construction: Lean construction and BIM. CIRIA C725*. Londres.
- Díaz, D. (2007). Aplicación del sistema de planificación "Last Planner" a la construcción de un edificio habitacional de mediana altura. Memoir to apply for the Title of Civil Engineer. University of Chile. Available at: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/diaz_da/sources/diaz_da.pdf [Accessed on 20 February 2020].
- Dinero magazine. (2019). Presidente Duque destacó que el país tuvo el mayor crecimiento en cuatro años. 14 November. Available at: <https://www.dinero.com/pais/articulo/cuanto-crecio-colombia-en-el-tercer-trimestre-de-2019/279092> [Accessed on 26 March 2020].
- El Espectador newspaper. (2019). ¿Qué está pasando con la construcción en Colombia? 4 June. Available at: <https://www.elespectador.com/economia/que-esta-pasando-con-la-construccion-en-colombia-articulo-864229> [Accessed on 26 March 2020].
- Kanbanize. (2020). ¿Qué es un tablero Kanban?. Available at: <https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos> [Accessed on 26 April 2020].
- Lean Construction Institute. (2017). LCI Lean Project Delivery Glossary. Available at: <https://www.leanconstruction.org/learning/education/glossary/> [Accessed on 5 December 2018]
- Lean Construction Institute. (2018). *Integrated Project Delivery. An Action Guide for Leaders*. Available at: https://www.leanconstruction.org/wp-content/uploads/2018/07/IPD_Full-Pass_180603_comp.pdf [Accessed on 28 March 2020].
- Lean Enterprise Institute. (2008). *Lean Lexicon. A graphical glossary for lean thinkers*. Fourth edition. USA
- Lean Project. (2020). *Choosing by Advantages*. Available at: <https://www.leanproject.com/what-we-do/key-components/lean-tools-techniques/choosing-by-advantages/> [Accessed on 3 March 2020].

Pease, J. (2017). Introduction to Target Value Design and the Importance of Setting Targets. Lean IPD website. Available at <https://leanipd.com/blog/5-things-to-consider-when-setting-targets/> [Accessed on 1 April 2020].

Portafolio newspaper. (2020). El sector edificador rompería tendencia y crecería 2% en 2020. 16 February. Available at: <https://www.portafolio.co/economia/el-sector-edificador-romperia-tendencia-y-creceria-en-2020-538159> [Accessed on 26 March 2020].

Zimina, D., Ballard, G., and Pasquire, C. (2012). Target Value Design: using collaboration and a lean approach to reduce construction cost. *Construction Management and Economics* 2012. V. 30: 383-398.

3.7. APPENDIX.

LC APP GUIDE PERCEPTION SURVEY	
Profession: _____	
Position: _____	
1. Have you ever heard of lean tools, lean thinking, or lean construction?	
<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No
2. Do you consider LC APP guide is easy to understand and use?	
<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No
3. Do you consider LC APP guide is a pattern for continuous improvement in construction sector?	
<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No
4. What kind of waste do you think LC APP would reduce? (You can check several options)	
<input type="checkbox"/> Delays	<input type="checkbox"/> Motion
<input type="checkbox"/> Transportation	<input type="checkbox"/> Defects
<input type="checkbox"/> Extra processing	<input type="checkbox"/> Overproduction
<input type="checkbox"/> Inventories	<input type="checkbox"/> Unutilized talent
5. What kind of resources do you think would be optimized with the use of LC APP? (You can check several options)	
<input type="checkbox"/> Time	<input type="checkbox"/> Materials
<input type="checkbox"/> Financial	<input type="checkbox"/> Physical
<input type="checkbox"/> Humans	<input type="checkbox"/> Technological
6. Who do you think would benefit from using LC APP? (You can check several options)	
<input type="checkbox"/> Customers	<input type="checkbox"/> Contractors
<input type="checkbox"/> Construction companies	<input type="checkbox"/> Internal customers (workers)
<input type="checkbox"/> Suppliers	
7. Would you be willing to use LC APP for the processes you think it can apply?	
<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No
8. Do you consider that LC APP is suitable for use in construction of high value housing projects?	
<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No
9. Do you think that using LC APP will increase your workload, or consume more time?	
<input type="checkbox"/> Yes	<input type="checkbox"/> No
If you have any suggestion or comment about LC APP write it below	

Thank you very much for your help	

Figure 16. Model of LC APP guide perception survey.

4. CONCLUSIONES

La industria de la construcción tiene un papel determinante en la economía colombiana por su capacidad de intensificar el ambiente económico, tanto en generación de empleo como en producción. Por esta razón, todas las propuestas de mejora al sector edificador generan un impacto positivo, agregando valor en la economía y en la cadena de abastecimiento del sector. Con respecto al entorno, la sociedad de hoy es más exigente que la de antes, está mejor informada y exige mayor valor agregado, calidad, seguridad y respeto por el medio ambiente, y esto debe ser tenido en cuenta por todas las partes interesadas al utilizar los recursos de dicha sociedad de la manera más eficaz posible para satisfacer sus deseos y necesidades, tanto en la fase de diseño como en la de ejecución de los proyectos, desarrollando una construcción sostenible, y reduciendo así la mayor cantidad de desperdicios posibles.

Respecto al primer objetivo específico, como se evidenció en la revisión del estado del arte, en Colombia el uso de *Lean Construction* no ha tomado mucho impulso comparado con la implementación de esta metodología en otros continentes, o se ha desarrollado en pocos proyectos de manera experimental, sin reproducibilidad de sus resultados. Actualmente esta filosofía se está revisando en cursos de educación continua en las universidades colombianas, y hay algunas empresas que implementan superficialmente esta filosofía de trabajo, y la implementación de algunas herramientas de *Lean Thinking*. Sin embargo, todavía queda mucho por hacer ya que en general este sector sigue teniendo muchos procesos artesanales sin seguimiento, lo que genera que no haya mejora en la eficiencia. La implicación de las universidades y la creación de grupos específicos de investigación que estén en colaboración directa con las empresas puede ser un buen punto de partida, además, revisando los resultados de la consulta de expertos en la primera fase de la metodología, se encuentra una relación directa entre la investigación y los países con mayores niveles de implementación y casos de éxito.

Así mismo, sobre el segundo objetivo específico, con la elaboración del análisis de afinidad se evidenció que en el mundo hay prácticas muy similares, con diferentes nombres, lo que pone de manifiesto la desinformación respecto a *Lean Construction* y la personalización de las herramientas acorde con las necesidades de las industrias en los diferentes países. Por lo anterior es muy importante entender que *Lean Construction* es algo que concierne a todos los implicados en la cadena de abastecimiento, no solo a los cargos de ingeniería de las obras de construcción, por lo cual la capacitación a todos los colaboradores dentro de la jerarquía organizacional de cada empresa es clave para lograr el éxito. De igual modo, después de realizar el análisis de Pareto al estado del arte revisado se encontró como resultado que las herramientas de *Lean Construction* y *Lean Thinking* más implementadas a nivel mundial en la industria de la construcción de vivienda son: *Last Planner® System*, *Building Information Models*, *Visual Management*, *Value Stream Mapping*, *Target Value Design*, *5S*, *Integrated Project Delivery*, *Choosing by Advantages* y *Kanban*.

En la actualidad, el mundo demanda tecnología y conocer las prácticas mundiales económicas se hace esencial para ser más competitivo; el cambio tecnológico se convierte entonces en una herramienta de gran importancia para el crecimiento de las empresas, y por supuesto de la economía; sin embargo, el atraso tecnológico de Colombia en el sector de la construcción es innegable y debe minimizarse la brecha tecnológica con los otros países. Es en este punto en donde se ve el cumplimiento del tercer objetivo específico, y en donde LC APP puede fomentar la mejora continua en las constructoras a través de herramientas *lean* que impulsan la mejora continua y el desarrollo de los procesos de estas organizaciones, minimizando o eliminando desperdicios y optimizando recursos de todo tipo, ya que, incluye herramientas en las que la

empresa revisa lo que se debe hacer, analiza lo que puede hacer y concluye lo que realmente se hará a corto, mediano y largo plazo (*Last Planner® System*); herramientas computacionales para agilizar el trabajo y optimizar los recursos (*Building Information Models*); herramientas de orden y aseo orientadas a reducir incidentes y accidentes de trabajo (*5S* y *Visual Management*); herramientas que hacen seguimiento al presupuesto para no superar los costos objetivos (*Target Value Design*); herramientas que permiten comunicar oportunamente al equipo de trabajo y a los contratistas el estado de las actividades programadas (Tablero *Kanban*); herramientas que diagraman el flujo de los recursos para identificar fuentes de desperdicios (*Value Stream Mapping*); herramientas que facultan la toma de decisiones basadas en la importancia de las ventajas y no solo en los costos (*Choosing by Advantages*); y herramientas que propician una integración de todas las partes interesadas en el desarrollo del proyecto en su totalidad, no solo al inicio (*Integrated Project Delivery*).

En atención al cuarto objetivo específico, al validar la guía de aplicación LC APP con diferentes profesionales del sector se confirmó la claridad y facilidad de su uso, su fácil entendimiento, la disposición de los profesionales para darle la oportunidad de mejorar sus procesos, y su principio de integración y comunicación entre las constructoras, proveedores y contratistas, y otros stakeholders internos en la empresa. Todos afirmaron que propuestas de este tipo, como la guía LC APP contribuyen a la mejora continua (Ver el modelo de la encuesta, junto con los resultados obtenidos en el anexo).

La guía de aplicación propuesta contiene nueve varias herramientas de *Lean Thinking* y *Lean Construction* que brindan diferentes soluciones encaminadas a reducir o eliminar los diferentes desperdicios de la cadena de abastecimiento de la construcción y por consiguiente hacerla más efectiva (eficiente y eficaz), cumpliendo así el objetivo general planteado. Algunas de esas soluciones son: reducir la duración de los proyectos al evitar reprocesos y tiempos ociosos, reducir desperdicios de diferentes recursos, rediseñar los flujos de trabajo, intensificar la gestión visual en las áreas de trabajo, mejorar la seguridad industrial, mejorar la calidad de los diseños y acabados, calcular cantidades y costos desde la fase diseño con herramientas computacionales, desarrollar la flexibilización de actividades, reducir costos, generar estimaciones más apropiadas, reducir los inventarios de materiales y equipos, mejorar la comunicación, controlar el presupuesto, integrar a diferentes agentes de la cadena de valor con la constructora y hacerlos partícipes de las mejoras, crear contratos colaborativos, reforzar la logística en los almacenes, y brindar satisfacción a los clientes.

Finalmente, lo expuesto a lo largo de este trabajo confirma que los resultados que se obtuvieron cumplen con los objetivos planeados en esta investigación, los cuales se desarrollaron en los dos artículos realizados. Al mismo tiempo, esta investigación proporciona información útil sobre algunas de las herramientas que pueden ser utilizadas en la industria de la construcción, y puede servir de precedente para que en futuras investigaciones se implemente la guía de aplicación propuesta en proyectos de vivienda, o se mejore la misma, ya sea con la introducción de otras herramientas *lean* o perfeccionando las nueve ya mencionadas. [Para descargar y explorar la guía LC APP puede seguir el enlace: <https://www.dropbox.com/s/np587kvd1yf15s2/LC%20APP%20actualizado-1.xlsx?dl=0>]

5. RECOMENDACIONES

Es importante acompañar la implementación de la herramienta de un cambio cultural, producido desde la gerencia de las empresas, en este caso las constructoras, y motivar a los colaboradores al manejo de nuevos indicadores operacionales de desempeño y el seguimiento a los mismos, derivados del uso de las herramientas antes mencionadas, por ejemplo, porcentaje de actividades cumplidas, desviación de costos, desviación del cronograma, índice de frecuencia y gravedad de accidentes, efectividad de la planeación, liberación de restricciones, índice de calidad, productividad y cambio de oferta del contrato, no solo quedarse con indicadores de tiempo, calidad y costos.

En la construcción, un factor que dificulta el proceso en sí, es la naturaleza fragmentada de la industria, dada en gran parte por la subcontratación de cada fase constructiva a diferentes agentes, lo que puede constituir una barrera para difundir nuevas formas de pensar y actuar, ya que cualquier agente (contratista) representa una porción pequeña tanto del mercado como de la cadena de valor total. Por lo anterior, realmente el éxito de la aplicación de las herramientas *lean* en la construcción depende en su mayoría de lograr comprometer a todos los stakeholders con interactuar con las otras partes existentes de la cadena de valor durante todo el proceso constructivo, así ellas estén acostumbradas a trabajar con los métodos tradicionales.

Dado lo anterior, para que la aplicación de la guía propuesta tenga resultados favorables se requiere adicionalmente difundir y enseñar las bases conceptuales del *Lean Thinking*, y el uso adecuado de cada módulo de la guía; capacitar a los diferentes actores de la cadena, con especial énfasis en los cargos directivos y gerenciales, que son quienes liderarán su uso; y comenzar su aplicación en proyectos piloto que recién inicia, para tener casos de éxito y hacer mejoras a la guía teniendo en cuenta la adaptación de ésta a las circunstancias, cultura y recursos de cada empresa y/o proyecto.

Como trabajo futuro, se propone realizar propuestas de mejora a la guía LC APP expuesta en este documento, en las que se incorporen nuevas herramientas *lean* y se perfeccionen las nueve ya incluidas. Para el caso de BIM, IPD y VSM se puede considerar no solo dejarlas informativas en cuanto a concepto, importancia y proceso a seguir, sino en generar una plantilla para su ejecución.

Referencias

- Alarcón, L.F. (2011). "La gestión de la Obra desde el Último Planificador". Revista de Obras Públicas. Colombia. 3518 (158): 1-9.
- Alves, T.D.C.L., Azambuja, M.M. and Arnous, B. (2016). "Teaching Lean Construction: A Survey of Lean Skills and Qualifications Expected by Contractors and Specialty Contractors in 2016". Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Boston, USA.
- Araque, G., García, D., and Aguirre, E. (2017). "The Lean Construction methodology and the analysis of losses in the Colombian civil sector: A case study". Actas de Ingeniería. Colombia. (3): 213-221.
- Argos. (2015). Experiencia Lean Construction, caso Arquitectura y concreto. Disponible en: <http://grandesrealidades.argos.co/experiencia-lean-construction-caso-arquitectura-y-concreto/#sthash.J7pcOppI.dpuf> [Consultado 30 Junio 2020]
- Ballard, G. (2000). The last planner system of production control. A thesis submitted to the faculty of Engineering of the University of Birmingham. Faculty of Engineering, The University of Birmingham.
- Ballard, G. (2011). "Target Value Design: Current Benchmark (1.0)". Lean Construction Journal 2011: 17-84.
- Banco Davivienda. (2016). Informe del sector de edificaciones. Enero 2016. Disponible en: <https://www.davivienda.com/wps/wcm/connect/f1864cdb-ba9a-4203-a710-14426dd89e1b/INFORME+EDIFICACIONES+ENERO+2016.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=f1864cdb-ba9a-4203-a710-14426dd89e1b> [Consultado 21 Abril 2020]
- Bancolombia Business Group. (2019). Panorama y evolución del sector de la construcción en Colombia. Disponible en: <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/especiales/sector-construccion-colombia-2019/panorama-evolucion-sector-construccion> [Consultado 28 Abril 2020]
- Bertelsen, S. (2004). "Lean Construction: where are we and how to proceed?" Lean Construction Journal, 1. 46-69.
- Botero, L., Álvarez, M. (2003). "Identificación de pérdidas en el proceso productivo de la construcción". Revista Universidad EAFIT. Colombia. (130): 65-78.
- Botero, L., Álvarez, M. (2004). "Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento)". Revista Universidad EAFIT. Colombia. 40 (136): 50-64.
- Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL). (2014). Informe de gestión 2013. XLVIII Asamblea anual de afiliados 2014. Seccional Bogotá y Cundinamarca. Disponible en: <https://ww2.camacolcundinamarca.co/documentos/informe-GESTION-2013.pdf>
- Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL). (2015). Fundador de Lean Construction entrega reconocimiento a empresas colombianas que implementaron el modelo. Seccional Bogotá y Cundinamarca. Mayo 20, 2015. Disponible en: <https://ww2.camacolcundinamarca.co/382-reconocimiento-lean-construction.html>
- Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL) y Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). (2016). Proyecto de Investigación del sector de la construcción de edificaciones en Colombia. Disponible en:

<https://camacol.co/sites/default/files/documentos/Proyecto%20Investigativo%20del%20Sector%20de%20a%20Construccion.pdf> [Consultado 6 Abril 2020]

Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL). (2018). Panorama de la actividad edificadora en 2018. Proceso de ajuste y características de la recuperación. Estudios económicos. No. 96. Marzo 2018. Pág. 3.

Camargo, E., González, J. (2011). Propuesta de un sistema operativo de gestión basado en la filosofía "Lean Construction" que permita estandarizar las actividades implicadas en el montaje de la estructura metálica de un edificio. Universidad de la Salle. Colombia. 96 p.

Capasso, C. (2010). El Costeo Objetivo. Buenos Aires. Buenos Aires University. Disponible en: <https://cdmconsulting.files.wordpress.com/2011/11/target-costing-o-costo-objetivo.pdf> [Consultado 1 Abril 2020]

Colombian Association of Systems Engineers. (2019). La Importancia de adoptar el Lean Construction. <https://acis.org.co/portal/content/la-importancia-de-adoptar-el-lean-construction> [Consultado 20 Abril 2019]

Cortes, J.P.R., Ponz-Tienda, J.L., Delgado, J.M. and Gutierrez-Bucheli, L. (2018). "Choosing by Advantages; Benefits Analysis and Implementation in a Case Study, Colombia". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.

Cubaque, J. (2014). Diseño de una propuesta para la implementación de la metodología Lean Construcción en una empresa del sector construcción. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia. 18 p.

Cusezar (2016). El sector de la construcción aportará al crecimiento del país en 2015. Septiembre 1, 2016. Disponible en: <http://www.cusezar.com/noticia/El-sector-de-la-construccion-aportara-al-crecimiento-del-pais-en-2015>

Dave, B., et al. (2013). "Implementing Lean in Construction: Lean construction and BIM". CIRIA C725. Londres.

Díaz, D. (2007). Aplicación del sistema de planificación "Last Planner" a la construcción de un edificio habitacional de mediana altura. Memoir to apply for the Title of Civil Engineer. University of Chile. Disponible en: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2007/diaz_da/sources/diaz_da.pdf [Consultado 20 Febrero 2020]

Dlouhy, J., Binninger, M., Weichner, L. and Haghsheno, S. (2017). "Implementation of Lean Construction in Client Organizations - an Analysis of the Status Quo in Germany". Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Heraklion, Greece.

Dlouhy, J., Ricalde, M., Cossio, B. and Januncio, C. (2018). "Large Scale Project Using Takt Planning and Takt Control-Creating and Sustaining Multitasking Flow". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.

El Colombiano. (2018). Construcción: los retos para el segundo semestre. Julio 3, 2018. Disponible en: <http://www.elcolombiano.com/negocios/estos-son-los-retos-del-sector-constructor-para-el-segundo-semestre-de-2018-LN8942386>

El Constructor (2017). Lean Construction: ¿Una nueva tendencia en construcción eficiente?. https://www.elconstructor.com/lean-construction-una-nueva-tendencia-en-construccion-eficiente_4671.html [Consultado 20 Febrero 2019]

El Espectador. (2019). ¿Qué está pasando con la construcción en Colombia? 4 Junio. Disponible en: <https://www.elespectador.com/economia/que-esta-pasando-con-la-construccion-en-colombia-articulo-864229> [Consultado 26 Marzo 2020]

Enshassi, A. and Abu Zaiter, M. (2014). "Implementation of Lean Tools on Safety in Construction Projects in Palestine" In, Kalsaas, B.T., Koskela, L. and Saurin, T.A. Proc. of the 22th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Oslo, Norway.

Etges, B.M.B.D.S., Pereira, B.B. and Silveira, T.J.S.D. (2018). "A Lean Approach to Improve Productivity in a Coke Oven Refurbishment Project: A Case Study". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.

Forero, S., Cardenas, S., Vargas, H. and Garcia, C. (2015). "A Deeper Look Into the Perception and Disposition to Integrated Project Delivery (IPD) in Colombia" In: Seppänen, O., González, V.A. and Arroyo, Proc. of the 23th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Perth, Australia.

Franco, J.V. and Picchi, F.A. (2016). "Lean Design in Building Projects: Guiding Principles and Exploratory Collection of Good Practices". Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Boston, USA.

Gao, S.; Pheng, S. (2014). Lean Construction Management. The Toyota way. Editorial Springer. 389 p

García, O. (2012). Aplicación de la metodología Lean Construction en la vivienda de interés social. Universidad EAN. Colombia. 76 p.

Guevara, J., Ozuna, A., Vargas, H., Prieto, J. and Ramirez, C. (2011). "Promoting Innovation in a Colombian Social Housing Construction Company" In: Rooke, J. and Dave, B., Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Lima, Peru.

Hackler, C., Byse, E., Reed, D. and Alves, T.D.C. (2017). "Building a Lean Culture". Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Heraklion, Greece.

Hatoum, M.B., Mustapha, R.E., Nassar, C., Zaheraldeen, H. and Hamzeh, F. (2018). "Lean Methods to Improve End User Satisfaction in Higher Education Buildings". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.

Herrandiz, S. (2009). Aplicación del lean thinking a la construcción. Tesis de especialización. Universidad Politécnica de Cataluña. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8512/00.pdf>

Hicham, H., Taoufiq, C. and Aziz, S. (2016). "Last Planner® System: Implementation in a Moroccan Construction Project". Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Boston, USA.

Hunt, R.J. and Gonzalez, V.A. (2018). "Innovation in the New Zealand Construction Industry - Diffusion of the Last Planner System". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.

International Technology Network (2013). Seminario Lean Construction. Conferencia llevada a cabo en el congreso ITN. Julio 2013. Disponible en: http://www.academia.edu/6009417/Seminario_Lean_Construction

Kanbanize. (2020). ¿Qué es un tablero Kanban?. Disponible en: <https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos>

Kemmer, S., Biotto, C., Chaves, F., Koskela, L. and Fazenda, P.T. (2016). "Implementing Last Planner in the Context of Social Housing Retrofit". Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Boston, USA.

Lean Construction Enterprise. (2016). Lean Construction. Disponible en: <http://www.leanconstructionenterprise.com/documentacion/lean-construction> [Consultado 10 Octubre 2019]

- Lean Construction Institute. (2017). LCI Lean Project Delivery Glossary. <https://www.leanconstruction.org/learning/education/glossary/> [Consultado 5 Diciembre 2018]
- Lean Construction Institute. (2018). Integrated Project Delivery. An Action Guide for Leaders. Disponible en: https://www.leanconstruction.org/wp-content/uploads/2018/07/IPD_Full-Pass_180603_comp.pdf [Consultado 28 Marzo 2020]
- Lean Enterprise Institute. (2008). Lean Lexicon. A graphical glossary for lean thinkers. Fourth edition. USA.
- Lean Project. (2020). Choosing by Advantages. Disponible en: <https://www.leanproject.com/what-we-do/key-components/lean-tools-techniques/choosing-by-advantages/> [Consultado 3 Marzo 2020]
- Leonova, M., Ballard, G. and Gehbauer, F. (2017). "Strategies That Can Help Transform the Construction Industry". Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Heraklion, Greece.
- Martínez, J. (2011). Propuesta de metodología para la implementación de la Filosofía Lean (Construcción Esbelta) en proyectos de construcción. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. 91 p
- Martinez, E., Tommelein, I.D. and Alvear, A. (2017). "Integration of Lean and Information Technology to Enable a Customization Strategy in Affordable Housing". Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Heraklion, Greece.
- Matta, G., Herrera, R.F., Baladrón, C., Giménez, Z. and Alarcón, L.F. (2018). "Using BIM-Based Sheets as a Visual Management Tool for on-Site Instructions: A Case Study". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.
- Mayring, P. (2014). "Qualitative content analysis: theoretical foundation, basic procedures and software solution". Social Science Open Access Repository. Austria. Disponible en: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-395173> [Consultado 2 Diciembre 2018]
- Mejía-Plata, C., Guevara-Ramirez, J.S., Moncaleano-Novoa, D.F., Londoño-Acevedo, M.C., Rojas-Quintero, J.S. and Ponz-Tienda, J.L. (2016). "A Route Map for Implementing Last Planner® System in Bogotá, Colombia". Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Boston, USA.
- Memon. A., Akhund M., Laghari A., Imad H., and Bhangwar S. (2018). "Adoptability of Lean Construction Techniques in Pakistan's Construction Industry". Civil Engineering Journal. Irán. 4(10). 2328-2337.
- Monyane, T.G., Emuze, F.A. and Crafford, G. (2018). "Identification of Lean Opportunities in a South African Public-Sector Projects Cost Management Framework". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.
- Murguía, D., Brioso, X. and Pimentel, A. (2016). "Applying Lean Techniques to Improve Performance in the Finishing Phase of a Residential Building". Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Boston, USA.
- Narmo, M., Wondimu, P., and Lædre, O. (2018). "Best Value Procurement (BVP) in a Mega Infrastructure Project". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.
- Patel, V.V., Karia, N. and Pandit, D. (2018). "Identifying Value Enhancing Factors and Applicability of Visual Management Tools". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.
- Pease, J. (2017). Introduction to Target Value Design and the Importance of Setting Targets. Lean IPD website. Disponible en: <https://leanipd.com/blog/5-things-to-consider-when-setting-targets/> [Consultado 1 Abril 2020]

- Pons, J. (2014). Introducción a Lean Construction. Fundación Laboral de la construcción. Madrid, España. Vol. 1. 74 p.
- Porras, H., Sánchez, O., Galvis, J. (2014). "Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual". Journal Avances. Investigación en Ingeniería. Colombia. 11 (1). 32-53.
- Portafolio. (2015). Lean Construction va en 18 empresas. Mayo 21, 2015. Disponible en: <http://www.portafolio.co/negocios/empresas/Lean-Construction-18-empresas-32866>
- Portafolio. (2020). ¿El año de la recuperación de la construcción? Abril 9, 2020. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/infraestructura/el-ano-de-la-recuperacion-de-la-construccion-539747>
- Portafolio. (2020). El sector edificador rompería tendencia y crecería 2% en 2020. 16 Febrero, 2020. Disponible en: <https://www.portafolio.co/economia/el-sector-edificador-romperia-tendencia-y-creceria-en-2020-538159>
- Pothen, L.S. and Ramalingam, S. (2018). "Applicability of Value Stream Mapping and Work Sampling in an Industrial Project in India". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.
- Revista Construdata. (2020). "BIM / VDC en la gestión moderna de proyectos PMI - PMBOK Parte 1. Diseño y planificación BIM." No. 193. Diciembre 2019-Febrero 2020. p. 39.
- Revista Dinero. (2015). Aumento de tasas es 'fatal': Constructora Marval. Diciembre 16, 2015. Disponible en: <http://www.dinero.com/edicion-impresas/caratula/articulo/impacto-tasas-interes-colombia-sobre-construccion/217265>
- Revista Dinero. (2018a). Auguran buen futuro para el sector de la construcción en Colombia. Julio 7, 2018. Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion-impresas/informe-especial/articulo/perspectivas-del-sector-de-la-construccion-en-colombia-2018/259814>
- Revista Dinero. (2018b). Constructores piden mayor respaldo para seguir impulsando la economía. Julio 5, 2018. Disponible en: <https://www.dinero.com/edicion-impresas/informe-especial/articulo/aporte-del-sector-de-la-construccion-a-la-economia-colombiana/259815>
- Revista Dinero. (2019). Presidente Duque destacó que el país tuvo el mayor crecimiento en cuatro años. 14 Noviembre. 2019. Disponible en: <https://www.dinero.com/pais/articulo/cuanto-crecio-colombia-en-el-tercer-trimestre-de-2019/279092> [Consultado 26 Marzo 2020]
- Rojas, M., Henao, M., and Valencia, M. (2017). "Lean construction - LC bajo pensamiento Lean". Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Colombia. 16 (30). 115-128.
- Ruiz, A. (2009). Herramientas de calidad: Módulo 7. Universidad Pontificia Comillas Madrid. Disponible en: <http://web.cortland.edu/matresearch/HerraCalidad.pdf>
- Salvatierra, J.L., Alarcón, L.F., López, A. and Velásquez, X. (2015). "Lean Diagnosis for Chilean Construction Industry: Towards More Sustainable Lean Practices and Tools". In: Seppänen, O., González, V.A. and Arroyo, P., Proc. of the 23th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Perth, Australia.
- Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X. and Song, Y. (2017). "Application of Lean Production With Value Stream Mapping to the Blasting and Coating Industry". Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Heraklion, Greece.
- Singh, V. (2018). "Towards Creative Lean (Clean) Construction: From Lean Production to Lean Consumption". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.

Smith, J.P. and Ngo, K. (2017). "Implementation of Lean Practices Among Finishing Contractors in the US". Proc. of the 25th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Heraklion, Greece.

Tezel, A., Aziz, Z., Koskela, L. and Tzortzopoulos, P. (2016). "Visual Management Condition in Highways Construction Projects in England". Proc. of the 24th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Boston, USA.

Theis, P., Tommelein, I. and Emdanat, S. (2017). Use of Takt Planning in Production System Design. Workshop on Takt Planning. UC Berkeley.
<https://www.leanconstruction.org/?s=Use+of+Takt+Planning+in+Production+System+Design>

Torp, O., Knudsen, J.B. and Rønneberg, I. (2018). "Factors Affecting Implementation of Lean Construction". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.

Vrijhoef, R., Dijkstra, J.T. and Koutamanis, A. (2018). "Modelling and Simulating Time Use of Site Workers With 4D BIM". Proc. of the 26th Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Chennai, India.

World Economic Forum. (2018). Incrementemos la productividad en la construcción en Latinoamérica. <https://es.weforum.org/agenda/2018/10/incrementemos-la-productividad-en-la-construccion-en-latinoamerica/> [Consultado 25 Octubre 2019]

Zimina, D., Ballard, G., and Pasquire, C. (2012). Target Value Design: using collaboration and a lean approach to reduce construction cost. Construction Management and Economics 2012. V. 30: 383-398.

Abreviaciones

ACIS:	Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas
BIM:	Building Information Modeling
BVP:	Best Value Procurement
CAMACOL:	Cámara Colombiana de la Construcción
CBA:	Choosing by Advantages
DANE:	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
EAFIT:	Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico
ICONTEC:	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
IGLC:	International Group for Lean Construction
IPD:	Integrated Project Delivery
ITN:	International Technology Network
JIT:	Just in Time
LC:	Lean Construction
LC APP:	Guía de aplicación propuesta, llamada Aplicación de Lean Construction
LCE:	Lean Construction Enterprise
LCI:	Lean Construction Institute
LPS:	Last Planner® System
LPDS:	Lean Project Delivery System
OPA:	Overall Process Analysis
PDCA:	Plan – Do – Check – Act
PIB:	Producto Interno Bruto
PPS:	Pull Planning System
PPC:	Percent Plan Complete
SBD:	Set Based Design
SENA:	Servicio Nacional de Aprendizaje
TPS:	Sistema de Producción Toyota
TPTC:	Takt Planning and Takt Control
TVD:	Target Value Design
VIS:	Viviendas de Interés Social
VM:	Visual Management
VSM:	Value Stream Mapping
WS:	Work Sampling

Apéndices

Referencias de los 84 papers consultados en artículo *QUALITATIVE ANALYSIS OF LEAN TOOLS IN THE CONSTRUCTION SECTOR IN COLOMBIA*

Alves, T., Azambuja, M. & Arnous, B. 2016. 'Teaching Lean Construction: A Survey of Lean Skills and Qualifications Expected by Contractors and Specialty Contractors in 2016' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Arroyo, P. & Valladares, O. 2016. 'Last Planner System: Implementation, Evaluation and Comparison of Results in the Construction of a Social Housing Project in Chile' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Arroyo, P., Tommelein, D. & Ballard, G. 2015. 'Comparing AHP and CBA as Decision Methods to Resolve the Choosing problem in Detailed Design'. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 141, Issue 1. Estados Unidos. (January 2015).

Aslesen, S. & Tommelein, I.D. 2016. 'What “Makes” the Last Planner? A Typology of Behavioral Patterns of Last Planners' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Baladrón, C. & Alarcón, L.F. 2017. 'Assessing the Impact of Lean Methods in Mining Development Projects' In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 137-144.

Barbosa, G., Andrade, F., Biotto, C. & Mota, B. 2013. 'Heijunka System to Level Telescopic Forklift Activities Using Tablets in Construction Site' In: Formoso, C.T. & Tzortzopoulos, P., 21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Fortaleza, Brazil, 31-2 Aug 2013. pp 821-830.

Bataglin, F.S., Viana, D.D., Formoso, C.T. & Bulhões, I.R. 2017. 'Application of Bim for Supporting Decisionmaking Related to Logistics in Prefabricated Building Systems' In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 71-78.

Bhat, V., Trivedi, J.S. & Dave, B. 2018. 'Improving Design Coordination With Lean and BIM, an Indian Case Study' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1206-1216.

Binninger, M., Dlouhy, J., Müller, M., Schattmann, M. & Haghsheno, S. 2018. 'Short Takt Time in Construction – a Practical Study' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1133-1143.

Brandalise, F.M.P., Valente, C.P., Viana, D.D. & Formoso, C.T. 2018. 'Understanding the Effectiveness of Visual Management Best Practices in Construction Sites' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 754-763.

Castillo, T., Alarcón, L.F. & Salvatierra, J.L. 2016. 'Last Planner System, Social Networks and Performance of Construction Projects' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Cortes, J.P.R., Ponz-Tienda, J.L., Delgado, J.M. & Gutierrez-Bucheli, L. 2018. 'Choosing by Advantages; Benefits Analysis and Implementation in a Case Study, Colombia' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 636-646.

Devkar, G., Trivedi, J. & Pandit, D. 2018. 'Teaching Choosing by Advantages: Learnings & Challenges' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1385-1394.

Dlouhy, J., Binninger, M., Weichner, L. & Haghsheno, S. 2017. 'Implementation of Lean Construction in Client Organizations – an Analysis of the Status Quo in Germany' In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 275-282.

Dlouhy, J., Ricalde, M., Cossio, B. & Januncio, C. 2018. 'Large Scale Project Using Takt Planning and Takt Control-Creating and Sustaining Multitasking Flow' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1334-1343.

Dlouhy, J., Wans, S. & Haghsheno, S. 2018. 'Evaluation of Customer Value by Building Owners in the Construction Process' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 199-208.

Ebbs, P.J. & Pasquire, C.L. 2018. 'Make Ready Planning Using Flow Walks: A New Approach to Collaboratively Identifying Project Constraints' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 734-743.

Emdanat, S. & Azambuja, M. 2016. 'Aligning Near and Long Term Planning for Lps Implementations: A Review of Existing and New Metrics' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Emdanat, S., Linnik, M. & Christian, D. 2016. 'A Framework for Integrating Takt Planning, Last Planner System and Labor Tracking' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Emuze, F. & Mathinya, L. 2016. 'Assessing the Feasibility and Use of Target Value Design in South African Construction' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Enshassi, A. & Abu Zaiter, M. 2014. 'Implementation of Lean Tools on Safety in Construction Projects in Palestine' In: Kalsaas, B.T., Koskela, L. & Saurin, T.A., 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Oslo, Norway, 25-27 Jun 2014. pp 1205-1218.

Etges, B.M.B.D.S., Pereira, B.B. & Silveira, T.J.S.D. 2018. 'A Lean Approach to Improve Productivity in a Coke Oven Refurbishment Project: A Case Study' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1112-1121.

Etges, B.M.B.D.S. 2018. 'Value-Adding Activities Level in Brazilian Infrastructure Construction Companies - 9 Cases Study' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1323-1333.

Fernandes, N.B.D.L.S., Valente, C.P., Saggin, A.D.B., Brito, F.L., Mourão, C.A.M.D.A. & Elias, S.J.B. 2016. 'Proposal for the Structure of a Standardization Manual for Lean Tools and Processes in a Construction Site' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Filho, A.N.D.M., Heineck, L.F.M. & Costa, J.M.D. 2016. 'Using Lean to Counteract Complexity' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Forero, S., Cardenas, S., Vargas, H. & Garcia, C. 2015. 'A Deeper Look Into the Perception and Disposition to Integrated Project Delivery (IPD) in Colombia' In: Seppänen, O., González, V.A. & Arroyo, P., 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, Australia, 29-31 Jul 2015. pp 297-306.

Fosse, R. & Ballard, G. 2016. 'Lean Design Management in Practice With the Last Planner System' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Fosse, R., Spitzler, L. & Alves, T. 2016. 'Deploying BIM in a Heavy Civil Project' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Franco, J.V. & Picchi, F.A. 2016. 'Lean Design in Building Projects: Guiding Principles and Exploratory Collection of Good Practices' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Fuenzalida, C., Fischer, B., Arroyo, P. & Salvatierra, J.L. 2016. 'Evaluating Environmental Impacts of Construction Operation Before and After the Implementation of Lean Tools' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Ghossaini, B.M., Dehaini, K.Y., Alruzz, M.A., Eddine, N.A.F. & Hamzeh, F.R. 2018. 'SyncLean: An Application for Improved Lean Construction Practice' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1195-1205.

Guevara, J., Ozuna, A., Vargas, H., Prieto, J. & Ramirez, C. 2011. 'Promoting Innovation in a Colombian Social Housing Construction Company' In: Rooke, J. & Dave, B., 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Lima, Peru, 13-15 Jul 2011.

Haghsheno, S., Binninger, M., Dlouhy, J. & Sterlike, S. 2016. 'History and Theoretical Foundations of Takt Planning and Takt Control' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Hamzeh, F., Kallassy, J., Lahoud, M. & Azar, R. 2016. 'The First Extensive Implementation of Lean and LPS in Lebanon: Results and Reflections' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Harris, B.N. & Alves, T.D.C.L. 2016. 'Building Information Modeling: A Report From the Field' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Hatoum, M.B., Mustapha, R.E., Nassar, C., Zaheraldeen, H. & Hamzeh, F. 2018. 'Lean Methods to Improve End User Satisfaction in Higher Education Buildings' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 187-198.

Herrera, R.F., Mourgues, C. & Alarcón, L.F. 2018. 'Assessment of Lean Practices, Performance and Social Networks in Chilean Airport Projects' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 603-613.

Hicham, H., Taoufiq, C. & Aziz, S. 2016. 'Last Planner® System: Implementation in a Moroccan Construction Project' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Hunt, R.J. & Gonzalez, V.A. 2018. 'Innovation in the New Zealand Construction Industry – Diffusion of the Last Planner System' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 422-431.

Karakhan, A., Gambatese, J. & Rajendran, S. 2016. 'Application of Choosing by Advantages Decision-Making System to Select Fall-Protection Measures' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Kemmer, S., Biotto, C., Chaves, F., Koskela, L. & Fazenda, P.T. 2016. 'Implementing Last Planner in the Context of Social Housing Retrofit' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Koskela, L., Tezel, A. & Tzortzopoulos, P. 2018. 'Why Visual Management?' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 250-260.

Kron, C. & von der Haar, R. 2016. 'Target Costing for the Development of Office Buildings' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Leonova, M., Ballard, G. & Gehbauer, F. 2017. 'Strategies That Can Help Transform the Construction Industry' In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 333-340.

Maia, L.O.D.M., Saggin, A.D.B., Albuquerque, M.M.P. & Mourão, C.A.M.D.A. 2016. 'Analysing the Acceptance of Customizable Attributes: A Case Study of a Construction Company in Fortaleza, Brazil' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Martinez, E., Tommelein, I.D. & Alvear, A. 2017. 'Integration of Lean and Information Technology to Enable a Customization Strategy in Affordable Housing' In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 95-102.

Matta1, G., Herrera, R.F., Baladrón, C., Giménez, Z. & Alarcón, L.F. 2018. 'Using BIM-Based Sheets as a Visual Management Tool for on-Site Instructions: A Case Study' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 144-154.

Mejía-Plata, C., Guevara-Ramírez, J.S., Moncaleano-Novoa, D.F., Londoño-Acevedo, M.C., Rojas-Quintero, J.S. & Ponz-Tienda, J.L. 2016. 'A Route Map for Implementing Last Planner® System in Bogotá, Colombia' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Memon, A., Akhund, M., Laghari, A., Imad, H., & Bhangwar, S. 2018. 'Adoptability of Lean Construction Techniques in Pakistan's Construction Industry'. Civil Engineering Journal Vol. 4, No. 10, October, 2018. Pakistan. Available online at www.CivileJournal.org.

Mollasalehi, S., Fleming, A., Talebi, A. & Underwood, J. 2016. 'Development of an Experimental Waste Framework Based on Bim/Lean Concept in Construction Design' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Monyane, T.G., Emuze, F.A. & Crafford, G. 2018. 'Identification of Lean Opportunities in a South African Public-Sector Projects Cost Management Framework' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1185-1194.

Murata, K., Tezel, A., Koskela, L. & Tzortzopoulos, P. 2017. 'An Application of Control Theory to Visual Management for Organizational Communication in Construction' In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 185-191.

Murguía, D., Brioso, X. & Pimentel, A. 2016. 'Applying Lean Techniques to Improve Performance in the Finishing Phase of a Residential Building' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Narmo, M., Wondimu, P.A. & Lædre, O. 2018. 'Best Value Procurement (BVP) in a Mega Infrastructure Project' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 23-33.

Neto, H.M.M., Costa, D.B. & Thomas, L. 2016. 'Target Value Design Approach for Real Estate Development' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Neto, J.D.P.B. 2016. 'Approach for Bim Implementation: A Vision for the Building Industry' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Oliva, C.A., Granja, A.D., Ballard, G. & Melo, R.S.D. 2016. 'Assessing Suitability of Target Value Design Adoption for Real Estate Developers in Brazil' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Olivieri, H., Seppänen, O. & Granja, A.D. 2016. 'Integrating Lbms, Lps and Cpm: A Practical Process' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Patel, V.V., Karia, N. & Pandit, D. 2018. 'Identifying Value Enhancing Factors and Applicability of Visual Management Tools' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 282-293.

Porras, H., Sánchez, O. & Galvis, J. 2014. 'Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual'. Colombia. Revista Avances: Investigación En Ingeniería, 11(1), 32-53.

Pothen, L.S. & Ramalingam, S. 2018. 'Applicability of Value Stream Mapping and Work Sampling in an Industrial Project in India' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 516-526.

Ravi, R., Lædre, O., Fosse, R., Vaidyanathan, K. & Svalestuen, F. 2018. 'The Last Planner System: Comparing Indian and Norwegian Approaches' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 381-391.

Rendek, A. 2017. 'Re(de)fining Project Delivery With Life Cycle BIM' In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 381-388.

Rojas, M., Henao, M., Valencia, M. 2017. 'Lean construction – LC bajo pensamiento Lean'. Revista Ingenierías Universidad de Medellín. Colombia. Vol. 16, No. 30. pp 115-128.

Rosenbaum, S., Toledo, M., & González, V. 2014. 'Improving Environmental and Production Performance in Construction Projects Using Value-Stream Mapping: Case Study'. Journal of Construction Engineering and Management Vol. 140, Issue 2. Chile. (February 2014).

Rossiti, I.S.M., Serra, S.M.B. & Lorenzon, I.A. 2016. 'Impacts of Lean Office Application in the Supply Sector of a Construction Company' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Rybkowski, Z.K., Munankami, M.B., Shepley, M.M. & Fernández-Solis, J.L. 2016. 'Development and Testing of a Lean Simulation to Illustrate Key Principles of Target Value Design: A First Run Study' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

S, S. & Ch, M.T. 2018. 'Last Planner Implementation in Building Projects' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 840-847.

Sakka, F.E., Eid, K., Narciss, T. & Hamzeh, F. 2016. 'Integrating Lean Into Modular Construction: A Detailed Case Study of Company X' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Salvatierra, J. L., Alarcón, L. F., López, A. & Velásquez, X. 2015. 'Lean Diagnosis for Chilean Construction Industry: Towards More Sustainable Lean Practices and Tools' In: Seppänen, O., González, V. A. & Arroyo, P., 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, Australia, 29-31 Jul 2015. pp 642-651.

Schöttle, A. & Arroyo, P. 2016. 'The Impact of the Decision-Making Method in the Tendering Procedure to Select the Project Team' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Schöttle, A., Arroyo, P. & Haas Georgiev, C. 2017. 'Applying Choosing by Advantages in the Public Tendering Procedure' In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 45-52.

Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X. & Song, Y. 2017. 'Application of Lean Production With Value Stream Mapping to the Blasting and Coating Industry' In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 217-224.

Singh, J., Mangal, M. & Cheng, J.C. 2017. 'IT for Lean Construction - a Survey in India' In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 119-126.

Singh, V. 2018. 'Towards Creative Lean (Clean) Construction: From Lean Production to Lean Consumption' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 952-962.

Smith, J.P. & Ngo, K. 2017. 'Implementation of Lean Practices Among Finishing Contractors in the US' In: 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017. pp 421-428.

Tezel, A., Aziz, Z., Koskela, L. & Tzortzopoulos, P. 2016. 'Visual Management Condition in Highways Construction Projects in England' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Tezel, A., Koskela, L., Tzortzopoulos, P., & Torres, C. 2015. 'Visual Management in Brazilian Construction Companies: Taxonomy and Guidelines for Implementation'. Journal of Management in Engineering Vol. 31, Issue 6. Brazil. (November 2015).

Tillmann, P. & Sargent, Z. 2016. 'Last Planner & Bim Integration: Lessons From a Continuous Improvement Effort' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Tiwari, S., Pawar, G., Luttmann, E., Trujillo, R. & Sreekumar, A. 2018. 'Visual Planning for Supply Chain Management of Prefabricated Components in Construction' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1150-1159.

Toledo, M., Olivares, K. & González, V. 2016. 'Exploration of a Lean-Bim Planning Framework: A Last Planner System and Bim-Based Case Study' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Torp, O., Knudsen, J.B. & Rønneberg, I. 2018. 'Factors Affecting Implementation of Lean Construction' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 1261-1271.

Vatne, M.E. & Drevland, F. 2016. 'Practical Benefits of Using Takt Time Planning: A Case Study' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Vestermo, A., Murvold, V., Svaalestuen, F., Lohne, J. & Lædre, O. 2016. 'BIM-Stations: What It Is and How It Can Be Used to Implement Lean Principles' In: 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, USA, 20-22 Jul 2016.

Vrijhoef, R., Dijkstra, J.T. & Koutamanis, A. 2018. 'Modelling and Simulating Time Use of Site Workers With 4d BIM' In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018. pp 155-165.

Referencias mencionadas en la herramienta LC APP

American Society for Quality. Mapa del Flujo de Valor (VSM). Disponible en <http://asqnegales.org/Presentaciones/VSM-ASQ-rev%201.pdf>

AutoDesk Inc. (2020). What are the benefits of BIM?. Disponible en: <https://www.autodesk.com/solutions/bim/benefits-of-bim>

Building Smart Spain. (2019). Integrated Project Delivery. Disponible en: <https://www.buildingsmart.es/2019/03/04/integrated-project-delivery/>

Carrasco, V. (2017). La estrategia de ejecución de proyectos IPD. Situación actual y tendencias. Universidad de Chile. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/145241/La-estrategia-de-ejecucion-de-proyectos-IPD.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Grewal. (2008). An initiative to implement lean manufacturing using value stream mapping in a small company. *Int. J. Manufacturing Technology and Management*. Vol. 15. No. 3/4. pp 404–417.

Hoyos, V. (2015). Propuesta de mejora para la actividad de mampostería divisoria basada en un análisis cuantitativo a través de observaciones instantáneas, Value Stream Mapping y Flow Process Chart y validado a través de simulación por eventos discretos en el proyecto Sotto Sky Deck, Bucaramanga - Colombia. Disponible en <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/18533/u721692.pdf?sequence=1>

Kanbanize. (2020). ¿Qué es un tablero Kanban?. Disponible en: <https://kanbanize.com/es/recursos-de-kanban/primeros-pasos>

Lean Construction Institute. (20114). Choosing By Advantages. Disponible en: http://leanconstruction.org/media/docs/congress/2014/T1&2_LCI-AIA-Introducing%20CBA-10.2-slides-Koga-20141007.pdf.

Lean Construction Institute (2015). Choosing By Advantages. Disponible en: https://www.leanconstruction.org/media/docs/chapterpdf/israel/Choosing_by_Advantages.pdf

Lean Enterprise Institute (2008). *Lean Lexicon*. Value Stream Mapping. Cuarta edición. p. 120.

LucidChart. Íconos y símbolos de Mapas del Flujo de Valor. Disponible en <https://www.lucidchart.com/pages/es/iconos-y-simbolos-de-mapas-de-flujo-de-valor>

Mossman, A. (2012). Choosing By Advantages. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/264829796_Choosing_By_Advantages

Pons y Rubio (2019). Colección guías prácticas de Lean Construction. *Lean Construction y la planificación colaborativa*. Metodología del Last Planner System. pp 72-73.

Proyectos y Construcciones BIM. "Casos de éxito. Implementación y coordinación BIM". Disponible en: <http://www.proyectosbim.com/index.php/casos-de-exito>

Revista Construdata. (2019). Norma ISO 19650: Construcciones BIM. No. 191 Junio - Agosto 2019. p. 45.

Revista Construdata (2019). Metodología BIM / Software para el diseño, cálculo estructural y proyección de vías. No. 192 Septiembre - Noviembre 2019. pp 34-38.

Revista Construdata (2020). BIM / VDC en la gestión moderna de proyectos PMI - PMBOK Parte 1. Diseño y planificación BIM. No. 193. Diciembre 2019-Febrero 2020. p. 39.

Modelo de encuesta de validación

ENCUESTA DE PERCEPCIÓN HERRAMIENTA LC APP	
Profesión: _____	
Cargo: _____	
1. ¿Había escuchado antes hablar de herramientas lean, lean thinking, o lean construction?	
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
2. ¿Considera que la herramienta LC APP es fácil de entender y de usar?	
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
3. ¿Considera que la herramienta LC APP es una guía para la mejora continua de la construcción?	
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
4. ¿Qué tipo de desperdicios cree usted que LC APP reduciría? (Puede marcar varias opciones)	
<input type="checkbox"/> Esperas	<input type="checkbox"/> Movimientos
<input type="checkbox"/> Transportes	<input type="checkbox"/> Defectos
<input type="checkbox"/> Reprocesos	<input type="checkbox"/> Sobreproducción
<input type="checkbox"/> Inventarios	<input type="checkbox"/> Talento no utilizado
5. ¿Qué tipo de recursos cree que se optimizarían con el uso de LC APP? (Puede marcar varias opciones)	
<input type="checkbox"/> Tiempo	<input type="checkbox"/> Materiales
<input type="checkbox"/> Financieros	<input type="checkbox"/> Físicos
<input type="checkbox"/> Humanos	<input type="checkbox"/> Tecnológicos
6. ¿Quiénes cree que se beneficiarían con el uso de LC APP? (Puede marcar varias opciones)	
<input type="checkbox"/> Clientes finales	<input type="checkbox"/> Contratistas
<input type="checkbox"/> Empresa constructora	<input type="checkbox"/> Clientes internos (trabajadores)
<input type="checkbox"/> Proveedores	
7. ¿Estaría dispuesto a usar LC APP para los procesos que considere que puede aplicarla?	
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
8. ¿Considera que LC APP es oportuna para uso en construcción de viviendas de estrato alto?	
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
9. ¿Cree que el uso de LC APP va a aumentar su carga laboral, o va a consumirle más tiempo?	
<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No
Si tiene alguna sugerencia o comentario acerca de LC APP escríbalo a continuación	

Muchas gracias por su colaboración	

Figura 17. Modelo de encuesta de validación

Resultados de las encuestas de validación

Encuestado	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	TOTAL	%	
1. ¿Había escuchado antes hablar de herramientas lean, lean thinking, o lean construction?																											
SÍ	x	x		x							x		x	x	x	x	x	x	x	x				x	x	14	58%
NO			x		x	x	x	x	x	x		x										x	x			10	42%
2. ¿Considera que la herramienta LC APP es fácil de entender y de usar?																											
SÍ	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	24	100%
NO																										0	0%
3. ¿Considera que la herramienta LC APP es una guía para la mejora continua de la construcción?																											
SÍ	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	24	100%
NO																										0	0%
4. ¿Qué tipo de desperdicios cree usted que LC APP reduciría? (Puede marcar varias opciones)																											
Esperas	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	22	92%
Transportes		x								x	x			x	x		x								x	7	29%
Reprocesos	x	x	x	x	x		x		x	x	x			x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	20	83%
Inventarios	x	x		x		x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x			x	x	19	79%
Movimientos		x							x					x								x	x			6	25%
Defectos	x	x					x		x			x		x	x			x	x	x		x	x	x		13	54%
Sobreproducción														x	x	x								x		4	17%
Personal subutilizado		x				x		x	x		x			x	x	x	x						x	x	x	12	50%
5. ¿Qué tipo de recursos cree que se optimizarían con el uso de LC APP? (Puede marcar varias opciones)																											
Tiempo	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	24	100%
Financieros	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	24	100%
Humanos		x				x	x		x		x			x	x	x	x					x		x	x	12	50%
Materiales	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x			x	x	18	75%
Físicos		x						x		x	x			x		x				x		x		x		9	38%
Tecnológicos	x	x												x							x		x		x	6	25%
6. ¿Quiénes cree que se beneficiarían con el uso de LC APP? (Puede marcar varias opciones)																											
Clientes finales	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	22	92%
Empresa constructora	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	22	92%
Proveedores		x		x			x		x	x	x			x	x	x	x			x	x	x	x	x		16	67%
Contratistas		x		x	x				x	x	x	x		x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	17	71%
Clientes internos	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x					x	x	x	x	20	83%
7. ¿Estaría dispuesto a usar LC APP para los procesos que considere que puede aplicarla?																											
SÍ	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	24	100%
NO																										0	0%
8. ¿Considera que LC APP es oportuna para uso en construcción de viviendas de estrato alto?																											
SÍ	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	24	100%
NO																										0	0%
9. ¿Cree que el uso de LC APP va a aumentar su carga laboral, o va a consumirle más tiempo?																											
SÍ			x	x											x											4	17%
NO	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x				x	x	x	x	x	20	83%

Figura 18. Resultados de las encuestas de validación