

Revisión bibliográfica sobre el estudio de pérdidas en la construcción bajo principios Lean

A literature review about “waste” concept studies in construction under Lean principles

Patricia Castaño-Jiménez ^{1a}, Janeth Sánchez-Jurado ^{1b}, Juanita García-Londoño ^{1c}

¹ Grupo de Investigación y Desarrollo Aplicado del Centro para el Desarrollo Tecnológico de la Construcción y la Industria (GIDA), Regional Quindío, SENA, Colombia. Correos electrónicos: ^a patriciacj@misena.edu.co, ^b jsanchez127@misena.edu.co, ^c juanitag@misena.edu.co. Orcid: ^a 0000-0003-1091-647X, ^b 0000-0002-4555-1127, ^c 0000-0002-6294-0386.

Recibido: 14 diciembre, 2020. Aceptado: 11 abril, 2021. Versión final: 20 junio, 2021.

Resumen

En general el concepto de pérdidas en la construcción se define como aquellas actividades que consumen recursos y no agregan valor “*non value-adding activities*” y afectan la productividad; a partir de esta premisa, la implementación de la filosofía Lean Construction pretende identificar y eliminar las pérdidas. Este estudio a través de una revisión sistemática de la literatura busca identificar los estudios que describan, analicen y clasifiquen las pérdidas en la construcción, así como los esfuerzos por cuantificarlas y aplicar herramientas orientadas a su mitigación o eliminación para la disminución de la variabilidad y el aumento de la productividad en el sector de la construcción. Para la revisión bibliográfica se determinó un intervalo de 20 años del cual se obtuvo un total de 74 publicaciones para las cuales se realizó el análisis general considerando distribución geográfica, artículos por año, por autor, por revista y método de investigación; para el análisis sobre el estudio del concepto y la clasificación de las pérdidas se determinó un intervalo de 10 años con un total de 57 publicaciones. Entre los resultados se destaca el año 2019, el continente americano y el *Lean Construction Journal* con el mayor número de publicaciones. Al momento de describir el concepto de pérdidas los autores más citados son Glenn Ballard y Lauri Koskela y en cuanto a la clasificación de pérdidas, en su mayoría, se refieren a la clasificación realizada por Taichii Ohno en 1988; asimismo, la herramienta de la filosofía Lean Construction más utilizada para la disminución o eliminación de pérdidas es el mapa de flujo de valor, conocido por sus siglas en inglés VSM (value stream mapping).

Palabras clave: atrasos; demoras; esperas; flujo de trabajo; Lean Construction; movimientos; pérdidas; productividad; procesos; sobreprocesos; sobreproducción; valor.

Abstract

Construction waste has been described as an activity that use resources but not add up value “non-value adding activities”, affecting the workflows and decreased productivity. The implementation of the Lean Construction Philosophy seeks to identify and eliminate construction wastes. Therefore, this paper is a literature review about this important topic with the purpose of identifying the studies that describe, analyze, and classify the wastes in the construction, as well as the effort to quantify and apply tools whose aim is to decrease or eliminate the variability and increase the productivity in the construction sector. For this review it was determined a line time of 20 years, getting in a total of 74 papers where it was done a general analysis considering the next topics: geographical distribution, number of articles for the year, author, source, and investigation methodology. For the analysis about the waste concept

ISSN impreso: 1657 - 4583. ISSN en línea: 2145 - 8456, **CC BY-ND 4.0** 

Como citar: P. Castaño-Jiménez, J. Sánchez-Jurado, J. García-Londoño, “Revisión bibliográfica sobre el estudio de pérdidas en la construcción bajo principios Lean,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 20, no. 4, pp. 27-44, 2021, doi: [10.18273/revuin.v20n4-2021003](https://doi.org/10.18273/revuin.v20n4-2021003).

and its classification, it was determined a line time of 10 years whit 57 papers. As a result, it stands out the year 2019, the American continent, and Lean Construction Journal with the highest number of publications. When describing the concept of wastes, the most cited authors are Glenn Ballard y Lauri Koskela. Also, about the classification of wastes, most of them refer to the classification made by Taiichi Ohno in 1988 and the tool of the Lean Construction Philosophy most used for reduction or elimination loss is the Value Stream Mapping known by initials VSM.

Keywords: delays; construction industry; Lean Construction; losses; overprocesses; overproduction; motion; productivity; reworks; waste; workflows, Lean Construction Philosophy.

1. Introducción

El sector de la construcción se considera como un motor de la economía de las naciones; en tiempos de crisis o recesión económica a nivel nacional y mundial es objeto de planes y políticas para su fortalecimiento por su relación directa con la reactivación no solo del sector, sino de toda la cadena de producción.

Según informes del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (DANE), en Colombia el sector de la construcción genera aportes al PIB nacional del 7,6 % y el 4,7 % en los últimos 15 años (2015-2020), en el mes de septiembre de 2020 se registró un aporte al PIB del 5,3 %, aun con los impactos de la COVID-19 en la economía nacional y mundial. En esta misma fecha se tiene un reporte a nivel nacional que registra un total de 1.858.656 m² para construcción; como rama de actividad económica, participó con el 6,9 % de los ocupados del total nacional [1], dando cuenta del papel protagónico y activo que juega el sector en la economía nacional.

Para un sector que es representativo en el progreso de los países, es necesario realizar la implementación de estrategias y metodologías que favorezcan la productividad y la sostenibilidad, esto por los grandes impactos que implica para su desarrollo; una de las propuestas adoptadas a nivel mundial para el mejoramiento de la eficiencia de los procesos es la desarrollada por Lauri Koskela en 1992, denominada “Lean Construction” o “construcción sin pérdidas” que busca mejorar el modelo tradicional de gestión de la construcción a través de la identificación y eliminación de pérdidas [2].

A lo largo de la historia se han desarrollado diferentes herramientas bajo los principios de la filosofía Lean Construction que buscan identificar y eliminar las pérdidas, lo cual va de la mano con los esfuerzos por implementar prácticas en la construcción que favorezcan el aumento de la productividad y, además, introduzcan parámetros de sostenibilidad que disminuyan los impactos ambientales, sociales y económicos [3].

Al ser la identificación y la eliminación de pérdidas un pilar de la filosofía Lean Construction, se hace necesario indagar en la literatura qué tanto se ha estudiado y/o cuantificado el concepto de pérdidas, cuáles son las estrategias implementadas para su medición, qué herramientas se aplican para su identificación y eliminación, cuáles son los autores y revistas más destacados al abordar el tema, en qué países se han adelantado estudios y qué métodos de investigación se han utilizado para estos, entre otros.

Para dar respuesta a esta serie de cuestionamientos se ha desarrollado la revisión sistemática de literatura sobre las pérdidas “wastes” en la construcción durante los últimos 20 años (2000-2020).

2. Metodología

El estudio realizado para el desarrollo de la investigación corresponde a una revisión sistemática de literatura, definida por [4] como el “medio para identificar, evaluar e interpretar toda la literatura disponible relevante para una pregunta de investigación en particular o un área temática, o fenómeno de interés”.

Teniendo en cuenta lo anterior, este estudio de revisión sistemática de literatura está enfocado en dar respuesta al interrogante de investigación ¿Qué tanto se ha estudiado y/o cuantificado el concepto de pérdidas como estrategia para el aumento de la eficiencia en la productividad?

La metodología se desarrolla en dos etapas:

1. La planificación de la revisión que involucra la identificación de la necesidad y el protocolo de revisión, es decir, el análisis de antecedentes, definición de objetivos en un primer paso y la definición de los motores de búsqueda y criterios de selección en un segundo paso.

2. El desarrollo de la revisión que implica dos fases iniciales, correspondientes a la búsqueda y selección de estudios primarios a partir de los criterios de búsqueda y selección; y dos fases finales correspondientes al análisis de los estudios y a la discusión. En el análisis de los estudios se pretende realizar la clasificación por tipo de investigación, región, autor, año de publicación y la

definición del concepto de pérdidas y clasificación. Como fase final, en la discusión se busca relacionar el concepto de pérdidas con las herramientas utilizadas para su identificación, disminución y/o eliminación, tal como se refleja en la [tabla 1](#).

Tabla 1. Metodología

Etapa	Paso	Descripción
1. Planificación de la revisión	Identificación de la necesidad de revisión	Análisis de Antecedentes Definición de los objetivos de investigación
	Definición del protocolo de revisión	Motores de búsqueda, criterios de selección
2. Desarrollo de la revisión	Búsqueda de estudios primarios	Aplicación de los criterios de búsqueda
	Selección de estudios primarios	Criterios de selección
	Análisis de los estudios	<ul style="list-style-type: none"> Clasificación por tipo de investigación, región, autor, año de publicación. Definición del concepto de pérdidas y clasificación.
	Discusión	Relación del concepto de pérdidas y las herramientas para su identificación disminución y/o eliminación.

Fuente: elaboración propia.

2.1. Planificación de la revisión

En un interés por mejorar la eficiencia de los modelos tradicionales de construcción, surge en 1992 la filosofía Lean Construction, conocida como “construcción sin pérdidas”, basada en 12 principios: 1) incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor, 2) reducir la participación de actividades que no agregan valor, “pérdidas”, 3) incrementar el valor del producto a través de la consideración sistemática de los requerimientos del cliente, 4) reducir la variabilidad, 5) reducir el tiempo del ciclo, 6) simplificar procesos, 7) incrementar la

flexibilidad de la producción, 8) incrementar la transparencia de los procesos, 9) enfocar el control al proceso completo, 10) introducir la mejora continua de los procesos, 11) mejorar continuamente el flujo, 12) referenciar los procesos con los de las organizaciones líderes (“benchmarking”) [5].

Para la aplicación de estos principios se han desarrollado herramientas que buscan, entre otros, la eliminación de las pérdidas, razón por la cual resulta de gran importancia revisar la literatura alrededor de este tema, que es clave para el desarrollo, la productividad y la eficiencia del sector de la construcción.

El objetivo principal de investigación se enfoca en identificar los artículos publicados sobre el estudio de pérdidas en la construcción desde el año 2000 hasta el año 2020; como objetivos secundarios se tiene: clasificar los artículos de investigación sobre pérdidas en la construcción; identificar definiciones y conceptos relacionados sobre pérdidas en la construcción, y consultar y relacionar estudios de medición sobre el concepto en estudio.

Como protocolo de revisión se establecen los motores de búsqueda: Scopus, ScienceDirect y búsqueda específica de recurso en la web; en cuanto a los criterios de selección se definen: intervalo comprendido entre el año 2000 y el año 2020, área de ingeniería y palabras clave (waste, construction, losses, lean) de acuerdo con lo especificado en la [tabla 2](#), la cual comprende el motor de búsqueda, el tipo de recurso y el criterio establecido.

Tabla 2. Protocolo de revisión de literatura

Motor de búsqueda	Tipo de recurso	Criterio/palabras clave
Scopus	Artículos de investigación Artículos de revisión	Waste, construction
Scopus	Artículos de investigación Artículos de revisión	Losses, construction, lean
Science Direct	Artículos de investigación Artículos de revisión	Waste, lean construction, time
Web	Artículos	Criterio: Artículos citados en los artículos seleccionados en los motores de búsqueda

Fuente: elaboración propia.

2.2. Desarrollo de la revisión

A partir del protocolo de revisión se continúa el proceso de desarrollo de esta con la búsqueda y selección de los estudios primarios (véase [figura 1](#)).

Inicialmente, se realiza la búsqueda en la plataforma Scopus seleccionando como tipo de recursos artículos y revisiones de literatura; como criterio se emplean las palabras clave “waste” y “construction”. Esta consulta arroja un total de 2002 artículos; al limitar los resultados por área y palabras clave, se obtiene un listado de 490 artículos para los cuales se filtra la búsqueda, teniendo en cuenta las siguientes áreas: ingenierías, negocios y administración, medioambiente y ciencias de la tierra. De esta manera, disminuye el número a 290 artículos, los cuales son analizados cada uno por el contenido del resumen o *abstract*, tras lo cual se obtiene un listado de 77 artículos, que son analizados en su contenido para obtener la selección final de 33 artículos.

Al analizar el *abstract* se buscaba identificar el foco del artículo y su relación con las pérdidas en la construcción; se excluyeron los artículos relacionados con pérdidas a nivel de residuos de construcción y demolición, enfocadas netamente al tema ambiental.

El análisis de contenido estaba direccionado a seleccionar los artículos directamente relacionados con el concepto de pérdidas en la construcción, su medición, clasificación y herramientas para su disminución y/o eliminación.

En una segunda búsqueda en Scopus se utilizó como criterio de búsqueda las palabras “losses”, “construction” y “lean”, tras lo cual se consigue un listado de 7 artículos que se analizan por contenido, y se excluyen 2 de ellos.

En un tercer proceso de búsqueda se utilizó la plataforma ScienceDirect, se emplearon como criterio las palabras clave: “Waste”, “lean construction” y “time”, se obtuvo un total de 27 artículos, los cuales se analizan por contenido para una selección final de 13 artículos.

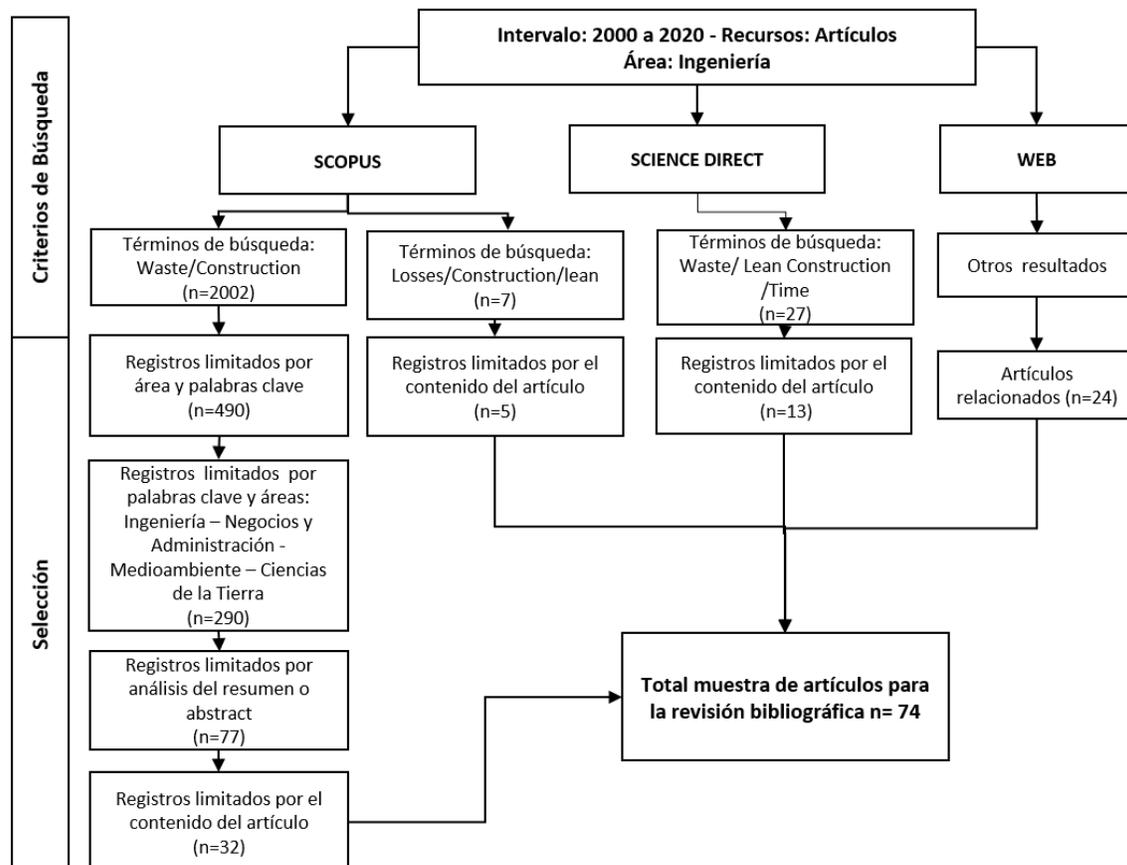


Figura 1. Criterios de búsqueda y selección de artículos. Fuente: elaboración propia.

Para finalizar el proceso de búsqueda se utilizó la web a partir de otros resultados como referencias bibliográficas encontradas en los artículos seleccionados en las búsquedas de Scopus y ScienceDirect, esta última búsqueda permitió obtener 23 artículos más para una selección total de 74 artículos.

2.3. Análisis de los estudios

El análisis de los estudios comprende publicaciones por continente, país y período de tiempo; publicaciones por año; publicaciones por revista; publicaciones por autor, y publicaciones por método de investigación para el período de 20 años (2000 a 2020). De igual forma, se aborda el análisis del concepto de pérdidas, clasificación y herramientas para su identificación, disminución y/o eliminación en el período (2011-2020).

3. Resultados

3.1. Análisis y descripción de los resultados

3.1.1. Publicaciones por continente, país y período

De acuerdo con lo detallado en la [tabla 3](#), se puede establecer que en el continente americano se ha realizado el mayor número de publicaciones sobre el tema de pérdidas en la construcción (waste) con un total de 29 artículos en los últimos 20 años, 21 de los cuales se realizaron en el período 2011-2020.

EE. UU. resulta el país más activo del continente con 11 publicaciones en el período 2000-2020. Seguido del continente americano se encuentra el continente asiático con un total de 24 publicaciones en el período comprendido entre el 2000-2020, donde India con 7

artículos es el país con mayor número de publicaciones sobre el tema de pérdidas en la construcción (Waste/Delays) en este continente.

Europa, por su parte, registra un total de 16 publicaciones concentradas en el período 2006-2020, situándose como el tercer continente de la lista; se destaca a Reino Unido con un total de 7 publicaciones en el período 2006-2015.

Por último, se encuentra Oceanía con un total de 7 publicaciones, de las cuales 5 se realizaron en el período 2016-2020 y África con un total de 6 publicaciones desarrolladas en el período 2013-2020.

En América, los países con mayor número de publicaciones son Estados Unidos con 17 artículos y Brasil con 6 artículos; en Asia se encuentran principalmente India (7 artículos) y Malasia (4 artículos); en África, Morocco registra 2 artículos; en Europa, Reino Unido reporta 7 artículos, Suecia, 2 artículos, y en Oceanía, Australia refiere 5 artículos.

3.1.2. Método de investigación

De los 74 artículos analizados, se evidencia que el método de investigación más utilizado es el estudio de caso con 25 artículos (33 %), seguido por la revisión de literatura con 16 artículos (22 %) y los estudios de simulación con 13 artículos (18 %). Las encuestas y entrevistas, así como los artículos de discusión, ocupan los dos últimos lugares con 10 artículos cada uno (13,5 %). En la [figura 2](#) se observa en forma gráfica el número de artículos por método de investigación.

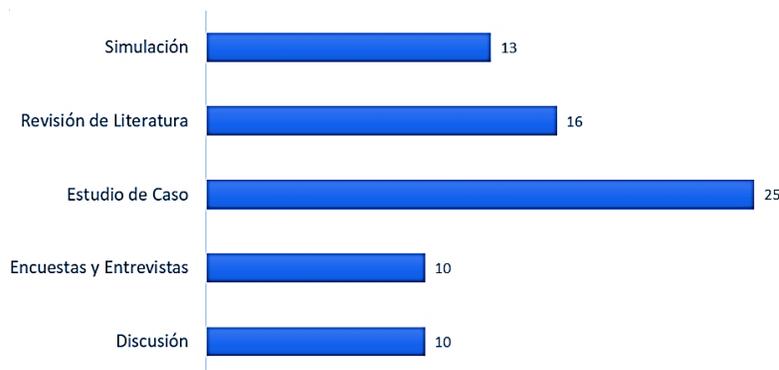


Figura 2. Clasificación según método de investigación. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Clasificación de artículos por continente, país y período

Continente	País	2000-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020
América	Estados Unidos (EE. UU.)	[6], [7], [8]	[9], [10]	[11], [12]	[13], [14], [15], [16]
	Berkeley, CA, EE. UU.	[17]			
	San Diego EE. UU.			[18]	
	Carolina del Norte, EE. UU.				[19]
	Illinois, EE. UU.		[20]		
	Luciana, EE. UU.			[21]	
	Canadá			[22]	
	Colombia	[23]			[3]
	Brasil			[24], [25], [26], [27], [28], [29]	
	Chile				[30], [31], [15]
Asia	Perú			[32]	
	Abu Dabi, Emiratos Árabes Unidos			[33]	
	Malasia			[34], [35]	[36], [37]
	Sri Lanka		[38]		
	Kazajistán				[39], [14]
	Indonesia				
	China			[42]	
	Taiwán			[43], [44]	
	India	[40], [41]			[45], [46], [47], [48], [49], [50], [51]
	Arabia Saudita				[52]
	Israel			[53]	
	Singapur				[54]
	Irán				[55]
África	Egipto			[56]	[52]
	Sudáfrica			[57]	[58]
	Nigeria				[59]
	Moroco				[60], [61]
Europa	Reino Unido		[62], [63], [10]	[64], [65], [11], [62]	
	Suecia			[67], [42]	
	Dinamarca - Reino Unido		[68]		
	Dinamarca				[69]
	Suiza		[70]		
	Noruega		[71]	[72]	
	Finlandia				[73]
	Polonia				[74]
Oceanía	Alemania				[75]
	Australia	[76]			[55], [30], [14], [77]
	Nueva Zelanda	[8]			[78]

Fuente: elaboración propia.

3.1.3. Método de investigación

De acuerdo con la [figura 3](#), los años 2012, 2016, 2018 y 2019 cuentan con el mayor número de publicaciones sobre el total analizado: 9 artículos (14 %), 7 artículos (10 %), 6 artículos (8 %) y 10 artículos (12 %), respectivamente.

En total, el período 2012-2020 registra 57 publicaciones, equivalentes al 70 % de los 74 artículos que abarcan la muestra analizada, lo cual permite concluir que durante los últimos 8 años se ha incrementado el interés de estudiar y/o analizar las pérdidas en la construcción, su origen y causas.

3.1.4. Publicaciones por revista

Con 9 publicaciones, *Lean Construction Journal* es la revista con mayor número de publicaciones, seguida por *Conference of the International Group for Lean Construction*, *Automation in Construction* e *International Conference*, con 8, 6 y 5 artículos, respectivamente. En la [figura 4](#) se pueden observar las revistas con más de dos publicaciones.

Si bien el *Lean Construction Journal* es el recurso con mayor número de publicaciones, como lo muestra la [figura 4](#), es importante mencionar cada uno de los recursos que han considerado la importancia del tema de pérdidas y han realizado mínimo una publicación; esto se muestra detalladamente en la [tabla 4](#).

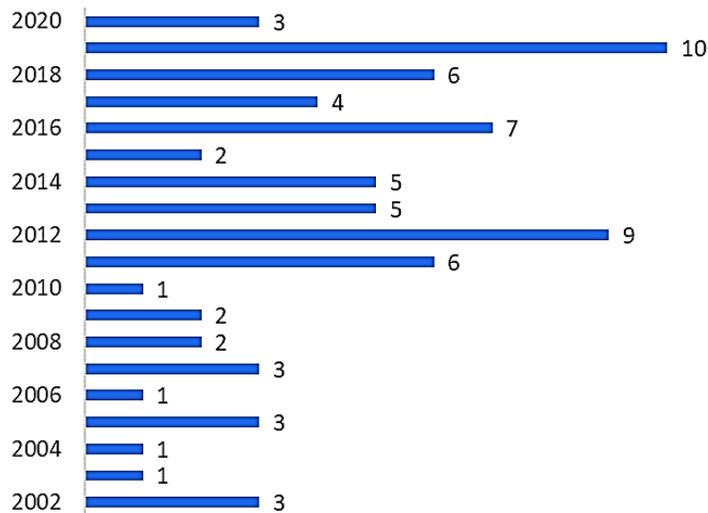


Figura 3. Artículos por año de publicación. Fuente: elaboración propia.



Figura 4. Número de publicaciones por revista. Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Número de artículos por recurso de publicación

Publicación	Número
Lean Construction Journal	9
Conference of the International Group for Lean Construction	8
Automation in Construction	6
International Conference	5
Buildings	3
Revista de la Construcción	2
Procedia Engineering	2
KSCE Journal of Civil Engineering	2
Journal of Cleaner Production	2
Journal of Civil Engineering and Management	2
International Journal of Recent Technology and Engineering	2
International Journal of Construction Management	2
South African Journal of Industrial Engineering	1
Revista Universidad EAFIT	1
Revista Ingeniería de Construcción	1
Quality Engineering	1
Proceedings IGLC	1
Proceedings of the Institution of Civil Engineers	1
Procedia - Social and Behavioral Sciences	1
Malaysian Construction Research Journal	1
Journal of Purchasing and Supply Management	1
Journal of Manufacturing Technology Management	1
Journal of Management in Engineering	1
Journal of Frontiers in Construction Engineering	1
Journal of Construction Management	1
Journal of Construction Engineering and Project Management	1
Journal of Construction Engineering and Management	1
Journal of Architectural Engineering Technology	1
Journal of Architectural Engineering	1
International Journal of Production Economics	1
International Journal of Mechanical Engineering and Technology	1
International Journal of Engineering Research in Africa	1
International Journal of Civil Engineering and Technology	1
International Journal of Applied Engineering Research	1
Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)	1
Engineering, Construction and Architectural Management	1
Building Research and Information	1
ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences	1
Architectural Engineering and Design Management	1
Alexandria Engineering Journal	1
Total	74

Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Publicaciones por autor

En la [figura 5](#) se pueden observar los autores que se destacan con 4, 3 y 2 publicaciones en total; esta información, además, permite interpretar que Glenn Ballard y Lauri Koskela, con 4 artículos cada uno,

representan los autores con mayor número de publicaciones sobre pérdidas en la construcción. A nivel latinoamericano se destacan Carlos T. Formoso (Brasil) y Luis Fernando Botero (Colombia) con 2 publicaciones cada uno.

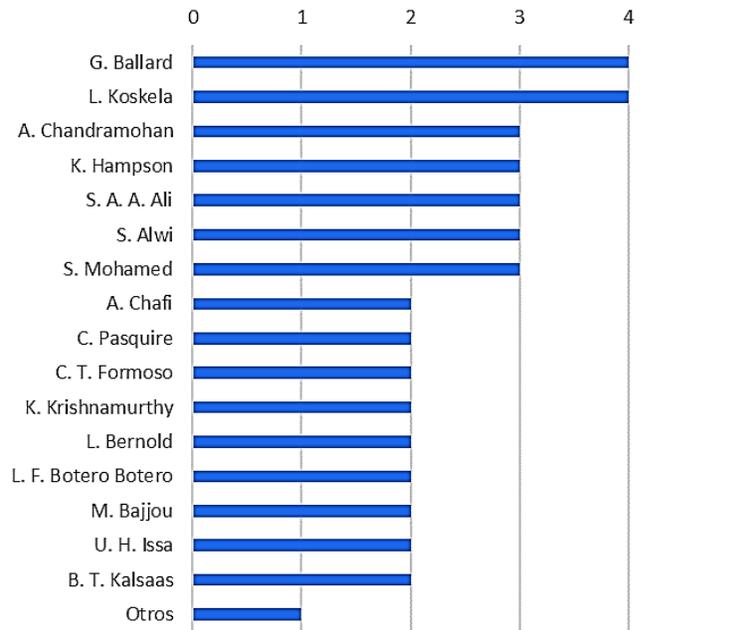


Figura 5. Publicaciones por autor. Fuente: elaboración propia.

3.2. Desarrollo de la revisión

En general, se define pérdidas en la construcción como las actividades que consumen recursos y no agregan valor “non value-adding activities”; 29 de los artículos seleccionados, en el rango de 2011 a 2020, coinciden en definir las pérdidas de esta manera, y 11 de ellos referencian al autor Lauri Koskela al momento de definir dicho concepto (véase [tabla 5](#)).

Tabla 5. Autores referenciados en la definición del concepto de pérdidas y número de artículos

Autor	Artículo
Koskela	[48], [55], [61], [49], [27], [78], [29], [19]
Alarcón	[51], [56]
Bicheno, J. & Holweg, M. 2016	[58], [13]
Formoso	[37], [28]
Womack & Jones	[42]
Khodeir and Othman	[3]
Abdullah, F.	[44]
K. Leite, D. Neto,	[32]
Kato, Isao	[72]
S. Han, S. Lee, M.G. Fard, F. Pena-Mora	[57]
Sherpell	[53]

Fuente: elaboración propia.

Las pérdidas en construcción también están relacionadas con el concepto de “muda”, de acuerdo con Taichii Ohno

[79], vocablo japonés que refiere a algo que resulta ‘inútil’ o ‘un desperdicio’.

De acuerdo con la revisión de literatura realizada se identificaron 10 tipos de pérdidas: 1) reprocesos/defectos (rework/defects), 2) sobreproducción (overproduction), 3) inventario (inventory), 4) sobreprocesos (overprocessing), 5) movimientos (motion), 6) transporte (transportation), 7) esperas (waiting), 8) subutilización de la mano de obra (unused employee creativity), 9) accidentes de trabajo (work accidents) y 10) otras.

Cabe anotar que los 7 primeros tipos o causas de pérdidas “muda” están definidas por el ingeniero industrial japonés Taiichi Ohno, conocido por desarrollar el sistema de producción Toyota (The Toyota Production System and Lean Manufacturing) [79]. En la [figura 6](#) se muestran los tipos de pérdidas y el número de artículos que las relacionan y/o describen.

Un total de 24 artículos relacionan las 7 pérdidas definidas por Taichii Ohno: [55], [13], [60], [61], [69], [31], [36], [44], [56], [48], [19], [26], [35], [49], [21], [22], [37], [28], [51], [29], [78], [72], [73], [27]. El octavo tipo de pérdida, subutilización de la mano de obra (unused employee creativity), aparece relacionada en 7 artículos: [60], [61], [31], [15], [48], [40].

El noveno tipo de pérdidas, accidentes de trabajo (work accidents) está relacionado en 4 publicaciones: [61], [56], [48], [35].

En cuanto a otros tipos de pérdidas, estas son relacionadas en las siguientes publicaciones: [56], [47], [42], [35], [49], [50], [21], [37], [28].

A continuación, en la **tabla 6**, se describen los tipos de pérdidas, su definición, consecuencias, ejemplos y número de publicaciones en que se relacionan.

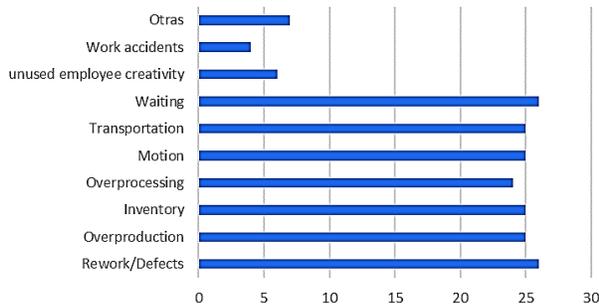


Figura 6. Tipos de pérdidas y número de artículos en que se relacionan. Fuente: elaboración propia.

3.3. Herramientas Lean y reducción de pérdidas

Además de los esfuerzos por identificar y medir las pérdidas en la construcción, desde el concepto de actividades que no agregan valor, en la literatura se describen diferentes herramientas y prácticas que en el marco de la filosofía Lean Construcción contribuyen a su disminución; entre estas se destacan: *value stream mapping* VSM (mapa de flujo de valor), *just-in-time* (justo a tiempo), *visual management* (gestión visual), 5S, *last planner system*TM (Sistema del último planificador), *target value design* (TVD), *prefabrication* (prefabricación), estandarización, *error proofing* (poka-yoke).

En la **tabla 7** se relacionan las herramientas Lean mencionadas anteriormente, con los tipos de pérdidas que ayudan a eliminar o disminuir.

3.3.1. Value stream mapping (mapa de flujo de valor)

Técnica gráfica que permite visualizar en forma detallada la información necesaria para la ejecución de un proceso; a través de este mapa se identifican las actividades que agregan y las que no agregan valor (pérdidas), con el objetivo de eliminar estas últimas y optimizar el proceso [58], [39], [61], [43], [56], [67], [12], [18], [35], [22], [27], [51], [29], [54], [3], [74].

3.3.2. Just-in-time (justo a tiempo)

Sistema de origen japonés, también conocido como método Toyota, diseñado para eliminar todo aquello que

implique pérdidas en el proceso de producción desde las compras hasta la distribución [58], [45], [61], [56], [33], [12], [46], [19], [35], [54], [3].

3.3.3. Visual management (gestión visual)

A través de esta herramienta se implementan avisos, señales y tableros gráficos para hacer de la construcción un proceso seguro, simple y transparente para los involucrados. Por ejemplo, la señalización de materiales y rutas de circulación en una obra contribuye a la reducción de movimientos innecesarios y posibles accidentes [58], [45], [39], [61], [33], [12], [35], [3].

3.3.4. 5S system

Técnica de gestión japonesa cuyo objetivo es reducir las pérdidas y optimizar la productividad en el sitio de trabajo a través de cinco principios: 1) clasificación u organización (seiri), 2) orden ((Seiton), 3) limpieza: (seiso), 4) estandarización (seiketsu), 5) disciplina (shitsuke) [45], [39], [61], [15], [33], [12], [46], [48], [22], [51], [3].

3.3.5. Last planner systemTM (sistema del último planificador)

Sistema de planificación y control de la producción desarrollado por Glenn Ballard en 1992, que involucra cuatro procesos: programa maestro, programa intermedio, análisis de restricciones y el programa semanal. Su objetivo principal es reducir la variabilidad y la incertidumbre en la construcción [45], [39], [56], [62], [46], [18], [23], [49], [51], [29], [3].

3.3.6. Target value design (TVD)

Diseño basado en el valor objetivo. Es un enfoque que busca maximizar el valor al cliente partiendo de los requerimientos como tipo y costo. El diseño se hace en forma integrada y/o colaborativa, partiendo de una estimación del costo [58], [32], [3].

3.3.7. Prefabrication (prefabricación)

Consiste en el uso de elementos prefabricados o modulados para mejorar la productividad, disminuir la variabilidad en la construcción, aumentar la calidad y la seguridad en la industria de la construcción. Se concibe como un proceso industrializado [58], [21], [34], [54], [3].

Tabla 6. Pérdidas en construcción, descripción consecuencias y ejemplos

Tipo de pérdida	Definición	Consecuencias	Ejemplos
Reprocesos / defectos	Productos finales o en proceso que no cumplen con las especificaciones de calidad requeridas, por errores en diseños, recursos defectuosos y/o errores en el proceso constructivo.	Sobrecostos en mano de obra, materiales, herramientas y equipos. Demoras por correcciones y afectación de las actividades sucesoras.	Error de diseño en instalaciones técnicas que implica demoliciones o reprocesos en muros terminados. Colocación de adhesivos de baja especificación en la colocación de enchapes que implica desprendimiento de piezas. Error en replanteo de vanos que implica reprocesos en la carpintería metálica o de madera.
Sobreproducción	Se refiere a la producción de mayores cantidades a las requeridas.	Sobrecostos en mano de obra, materiales, herramientas y equipos.	Producción de morteros y concretos en mayores cantidades a las requeridas en la ejecución de elementos como estructuras, revoques, muros.
Inventario	Pérdidas relacionadas con inventario innecesario o excesivo de materiales.	Pérdidas por daños o deterioro de materiales durante largos períodos de almacenamiento en obra.	Compra anticipada de aparatos sanitarios que corren el riesgo de romperse en largos períodos de almacenamiento en obra. Expiración de la fecha de caducidad de materiales a base de cemento, aditivos, pinturas, entre otros.
Sobreprocesos	Consiste en la ejecución de tareas innecesarias o que no agregan valor.	Demoras, sobrecostos en recursos.	Reprocesos en acabados como detallado y pintura que se hacen una y otra vez por falta de cuidado en la ejecución de procesos como carpintería, instalación de accesorios y/o mobiliario.
Movimientos	Se refiere a los movimientos innecesarios realizados por el trabajador durante la ejecución de los trabajos.	Demoras, sobrecostos en la mano de obra e incluso accidentes de trabajo.	Desplazamientos prolongados para buscar o tomar herramientas requeridas en el proceso constructivo. Materiales insuficientes en el sitio de trabajo. Un trabajador que usa el palustre para hacer cortes en bloques de ladrillo al carecer de herramientas de corte especializadas.
Transporte	Traslado excesivo o innecesario de recursos por causa de gestión deficiente de los sitios de acopio y de los sistemas de transporte horizontal y vertical.	Sobreacarreos de material que generan pérdidas en mano de obra, pérdida de materiales por deterioro en los recorridos. Pérdidas en tiempo.	Traslado de bloques de ladrillo en carretas que por su forma genera daños en sus bordes o rotura de estos. Equipos ineficientes de transporte vertical que genera atrasos en el suministro de materiales en edificaciones en altura.
Esperas	Corresponde a los tiempos de inactividad por falta de sincronización en los flujos de material, procesos o grupos de trabajo.	Sobrecostos en mano de obra, disminución de la producción. Atrasos.	Esperas por demoras en el suministro de materiales, herramientas y equipos. Esperas por retrasos en actividades predecesoras como el caso de muros que no pueden terminarse por un atraso en la ejecución de las redes eléctricas.
Subutilización de la mano de obra	Uso deficiente de la mano de obra, relacionado con grupos o cuadrillas con personal excesivo o trabajadores ubicados en tareas que no corresponden a su experticia o habilidad.	Sobrecostos en mano de obra, defectos en calidad. Se afecta la productividad.	Un oficial destacado en la ejecución de enchapes, trabajando como ayudante en una cuadrilla de mampostería. Cuadrillas ineficientes en donde uno o más trabajadores tienen tiempos ociosos mientras uno de los integrantes de la cuadrilla termina un proceso, como el caso del ayudante de obra que espera a que el oficial requiera materiales o tareas básicas como traslado de elementos o equipos.
Accidentes de trabajo	Pérdidas en tiempo y recurso humano ocasionadas por accidentes de trabajo.	Afectación del clima laboral, ausentismo, atrasos, aumento de la rotación de personal.	Procedimientos inseguros en la ejecución de trabajos en altura. Uso inadecuado de elementos de protección personal.

Fuente: elaboración propia.

3.3.8. Estandarización

Conjunto de métodos o procedimientos para la ejecución de los procesos constructivos, que busca su eficiencia definiendo una secuencia de procesos precisa para la disminución de tiempos y esfuerzo en la ejecución de las tareas, reduciendo además la variabilidad, aumentando la calidad de los productos y la seguridad de los trabajadores [58], [45], [33], [18], [35], [22], [3].

3.3.9. Error proofing (poka-yoke) (a prueba de errores)

Poka-yoke, vocablo japonés que traduce ‘a prueba de errores’, es una técnica que busca prevenir y evitar los errores en los procesos incrementando la calidad en la construcción y mejorando las condiciones de seguridad de los trabajadores [58], [56], [33], [12], [19], [29], [3].

Tabla 7. Tipos de pérdidas y herramientas Lean que contribuyen a su disminución o eliminación

Herramienta	Artículos	1. Reprocesos/defectos	2. Sobreproducción	3. Inventario	4. Sobreprocesos	5. Movimientos	6. Transporte	7. Esperas	8. Subutilización de la mano de obra	9. Accidentes de trabajo
VSM	[58], [39], [61], [43], [56], [67], [12], [18], [35], [22], [27], [51], [29], [54], [3], [74]		x	x	x		x	x		x
Just-in-Time	[58], [45], [61], [56], [33], [12], [46], [19], [35], [54], [3]		x	x	x		x		x	
Visual Management	[58], [45], [39], [61], [33], [12], [35], [3]					x	x			x
5S System	[45], [39], [61], [15], [33], [12], [46], [48], [22], [51], [3]	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Last Planner System™	[45], [39], [56], [62], [46], [18], [23], [49], [51], [29], [3]	x	x	x	x			x	x	x
TVD	[58], [32], [3]	x	x		x					
Prefabricación	[58], [21], [34], [54], [3]	x	x		x					x
Estandarización	[58], [45], [33], [18], [35], [22], [3]	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Poka-yoke	[58], [56], [33], [12], [19], [29], [3]	x			x	x		x	x	x
BIM	[14], [15], [46], [29], [75], [53], [73], [3]	x	x	x	x					
LPDS	[56], [3]	x	x	x	x				x	
Kaizen	[58], [33], [12], [18], [21], [3]				x		x			
Pull ‘kanban’ system	[58], [56], [33], [46], [35], [29], [54], [3]			x						

Fuente: elaboración propia.

3.3.10. *Building information modelling- BIM*

Proceso estandarizado y colaborativo aplicado para la construcción de un modelo digital para la construcción y operación de un activo o proyecto de construcción [14], [15], [46], [29], [75], [53], [73], [3].

3.3.11. *Lean project delivery system (LPDS)*

Marco conceptual desarrollado por Glenn Ballard; es un sistema de producción basado en proyectos que se estructura y gestiona como un proceso de valor, maximizando el valor para el cliente y minimizando las pérdidas en la construcción [56], [3].

3.3.12. *Continuous improvement (kaizen)*

Técnica sustentada en la idea de que todo proceso puede y debe ser medido, analizado y mejorado continuamente en términos de recursos utilizados, tiempo requerido, calidad exigida por los clientes y otros criterios de desempeño relevantes para la construcción [58], [33], [12], [18], [21], [3].

3.3.13. *Pull 'kanban' system*

Desarrollado por Taiichi Ohno en Toyota Motor Corporation en 1947, para mejorar la producción y reducir costos. La palabra japonesa "kanban" significa 'tarjeta' o 'signo', y denomina la tarjeta de control de inventario utilizada en un sistema de extracción. *Pull system* es una técnica ajustada utilizada para controlar el flujo de trabajo reemplazando solo lo que se ha consumido [58], [56], [33], [46], [35], [29], [54], [3].

4. Conclusiones

La revisión sistemática de literatura con sus dos fases (planeación y desarrollo de la revisión) permite definir en forma precisa cada uno de los pasos para la búsqueda y selección de artículos, facilitando el proceso de análisis y obtención de resultados, en este caso, sobre el concepto de pérdidas, cuantificación, clasificación y herramientas para su identificación, disminución y/o eliminación.

El análisis general de los 74 artículos seleccionados en el intervalo de 20 años destaca al continente americano con 29 publicaciones, al continente asiático con 24 publicaciones y al continente europeo con un total de 17 publicaciones. Es válido destacar que la propuesta de la filosofía Lean Construction fue publicada por el finlandés Lauri Koskela en la Universidad de Stanford EE. UU., lo que podría ser una de las razones por las cuales el continente americano se destaca en el número de publicaciones.

De este análisis general del intervalo de 20 años, se concluye que el año con mayor número de publicaciones es 2019; el método de investigación más usado es el estudio de caso con 24 artículos; seguido de la revisión de literatura y los estudios de simulación con 16 y 13 artículos, respectivamente; el *Lean Construction Journal* con 9 artículos es el recurso con más estudios publicados, y Glenn Ballard y Lauri Koskela, con 4 artículos publicados cada uno, son los autores más destacados.

En el análisis del concepto de pérdidas y su clasificación en el intervalo de 10 años se encuentra que en 29 artículos se define pérdidas en la construcción como las actividades que consumen recursos y no agregan valor "*non value-adding activities*", 11 de los cuales citan al autor Lauri Koskela en su definición.

En cuanto a la clasificación de pérdidas, se encuentran referenciados en 24 artículos los 7 tipos de pérdidas de acuerdo con Taiichi Ohno, como son: 1) reprocesos/defectos, 2) sobreproducción, 3) inventario, 4) sobreprocesos, 5) movimientos, 6) transporte y 7) esperas. De acuerdo con la revisión de literatura se describen otros tipos de pérdidas como: 8) subutilización de la mano de obra, 9) accidentes de trabajo y 10) otras.

Para la identificación, disminución y/o eliminación de pérdidas se aplican herramientas Lean Construction como son: *value stream mapping (VSM)*, *just-in-time*, *visual management*, *5S*, *last planner system*TM, *target value design (TVD)*, *prefabrication*, estandarización, *error proofing (poka-yoke)*.

Las herramientas 5S y estandarización son aplicables para eliminar cada uno de los tipos de pérdidas; el VSM, al definir el mapa de proceso, es clave para la identificación de pérdidas y su optimización; también se tiene dentro de las herramientas más usadas el LPS, cuyo objetivo es reducir la variabilidad y la incertidumbre en la construcción.

Recomendaciones

Para un sector en constante crecimiento que impacta en gran medida la economía, el medio ambiente y la sociedad, es importante desarrollar, adaptar e implementar estrategias que favorezcan la productividad involucrando técnicas y herramientas que eleven los procesos a un estándar de calidad y eficiencia en términos de sostenibilidad y productividad.

Es necesario continuar estudiando, aplicando y generando alternativas con bases conceptuales sólidas que evidentemente contribuyen al crecimiento y consolidación del sector de la construcción como una

industria determinante en la gestión y el desarrollo de los territorios, así como en el cumplimiento de los objetivos y metas mundiales como son los objetivos de desarrollo sostenible (ODS).

Agradecimientos

Los autores del artículo se encuentran plenamente agradecidos con el Centro para el Desarrollo Tecnológico de la Construcción y la Industria perteneciente al Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA) por promover la investigación y apoyar la elaboración de este artículo.

Referencias

- [1] DANE, “Construcción en cifras”, CAMACOL, 2020, [En línea]. Disponible: <https://camacol.co/documentos/construccion-en-cifras>
- [2] L. Koskela, *Application of the new production philosophy to construction*, vol. 72. Stanford, CA, USA: Stanford university, 1992.
- [3] D. Carvajal-Arango, S. Bahamón-Jaramillo, P. Aristizábal-Monsalve, A. Vásquez-Hernández, L. F. B. Botero, “Relationships between lean and sustainable construction: Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 234, no. 1, pp. 1322-1337, 2019, doi: [10.1016/j.jclepro.2019.05.216](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.216).
- [4] B. Kitchenham, “Procedures for Performing Systematic Reviews”, Keele Univ., Keele, UK, vol. 33, Rep. TR/SE-0401, 2004.
- [5] L. F. Alarcón Cárdenas, E. Pellicer Armiñana, “Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas”, *Revista de Obras Públicas*, vol. 46 no. 1, pp. 90-103, 2009.
- [6] O. Salem, J. Solomon, A. Genaidy, M. Luegring, “Site implementation and assessment of lean construction techniques”, *Lean Construction Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 1-21, 2005.
- [7] J. A. Elfving, I. D. Tommelein, G. Ballard, “Consequences of competitive bidding in project-based production”, *Journal of Purchasing and Supply Management*, vol. 11, no. 1, p. 173-181, 2005, doi: [10.1016/j.pursup.2005.12.001](https://doi.org/10.1016/j.pursup.2005.12.001).
- [8] M. J. Horman, R. Kenley, “Quantifying Levels of Wasted Time in Construction with Meta-Analysis”, *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 131, no. 1, pp. 52-61, 2005, doi: [10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:1\(52\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:1(52)).
- [9] L. Klotz, M. Horman, M. Bodenschatz, “A lean modeling protocol for evaluating green project delivery”, *Lean Construction Journal*, vol. 3, no. 1, pp. 1-18, 2007.
- [10] L. Koskela, G. Ballard, “Should project management be based on theories of economics or production?”, *Building Research and Information*, vol. 34, no. 2, pp. 154-163, 2006, doi: [10.1080/09613210500491480](https://doi.org/10.1080/09613210500491480).
- [11] G. Ballard, L. Koskela, “A response to critics of lean construction”, *Lean Construction Journal*, vol. 2, pp. 13-22, 2011.
- [12] D. Garrett, J. Lee, “Lean construction submittal process case study”, *Quality Engineering*, vol. 23, no. 1, pp. 84-93, 2011, doi: [10.1080/08982112.2010.495100](https://doi.org/10.1080/08982112.2010.495100).
- [13] S. Terreno, S. Asadi, C. Anumba, “An exploration of synergies between lean concepts and BIM in FM: A review and directions for future research”, *Buildings*, vol. 9, no. 6, pp. 147, 2019, doi: [10.3390/buildings9060147](https://doi.org/10.3390/buildings9060147).
- [14] X. Zhang, S. Azhar, A. Nadeem, M. Khalfan, “Using Building Information Modelling to achieve Lean principles by improving efficiency of work teams”, *International Journal of Construction Management*, vol. 18, no. 4, pp. 293-300, 2018, doi: [10.1080/15623599.2017.1382083](https://doi.org/10.1080/15623599.2017.1382083).
- [15] M. Mandujano, L. Alarcón, J. Kunz, C. Mourgues, “Identifying waste in virtual design and construction practice from a Lean Thinking perspective: A meta-analysis of the literature (Identificación de desperdicios en la práctica del diseño y construcción virtual desde una perspectiva)”, *Revista de la Construcción*, vol. 15, no. 3, pp. 107-118, 2016.
- [16] K. Rashid, J. Louis, “Activity identification in modular construction using audio signals and machine learning”, *Automation in Construction*, vol. 119, pp. 1-16, 2020, doi: [10.1016/j.autcon.2020.103361](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103361).

- [17] G. Ballard, G. Howell, "Lean project management", *Building Research and Information*, vol. 31, no. 2, pp. 119-133, 2003, doi: [10.1080/09613210301997](https://doi.org/10.1080/09613210301997).
- [18] M. Samudio, T. C. Alves, D. Chambers, "Employing the Principle Of "Going and Seeing" to Construction", *Lean Construction Journal*, no. 2011 pp 41-53, 2011.
- [19] S. Hosseini, A. Nikakhtar, K. Wong, A. Zavichi, "Implementing Lean Construction Theory to Construction Processes' Waste Management", en *International Conference on Sustainable Design and Construction*, North Carolina, 2014, doi: [10.1061/41204\(426\)52](https://doi.org/10.1061/41204(426)52).
- [20] S. Han, S. Lee, M. Golparvar-Fard, F. Peña-Mora, "Modeling and representation of non-value adding activities due to errors and changes in design and construction projects", en *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Washington, DC, USA, 2007, pp. 2082-2089, doi: [10.1109/WSC.2007.4419840](https://doi.org/10.1109/WSC.2007.4419840).
- [21] I. Nahmens, L. H. Ikuma, "Effects of Lean Construction on Sustainability of Modular Homebuilding", *Journal of Architectural Engineering*, vol. 18, no. 6, pp. 155-163, 2012, doi: [10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000054](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000054).
- [22] H. Yu, M. Al-Hussein, S. Al-Jibouri, A. Telyas, "Lean Transformation in a Modular Building Company: A Case for Implementation", *Journal of Management in Engineering*, vol. 29, no. 1, pp. 103-111, 2013, doi: [10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000115](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000115).
- [23] L. F. Botero Botero, M. E. Álvarez Villa, "Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento)", *Revista Universidad EAFIT*, vol. 40, no. 136, pp. 50-64, 2004.
- [24] H. Giacomello, A. Kern, M. Stumpf, "Implementation of an integrated management system into a small building company", *Revista de la Construcción*, vol. 13, no. 3, pp. 10-18, 2014.
- [25] C. T. Formoso, L. Sommer, L. Koskela, E. L. Isatto, "An exploratory study on the measurement and analysis of making-do in", en *19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Lima, Peru, 2011, vol. 19, pp. 1-10.
- [26] L. Koskela, T. Bølviken, J. Rooke, "Which are the wastes of construction?", en *Conference or Workshop Item*, Manchester, 2013, pp. 1-12.
- [27] K. Pinheiro Leite, J. d. P. Barros Neto, "Value stream in housing design", en *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Fortaleza, Brazil, 2013, pp. 419-428.
- [28] D. D. Viana, C. T. Formoso, B. T. Kalsaas, "Waste in construction: A systematic literature review on empirical studies", en *20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, San Diego, USA, 2012, pp. 1-10.
- [29] J. F. P. Achell, M. B. Bonet, "A preliminary proposal for a wastebased management approach to improve performance in construction", en *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Fortaleza, Brazil, 2013, pp.115-124.
- [30] S. Moon, P. Zekavat, L. Bernold, P. Leviakangas, "Dynamic Control of Resource Logistics Quality to Eliminate Process Waste in Rebar Placement Work", *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 22, no. 10, pp. 3697-3706, 2018, doi: [10.1007/s12205-018-1883-8](https://doi.org/10.1007/s12205-018-1883-8).
- [31] F. Araya, J. Abarza, R. Gasto, L. Bernold, "Towards zero-process waste through supply chain integration in steel construction "Cómo lograr procesos con cero pérdidas a través de la integración de la cadena de suministros en las construcciones de acero", *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 31, no. 2, pp. 75-82, 2016, doi: [10.4067/S0718-50732016000200001](https://doi.org/10.4067/S0718-50732016000200001).
- [32] P. Orihuela, J. Orihuela, S. Pacheco, "Communication Protocol for Implementation of Target Value Design (TVD) in Building Projects", *Procedia Engineering*, vol. 123, no. 1, pp. 361-369, 2015, doi: [10.1016/j.proeng.2015.10.048](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.048).
- [33] R. Al-Aomar, "Analysis of lean construction practices at Abu Dhabi construction industry", *Lean Construction Journal*, vol. 28, no. 1, pp. 105-121, 2012.
- [34] N. A. Ahmad Bari, N. Abdullah, R. Yusuff, N. Ismail, A. Jaapar, "Environmental Awareness and Benefits of Industrialized Building Systems (IBS)", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 50, no. 1, pp. 392-404, 2012, doi: [10.1016/j.sbspro.2012.08.044](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.08.044).

- [35] H. Rahman, C. Wang, I. Yen, W. Lim, "Waste Processing Framework for Non-Value Adding Activities Using Lean Construction", *Journal of Frontiers in Construction Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 8-13, 2012.
- [36] R. Ansah, S. Sorooshian, S. Mustafa, "Lean construction: An effective approach for project management", *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 11, no. 3, pp. 1607-1612, 2016.
- [37] H. Ismail, Z. M. Yusof, "Perceptions Towards Non-Value-Adding Activities During The Construction Process", en *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 66, no. 15, pp. 1-8, doi: [10.1051/mateconf/20166600015](https://doi.org/10.1051/mateconf/20166600015).
- [38] S. Senaratne, D. Wijesiri, "Lean construction as a strategic option: Testing its suitability and acceptability in Sri Lanka", *Lean Construction Journal*, vol. 42, no. 1, pp. 34-48, 2008.
- [39] M. Hossain, A. Bissenova, J. Kim, "Investigation of wasteful activities using lean methodology: In perspective of kazakhstan's construction industry", *Buildings*, vol. 9, no. 5, pp. 113, 2019.
- [40] S. Alwi, K. Hampson, S. Mohamed, "Factors influencing contractor performance in indonesia: a study of non value-adding activities", en *International Conference on Advancement in Design, Construction, Construction Management and Maintenance of Building Structures*, Bandung, Indonesia, 2002, pp. 20-34.
- [41] S. Alwi, K. Hampson, S. Mohamed, "Waste in the Indonesian construction projects", en *Proceedings of the 1st international conference on creating a sustainable construction industry in developing countries*, Pretoria, South Africa, 2002, pp. 305-315.
- [42] P.-E. Josephson, M. Chao, "Use and non-use of time in construction of new multi-dwelling buildings in Sweden", *International Journal of Construction Management*, vol. 14, no. 1, pp. 28–35, 2014, doi: [10.1080/15623599.2013.875269](https://doi.org/10.1080/15623599.2013.875269).
- [43] C.-H. Ko, S.-C. Li, "Lean concurrent submittal review systems", *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 19, no. 3, pp. 478-484, 2015, doi: [10.1007/s12205-013-0254-8](https://doi.org/10.1007/s12205-013-0254-8).
- [44] S.-L. Yin, H. Tserng, S. Toong, "An improved approach to the subcontracting procurement process in a lean construction setting", *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 20, no. 3, pp. 389-403, 2014, doi: [10.3846/13923730.2013.801900](https://doi.org/10.3846/13923730.2013.801900).
- [45] P. Shetty, R. B. Prakash, "Importance of lean concepts and its need in construction projects", *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 8, no. 2, pp. 2534-2541, 2019, doi: [10.3940/ijrte.B1575.078219](https://doi.org/10.3940/ijrte.B1575.078219).
- [46] V. Vickranth, S. S. R. Bommareddy, V. Premalatha, "Application of lean techniques, enterprise resource planning and artificial intelligence in construction project management", *International Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 7, no. 6C2, pp. 147-157, 2019.
- [47] S. A. A. Ali, A. Chandramohan, K. Krishnamurthy, "New approach for direct and indirect time wastes in civil construction engineering," *International Journal of Civil Engineering and Technology*, vol. 8, no. 12, pp. 817-832, 2017.
- [48] U. H. Issa, I. Salama, "Improving productivity in Saudi Arabian construction projects: An analysis based on Lean techniques", *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 13, no. 10, pp. 8669-8678, 2018.
- [49] S. A. A. Ali, A. Chandramohan, "Time waste & delays in construction projects – A state of the art report", *Journal of Construction Management*, vol. 27, no. 4, pp. 63-72, 2012.
- [50] S. A. A. Ali, A. Chandramohan, K. Krishnamurthy, K. Ladheedha Nasrin, J. Simy, *e. al*, "Waste Data Processing Algorithm in Singular Construction Activities: A Case Involving Implementation of NAVFAC P-405", *Journal of Architectural Engineering Technology*, vol. 5, no. 4, pp. 1-8, 2016, doi: [10.4172 / 2168-9717.1000177](https://doi.org/10.4172/2168-9717.1000177).
- [51] P. Amitha, T. S. Priya, "Waste Management Process for Non-Value Adding Activities using lean construction", *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)*, vol. 3, no. 3, pp. 853-856, 2017.

- [52] U. H. Issa, M. Alqurashi, "A model for evaluating causes of wastes and lean implementation in construction projects", *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 26, no. 4, pp. 331-342, 2020.
- [53] U. Gurevich, R. Sacks, "Examination of the effects of a KanBIM production control system on subcontractors' task selections in interior works", *Automation in Construction*, vol. 37, pp. 81-87, 2014, doi: [10.1016/j.autcon.2013.10.003](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.003).
- [54] M. Goh, Y. M. Goh, "Lean production theory-based simulation of modular construction processes", *Automation in Construction*, vol. 101, pp. 227-244, 2019, doi: [10.1016/j.autcon.2018.12.017](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.12.017).
- [55] S. Moaveni, S. Banihashemi, M. Mojtahedi, "A conceptual model for a safety-based theory of lean construction", *Buildings*, vol. 9, no. 1, pp. 23, 2019, doi: [10.3390/buildings9010023](https://doi.org/10.3390/buildings9010023).
- [56] R. Aziz, S. Hafez, "Applying lean thinking in construction and performance improvement", *Alexandria Engineering Journal*, vol. 52, no. 4, pp. 679-695, 2013, doi: [10.1016/j.aej.2013.04.008](https://doi.org/10.1016/j.aej.2013.04.008).
- [57] F. Emuze, J. Smallwood, "Non Value Adding Activities in South African Construction: A Research Agenda", *Journal of Construction Engineering and Project Management*, vol. 1, no. 3, pp. 38-44, 2011, doi: [10.6106/JCEPM.2011.1.3.038](https://doi.org/10.6106/JCEPM.2011.1.3.038).
- [58] I. Maradzano, R. Dondofema, S. Matope, "Application of lean principles in the south african construction industry", *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 30, no. 3, pp. 210-223, 2019, doi: [10.7166/30-3-2240](https://doi.org/10.7166/30-3-2240).
- [59] A. Lekan, O. Segunfunmi, "Lean concept thinking-based quality management model for residential building construction projects", *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 9, no. 6, pp. 584-597, 2018.
- [60] M. Bajjou, A. Chafi, "A conceptual model of lean construction: A theoretical framework", *Malaysian Construction Research Journal*, vol. 26, no. 3, pp. 67-86, 2018.
- [61] M. Bajjou, A. Chafi, A. En-Nadi, "A comparative study between lean construction and the traditional production system", *International Journal of Engineering Research in Africa*, vol. 29, pp. 118-132, 2017, doi: [10.4028/www.scientific.net/JERA.29.118](https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.29.118).
- [62] A. Mossman, "Creating value: A sufficient way to eliminate waste in lean design and lean production", *Lean Construction Journal*, vol. 34, pp. 13-23, 2009.
- [63] P. Court, C. Pasquire, A. Gibb, "A lean and agile construction system as a set of countermeasures to improve health, safety and productivity in mechanical and electrical construction", *Lean Construction Journal*, vol. 12, pp. 61-76, 2009.
- [64] A. Sadreddini, "Time for the UK construction industry to become Lean", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering*, vol. 165, no. 5, pp. 28-33, 2012, doi: [10.1680/cien.11.00009](https://doi.org/10.1680/cien.11.00009).
- [65] C. Pasquire, J. Salvatierra-Garrido, "Introducing the concept of first and last value to aid lean design: Learning from social housing projects in Chile", *Architectural Engineering and Design Management*, vol. 7, no. 2, pp. 128-138, 2011, doi: [10.1080/17452007.2011.582335](https://doi.org/10.1080/17452007.2011.582335).
- [66] J. A. Garza-Reyes, I. Oraifige, H. Soriano-Meier, P. L. Forrester, D. Harmanto, "The development of a lean park homes production process using process flow and simulation methods", *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 23, no. 2, pp. 178-197, 2012.
- [67] Å. Gustafsson, J. Vessby, L.-O. Rask, "Identification of potential improvement areas in industrial housing: A case study of waste", *Lean Construction Journal*, vol. 3, pp. 61-71, 2012.
- [68] B. Jørgensen, S. Emmitt, "Lost in transition: The transfer of lean manufacturing to construction", *Engineering, Construction and Architectural Management*, vol. 15, no. 4, pp. 383-398, 2008, doi: [10.1108/09699980810886874](https://doi.org/10.1108/09699980810886874).
- [69] S. Bertelsen, "Lean construction: Where are we and how to proceed?", *Lean Construction Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 46-69, 2004.

- [70] A. Forsberg, L. Saukkoriipi, “Measurement of waste and productivity in relation to lean thinking”, en *Proceedings of 15th annual conference of the International Group for Lean Construction*, East Lansing, Michigan, USA, 2007, pp. 67-76.
- [71] B. T. Kalsaas, “Work-Time Waste in Construction”, en *Proceedings of the 18th Annual Conference of the IGLC, Technion, Haifa, Israel*, 2010.
- [72] C. Merschbrock, C. Nordahl-Rolfsen, “Inefficiencies in Norwegian small-scale construction, or the problem of too long trucks?”, *Procedia Engineering*, vol. 196, pp. 543-549, 2018, doi: [10.1016/j.proeng.2017.08.028](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.028).
- [73] J. Zhao, O. Seppänen, A. Peltokorpi, B. Badihi, H. Olivieri, “Real-time resource tracking for analyzing value-adding time in construction”, *Automation in Construction*, vol. 104, pp. 52-65, 2019, doi: [10.1016/j.autcon.2019.04.003](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.04.003).
- [74] D. Stadnicka, P. Litwin, “Value stream mapping and system dynamics integration for manufacturing line modelling and analysis”, *International Journal of Production Economics*, vol. 208, pp. 400-411, 2019, doi: [10.1016/j.ijpe.2018.12.011](https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.12.011).
- [75] J. Teizer, H. Neve, H. Li, S. Wandahl, J. König, B. Ochner, M. König, J. Lerche, “Construction resource efficiency improvement by Long Range Wide Area Network tracking and monitoring”, *Automation in Construction*, vol. 116, pp. 103245, 2020, doi: [10.1016/j.autcon.2020.103245](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103245).
- [76] S. Alwi, K. Hampson, S. Mohamed, “Non-value adding activities: a comparative study of Indonesian and Australian construction projects”, en *Proceedings of the 10th Conference of the International Group for Lean Construction*, 2002, pp. 627-638.
- [77] M. Arashpour, R. Wakefield, B. Abbasi, E. Lee, J. Minas, “Off-site construction optimization: Sequencing multiple job classes with time constraints”, *Automation in Construction*, vol. 71, no. 2, pp. 262-270, 2016, doi: [10.1016/j.autcon.2016.08.001](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.001).
- [78] H. Golzarpoor, V. Gonzalez, M. Shahbazpour, M. O'Sullivan, “An input-output simulation model for assessing production and environmental waste in construction”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 143, pp. 1094-1104, 2017, doi: [10.1016/j.jclepro.2016.12.010](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.010).
- [79] T. Ohno, *Toyota production system: Beyond largescale Production*. Portland, Oregon: Productivity Press, 1988.