

**Evolución e impacto mundial del
Last Planner System: una
revisión de la literatura**

Evolution and global impact of the Last
Planner System: a literature review

María Fernanda Hoyos*

Luis Fernando Botero**

Universidad EAFIT, Colombia

* Estudiante de Maestría en Ingeniería, Ingeniera Civil, Universidad EAFIT, Departamento de Ingeniería Civil, Medellín, Colombia. *mhoyosr3@eafit.edu.co*

** Magíster en Ciencias de la Administración, Profesor titular, Coordinador del Área de Gestión de la Construcción, Universidad EAFIT, Departamento de Ingeniería Civil, Medellín, Colombia. *lfbotero@eafit.edu.co*

Correspondencia: Luis Fernando Botero. Universidad EAFIT. Carrera 49 N.o 7 sur 50, Bloque 19, Oficina 514. Tel.: (057-4) 2619500, Ext. 9659. Medellín, Colombia.

Origen de subvenciones: Este artículo hace parte del proyecto "Last Planner en Colombia. Una revisión a la implementación y su impacto en el desempeño de proyectos de construcción", Código 690-000062, financiado por la Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.

Resumen

El presente artículo pretende dar a conocer el estado actual del conocimiento a nivel mundial acerca del Last Planner System¹ (LPS), sistema de planificación y control de la producción que ha transformado a nivel operacional y gerencial la industria de la construcción. Después de realizar una búsqueda sistemática en múltiples bases de datos internacionales se seleccionaron 116 artículos académicos, procedentes de distintos países, cuyo contenido se centra en el cuerpo teórico de la metodología, casos de estudio, herramientas de soporte, integración con otras metodologías e implementación en diseño.

Palabras clave: construcción lean, Last Planner System, planificación.

Abstract

This paper aims to expose the state of the art about the Last Planner System (LPS), production planning and control system that has transformed construction industry at operational and management level. After doing a systematic literature research in international databases, 116 papers from different countries were selected, whose content focuses on the theoretical framework of the methodology, case studies, support tools, integration with other methodologies and implementation in design.

Keywords: Last Planner System, lean construction, planning.

Fecha de recepción: 9 de agosto de 2016
Fecha de aceptación: 10 de septiembre de 2017

¹ "Sistema del Último Planificador". Por preferencia de los autores, el término se conservará en su idioma original durante el desarrollo del artículo.

I. INTRODUCCIÓN

Posterior al auge de la producción en masa, impulsada a comienzos del siglo XX por el estadounidense Henry Ford y la compañía automovilística que lleva su nombre, surgió un nuevo paradigma en la industria de la manufactura cuya ideología se fundamenta en el uso de una menor cantidad de recursos y la producción de una mayor y creciente variedad de productos. Dicho paradigma se impulsó desde la década de los cincuenta con el término *lean*, que se traduce de manera literal al español como “delgado”, “ajustado” o “esbelto”, entendiéndose con el término un sistema de producción que agrega valor, disminuye las pérdidas y mejora la confiabilidad del flujo de trabajo. En 1992, con la publicación de Lauri Koskela “Application of the new production philosophy to construction” [1], se sentaron las bases para adaptar la filosofía de producción *lean* al sector de la construcción, a partir del análisis de metodologías de producción como *just in time* (JIT), *total quality management* (TQC), competencia basada en el tiempo e ingeniería concurrente, lo cual dio origen a lo que actualmente se conoce como *lean construction*, o “construcción sin pérdidas”. Esta filosofía tiene por lo menos dos focos que la distinguen de la gestión de la construcción tradicional: el primero es el desperdicio y la eliminación de pérdidas, y el segundo es la gestión de los flujos de procesos [2]. Esto, según el modelo transformación-flujo-valor (TFV), plantea el objetivo de optimizar las transformaciones minimizando los tiempos de espera, inspección y movimiento, a fin de obtener más valor en los productos finales [3].

El Last Planner System (LPS), desarrollado a principios de la década de los noventa por Glenn Ballard y Greg Howell, nace como una herramienta enmarcada en los principios de la filosofía *lean construction*, y propone un sistema de planificación y control de la producción que busca maximizar el valor del proceso constructivo y disminuir la incertidumbre y variabilidad en el flujo de trabajo para alcanzar compromisos confiables. Revisiones bibliográficas anteriores a la presente se han enfocado en aspectos tales como la identificación de los retos enfrentados por los profesionales de la construcción durante la implementación y el uso del LPS a nivel organizacional y de proyecto [4]; identificación de barreras y factores críticos de éxito en la fase de implementación del sistema [5]; testimonios de la percepción, los beneficios y retos al implementar la metodología en el sector de la construcción [6]; los componentes de la herramienta implementados

y el registro de las razones para no completitud más reportadas [7]. Dichas publicaciones han limitado su búsqueda a casos de estudio con implementación en sitio, y excluyen trabajos teóricos y conceptuales. La presente revisión, por su parte, incluye publicaciones entre 1996 y el 2016, y abarca aspectos teóricos, casos de estudio, herramientas de soporte, integración con otras metodologías e implementación en diseño.

II. METODOLOGÍA

El proceso de búsqueda partió de una revisión sistemática a la literatura académica en bases de datos internacionales y en el compendio de publicaciones del International Group for Lean Construction (IGLC), y el Lean Construction Institute (LCI), organizaciones académicas dedicadas a la divulgación de la filosofía *lean*, así como a la transformación de la industria de la construcción y áreas afines a nivel mundial. En las bases de datos internacionales la información se filtró inicialmente con palabras clave como *Last Planner*, *planning* y *lean construction*; en las páginas web del IGLC y el LCI se ingresó al compendio de documentos producto de sus trabajos anuales, y se procedió a depurar la información según el título y resumen del contenido. Posteriormente, se ahondó en cada publicación, se determinó su pertinencia en el artículo y, en aquellas seleccionadas, se encontraron algunas referencias cruzadas que no estaban contenidas en el filtro inicial.

III. CUERPO TEÓRICO

Según Koskela [8], la teoría es aquello que explica una conducta observada y contribuye a su entendimiento, por ende, es fundamental en el aprendizaje de cualquier disciplina. Por medio de la teoría se genera un lenguaje común o marco conceptual a través del cual se facilita la cooperación de las personas en una labor colectiva. El fundamento teórico del LPS se consolidó a partir de la publicación de la tesis doctoral de Glenn Ballard [9] en el 2000, en la cual el autor propuso mejoras al sistema que derivaron en nuevos conceptos y técnicas. Posteriormente, se fueron sumando más trabajos teóricos que permitieron ampliar el conocimiento que da soporte a la herramienta, especialmente aquellos relacionados con el ámbito socio-cultural del LPS. Koskela y Howell [10] describieron en el 2002 el LPS como teoría alternativa a la doctrina tradicional, con base en su resumen de la fundamentación teórica de la gestión de proyectos. En el 2003, Ballard y Howell [11], los creadores del

sistema original, publicaron una actualización de este en la que describían la fase de programación como el vínculo entre la estructuración del trabajo y el control de la producción, además de un listado de recomendaciones y cambios surgidos a partir de la teoría y la práctica de la metodología. En este mismo año, los autores Macomber y Howell [12] adicionaron la perspectiva de acción lingüística (*language-action perspective*, LAP) como componente esencial de la teoría *lean*, con el propósito de detallar la parte humana que afecta el desarrollo de los proyectos. En el 2005, Macomber *et al.* [13] propusieron un conjunto de prácticas para cumplir las promesas de forma confiable con el fin de aproximarse al ideal de flujo de trabajo sin interrupciones, y Mitropoulos [14] presentó la métrica *planned work ready* (“trabajo planeado disponible”), con el propósito de evaluar y mejorar el proceso de preparación de las actividades que se llevan a cabo en la planificación intermedia. Un año más tarde, Sacks y Harel [15] argumentaron, con base en la teoría de juegos, cómo la relación entre los gerentes de proyectos y los subcontratistas pasa de ser competitiva a colaborativa en la medida que aumenta la confiabilidad del plan de trabajo. En el 2008, el autor Gehbauer [16] resaltó el potencial del LPS para generar cambios, no solo a nivel del proyecto, sino también a nivel organizacional y cultural, en los que la comunicación es el factor predominante de éxito. En el 2012, se abordó el LPS desde la teoría del aprendizaje, con aportes de autores como Kalsaas [17], quien destacó la presencia de un ciclo de aprendizaje experimental en el LPS y un impacto positivo en el ámbito de aprendizaje técnico-organizacional tras la implementación del sistema, así como los de de Skinnerland e Yndesdal [18], quienes orientaron su estudio a la luz del modelo de creación de conocimiento de Nonaka, y reconocieron la contribución del LPS a la creación de nuevos conocimientos, habilidades y competencias en los proyectos de construcción.

En pocas palabras, el término *last planner* se refiere a la cadena jerárquica de planificadores, en la que el último planificador actúa en la fase de ejecución de las asignaciones [10]. Estas últimas, afirma Ballard [9], aluden al trabajo directo como resultado de la planificación detallada a nivel de la unidad de producción. Al respecto, el autor precisa que una asignación debe contar con ciertas características de calidad, tales como: estar bien definida, ser consecuente con la lógica interna del trabajo, designarse en la proporción adecuada según las tasas de producción de las cuadrillas, y contar con disponibilidad de recursos y completitud de prerrequisitos [9]. El LPS lo integran tres eslabones de planificación: el plan maestro o plan general, el

plan intermedio o *lookahead*, y el plan semanal o plan a corto plazo. El plan maestro es el primer eslabón en la cadena jerárquica del sistema, y en este se define aquello que *debe* realizarse, es decir, los capítulos y subcapítulos que componen el proyecto, las relaciones en el tiempo y en el espacio entre las diferentes actividades programadas, los hitos exigidos para el cumplimiento de plazos establecidos, así como el alcance y los plazos de entregas parciales [19]. El plan intermedio es el segundo eslabón; en este se define aquello que *puede* realizarse en un horizonte de tiempo que varía entre 4 y 12 semanas, según los tiempos de reacción, los procedimientos internos de la compañía y las particularidades de cada proyecto. En el plan intermedio se busca reducir la incertidumbre del proceso constructivo, al detectar — previo a la asignación de las actividades —, las restricciones que limitan su ejecución, con el fin de eliminarlas y asegurar una vía libre para el inicio oportuno de las tareas. Finalmente, en el plan semanal se define lo que *se hará* durante la semana próxima en función de los objetivos cumplidos en la semana que finaliza [19]. El plan semanal es un proceso colaborativo en el que intervienen los subcontratistas, los maestros y los profesionales de la obra y, en ocasiones, el personal de soporte, como, por ejemplo, el almacenista o el encargado de la seguridad y la salud en el trabajo. En el último eslabón del proceso de planificación el equipo de trabajo se compromete con las asignaciones a ejecutar y se discuten las razones de no cumplimiento (RNC) de las asignaciones que no fueron completadas.

IV. CASOS DE ESTUDIO

Debido a la practicidad de la metodología y el estudio cualitativo que facilita, el tipo de publicación más común ha sido el caso de estudio. En la Tabla 1 se muestran las publicaciones de esta índole incluidas en la revisión, clasificadas por país y año.

Tabla 1. Casos de estudio por país y año de publicación

Continente	País	Publicaciones por año		
		1996-1999	2000-2009	2010-2016
África	Egipto	-	-	[20]
	Marruecos	-	-	[21]
	Nigeria	-	-	[22], [23]
América	Brasil	[24]-[26]	[27]-[31]	[32], [33]
	Chile	-	[34]-[36]	[37]-[42]
	Colombia	-	[43]	[44]
	Ecuador	-	[45]	-
	Estados Unidos	[46], [47]	[48]-[50]	[51]-[58]
	México	-	-	[59]
	Venezuela	[60]	-	-
	Arabia Saudita	-	[61]	-
Asia	China	-	-	[62], [63]
	Corea del Sur	-	[64], [65]	[66]
	Israel	-	-	[67]
	Líbano	-	-	[68], [69]
	Vietnam	-	-	[70]
Europa	España	-	-	[71]
	Finlandia	-	-	[72], [73]
	Noruega	-	-	[74], [75]
	Reino Unido	-	[76]	-
	Suecia	-	[77]	-
Oceanía	Nueva Zelanda	-	-	[78]

Tras la revisión de estos artículos, se presenta el resumen de los principales resultados encontrados en los proyectos bajo estudio, las RNC identificadas, las barreras críticas en la implementación del sistema y algunas conclusiones relevantes.

A. Resultados principales

Los indicadores principales obtenidos tras la implementación del LPS son el porcentaje de asignaciones completadas (PAC), definido como la relación entre el número de asignaciones completadas y el número de asignaciones planificadas, y las RNC [28]. El PAC es una forma de medir el desempeño del

proyecto y la confiabilidad del flujo de trabajo [47], puesto que permite ejercer el control a nivel de la unidad de producción [9]. La mayoría de autores reportaron un incremento de este indicador como consecuencia de la aplicación del LPS [20], [23], [24], [27], [34], [35], [43], [45]-[47], [60], [63], [64], lo cual refleja el aumento de confiabilidad del sistema de planificación [34] y una mayor posibilidad de alcanzar el éxito en el proyecto [38]. Asimismo, se evidenció mejora en el factor de productividad, definido como la relación entre las horas hombre reales y presupuestadas [45], [47], [60]. Al respecto, se diferencian dos niveles de análisis en un proyecto de construcción: a nivel de proyecto y a nivel de actividad. El indicador PAC corresponde al primer nivel, puesto que se calcula a partir de un grupo de asignaciones definidas en un plan de trabajo, en tanto que los indicadores de productividad corresponden al nivel de actividad [36]. El PAC se asocia con la gestión por procesos (*managing by means*, MBM), en tanto que el factor de productividad se fundamenta en la gestión por resultados (*managing by results*, MBR) [55]. Por esto, aunque no son comparables de forma directa, puede existir una correlación positiva entre ellos, pues ambos permiten medir mejoras en la confiabilidad de la planificación [66]. La clave en cuanto al mejoramiento de la productividad laboral como efecto de la implementación del LPS está en enfocarse en mantener un flujo de trabajo predecible, pues cuando la variabilidad en el flujo de trabajo disminuye, aumenta la productividad [54]-[63].

Algunos autores reportaron también un aumento en el indicador porcentaje de restricciones removidas (*percentage constraint removal*, PCR), como medida del desempeño de la preparación de las asignaciones (*make ready process*) y pronóstico del progreso de la planificación futura [38], [50]. Se encontró también una correlación positiva entre el grado de implementación del LPS y el desempeño del proyecto [53], con beneficios tales como disminución de reprocesos y mejor distribución de recursos en el tiempo [25]-[77], lo cual repercute en la disminución del tiempo no productivo [35]-[47] y la reducción de la duración total del proyecto [25]-[35]-[78]; mejor organización en el sitio [25], [32]; mayor control sobre las asignaciones [32] y la productividad del contratista [21]; disminución en la variación del PAC [34], [35]-[38]; reducción en la variación de la duración de las actividades y holguras más ajustadas [58], así como mayor facilidad en la toma de decisiones en sitio [27]. Desde una perspectiva social, se observó que el diálogo y la resolución conjunta de problemas crearon un mayor grado de responsabilidad, lo que a su vez afectó positivamente el bienestar, la satisfacción en sitio [74], la

colaboración en la producción [75], la coordinación entre las partes [69] y el espíritu de trabajo en equipo [21], lo cual permitió un claro entendimiento de la planificación y del proyecto [59].

B. Razones de no cumplimiento

Se pueden clasificar en dos grandes grupos según su origen: agentes internos y agentes externos (véase la Tabla 2). Los primeros corresponden a aspectos organizacionales y factores humanos controlables por el personal que administra la obra; los segundos son aquellos ajenos al control de la organización. Se observó que en las primeras semanas de aplicación, el porcentaje de las RNC asociadas con agentes internos es mayor que el relacionado con agentes externos; estos últimos incrementan su participación con el tiempo, en tanto que los primeros disminuyen, lo cual evidencia un mejor control de la administración [35]-[37].

Tabla 2. RNC frecuentes en la implementación del sistema

	RNC	Autores
Aspectos organizacionales	Percances con el abastecimiento de materiales (disponibilidad, suministro deficiente, distancia de la obra al sitio de provisión, aumento de precios, equivocaciones o retrasos en el proceso de compra o entrega)	[23], [26], [28], [30], [35], [37], [46], [49], [60], [61], [63],[65]
	Conflicto con prerrequisitos no completados	[23], [30], [43], [45], [47], [49], [61], [63], [65]
	Falta de recursos	[45], [47]
	Percances con equipos y herramientas de trabajo	[28], [29], [35], [37], [61], [63]-[65]
	Tiempo insuficiente para completar las asignaciones	[34], [47]
	Estimación imprecisa de la duración de las actividades	[46], [68]
	Mala estimación de ratas de producción o rendimientos	[30], [37]
	Definición inapropiada del tamaño de las cuadrillas	[27], [37], [65]
	Reprocesos	[46], [63], [68]
Factores humanos	Contratiempos y falta de coordinación con proveedores	[28], [29], [35]
	Contratiempos con la mano de obra como ausentismo y accidentes laborales	[23], [26], [28], [29], [31], [37], [46], [49], [61], [63], [65], [68], [76]
Agentes externos	Mal clima	[28], [29], [43], [46], [49], [63], [65]
	Retrasos de terceros	[24]
	Cambios en el proyecto por retrasos, variaciones en diseño o decisión del cliente	[24], [28], [29], [35], [37], [43], [47], [65]

C. Barreras en la implementación

Las barreras que entorpecen la implementación del sistema giran en su mayoría en torno a factores humanos, culturales y organizacionales. En la Tabla 3 se resumen algunas de las más comunes encontradas en el medio.

Tabla 3. Barreras comunes en la implementación del sistema

	Barreras en la implementación	Autores
Factores humanos y culturales	Resistencia al cambio por miedo, evitar asumir compromisos o por el deber de incluir a los subcontratistas en las reuniones de planificación	[34], [62], [69]
	Poca familiaridad con el sistema	[22]
	Escepticismo frente a los beneficios de su implementación	[23]
	Bajo compromiso por la falta de confianza entre los miembros del equipo	[42]
	Compromiso y actitud frente a la puntualidad	[61]
	Inconvenientes con el idioma y la cultura en los casos en que los trabajadores provenían de varias regiones o agrupaciones étnicas diferentes	[67], [70]
	Dificultad para decir "no" por miedo a violar el protocolo tradicional basado en el modelo de mando de directivos a subordinados	[47], [64]
	Pasar de dar órdenes a los contratistas a motivarlos a asumir sus propios compromisos	[44]
	Dificultad para mantener a todos anotando sus retrasos, pues la revisión del trabajo ejecutado no era una práctica común	[78]
Organizacionales	Falta de integración de la cadena de producción: cliente, proveedores de materiales, subcontratistas	[35], [70]
	Falta de vinculación entre los niveles de planificación del sistema, lo cual disminuye el enfoque proactivo y ocasiona que el pac pierda relación con el progreso general del proyecto	[48], [52]
	Falta de comunicación y de gerenciamiento visual para generar información oportuna	[62]
	Extrema dificultad para construir reservas de actividades ejecutables	[60]
	Insuficiente preparación de las reuniones de planeación	[34]
	Bajo entendimiento de los elementos del Ips, el por qué debe ser usado y los beneficios que trae consigo	[35], [70], [77]
	Falta de incentivos para los subcontratistas	[76]
Forma de contratación, pues es común que el diseño se contrate independiente a la construcción, lo cual obstaculiza la integración del conocimiento e incide en la recurrencia de cambios futuros	[78]	

D. Conclusiones relevantes

De lo anterior se llegó a diversas conclusiones, y se traen a colación algunas de ellas. Se destacó el hecho de que la deficiencia en los sistemas de planeación se debe a la falta de instrucciones y a la falta de aplicación de un proceso estandarizado [48]. A fin de que la herramienta se convierta en una práctica predominante, la gente debe tener el conocimiento del qué y el porqué del sistema, saber cómo actuar y, lo más importante, la voluntad y el deseo de hacerlo [73]. Por tanto, en la fase de adopción se necesita un liderazgo constante, comprometido y positivo; una vez se haya interiorizado y estandarizado su uso, debe haber motivación y retroalimentación repetitiva [72]. Asimismo, se destacó la importancia del análisis de restricciones, puesto que permite identificar los aspectos que limitan la ejecución de las actividades [71]; igualmente, el análisis de la causa raíz de las RNC, puesto que si esta no se examina es difícil prevenir su recurrencia [52], [57]. Se destacó también el hecho de que el LPS no es solo un sistema para la planificación y el control de la producción, sino también un facilitador y promotor del intercambio social [51], [67]. También se resaltó, con base en la perspectiva de acción lingüística (LAP) [33], la importancia de asegurar el mutuo entendimiento y la coordinación efectiva dentro de la red de compromisos en la organización, y la presencia del efecto de amplificación (*bullwhip effect*) de las conversaciones, la propagación y la distorsión progresiva de las conversaciones en los subprocesos del LPS, lo cual deteriora el desempeño del proyecto [39]-[41].

V. HERRAMIENTAS DE SOPORTE

Las primeras herramientas de soporte al LPS se dieron al final de la década de los noventa, con publicaciones de desarrollo de software como el WorkPlan [79], el WorkMovePlan [80] y el Integrated Production Scheduler (IPS) [81]-[83], como respuesta a las limitaciones de las herramientas disponibles hasta entonces para la programación de la construcción. Hasta esa fecha, muchos de los planes de trabajo semanales se preparaban a mano, con lápiz y papel, y se descartaban una vez habían cumplido su propósito. Además, guardaban poca relación con la ruta crítica del proyecto y no se utilizaban con el fin de registrar las horas de trabajo o la completitud de las labores [79]. El WorkPlan propuso un almacenamiento sistemático de la información, con una guía paso a paso para la creación de planes de

trabajo, la identificación de restricciones, el registro del progreso de las actividades planeadas y la localización de los recursos que permitieran ejecutarlas [79]. El WorkMovePlan integró las funciones del WorkPlan con la programación de espacios requeridos en el proyecto y el intercambio de datos y preguntas entre participantes [80], [84]. Por su parte, el Integrated Production Scheduler propuso mejorar la planificación y la programación en la construcción con énfasis en la elaboración de un *lookahead* más robusto y con menor incertidumbre, al incorporar información sobre la disponibilidad de recursos e información integrada de cada actividad [81]. A comienzos del siglo XXI se hizo extensiva la metodología del WorkPlan al diseño, con la propuesta del DePlan [85], la cual integró la herramienta computacional con la Técnica de Planificación Analítica de Diseño (ADEPT). Meses después, algunas compañías miembros del LCI e instituciones académicas como la Universidad Loughborough en Reino Unido y la Universidad Católica de Chile, presentaron la retroalimentación como probadores beta del WorkPlan, WorkMovePlan y DePlan, apoyados en su experiencia de trabajo con el LPS [86]. Los autores resaltaron sugerencias como la necesidad de sincronizar, actualizar y distribuir efectivamente la información entre el personal, y las barreras como la dificultad de cambiar la mentalidad tradicional de control centralizado a un control distribuido, lo que genera falta de transparencia en el proceso. Este último inconveniente fue confirmado por el Centro de Excelencia en Gestión de la Producción (GEPUC) de la Universidad Católica de Chile y algunas compañías involucradas en proyectos colaborativos que intentaron implementar el WorkMovePlan, ya que coincidieron con esta barrera de cultura organizacional, además de recibir críticas de los usuarios como la falta de información gráfica y la multiplicidad de pantallas de entrada [87]. Posteriormente, como un complemento a los software anteriores surgieron el Lewis (Lean Enterprise Web-based Information System for Construction) [88] y el Plan Control [87]. El primero se creó como un repositorio en línea que buscaba integrar el sistema gerencial aguas arriba con la planificación, y los sistemas de producción aguas abajo, al facilitar la comunicación y coordinación entre estos mediante el almacenamiento de información y la gestión de restricciones con visualización 4D (en tres dimensiones y en tiempo real). El Plan Control, por su parte, motivado principalmente por las falencias de los demás sistemas con respecto a la cultura organizacional, nació como un sistema de soporte que inducía un ciclo de aprendizaje de los elementos del LPS, con el propósito de mejorar los indicadores de productividad e incrementar la transparencia en los procesos

a través del acceso a la información de planificación del proyecto de todas las partes involucradas. Años después, Engelmann *et al.* [89] propusieron un sistema integrado de información cuyo objetivo era “reemplazar” o hacer las veces de las personas ausentes en las fases de planificación tempranas del proyecto, mediante una plataforma de comunicación con agentes de software. González *et al.* [90] plantearon el Reliable Commitment Model, una herramienta para facilitar la toma de decisiones a corto plazo, ajustar la carga con la capacidad de trabajo y mejorar la confiabilidad en la planificación a nivel operacional mediante modelos estadísticos basados en datos históricos de producción para cada actividad. Mota *et al.* [91] y Hamzeh *et al.* [92] elaboraron, mediante software especializado, modelos de simulación computacional, los primeros acerca del LPS desde sus tres niveles de planificación: a largo, mediano y corto plazo, con el propósito de clarificar la influencia de la variabilidad y los retrasos en sitio en las fluctuaciones del PAC, así como de explorar estrategias de producción futura; los segundos, enfocándose en la dinámica del proceso de planificación intermedia como precursor de la ejecución de las actividades y su influencia positiva en la reducción de la duración total del proyecto. Finalmente, se alude al trabajo reciente de los autores Ponz-Tienda *et al.* [93], quienes desarrollaron el complemento de Excel Senda Matrix, al modificar el algoritmo de Zaderenko e incluir todas las relaciones de precedencia entre las actividades, e integrar el PAC con los factores de productividad de la gestión del valor ganado (*earned value management*, EVM).

VI. INTEGRACIÓN CON OTRAS METODOLOGÍAS

Muchos autores han propuesto integrar diversas herramientas con la metodología del LPS, con la intención de robustecer el sistema al reunir las fortalezas y beneficios de ambos; se alude en el presente artículo a la integración con la metodología Six Sigma, el modelado de información de la construcción (*building information modeling*, BIM), y el sistema de gestión basado en localización (*location-based management system*, LBMS). Al respecto, Abdelhamid planteó en el 2003 la implementación de la metodología Six Sigma en los principios de la construcción *lean*, con el objetivo de tener mayor control sobre la variabilidad de los procesos y lograr un flujo de trabajo confiable mediante la aplicación de un conjunto de herramientas de análisis estadístico [94]. En esta primera publicación se contrastó la similitud entre el indicador rendimiento real del proceso (*yield rolled troughput*, $Y_{RT} = \prod_{i=1}^m Y_i$, donde m

es el número de procesos involucrados y Y_i es el rendimiento del proceso i), el cual indica la probabilidad de que una unidad pueda pasar a través de una serie de procesos libre de defectos, con el indicador PAC del LPS, y se propuso extender el indicador sigma al PAC con el propósito de evaluar el nivel de calidad sigma y la tasa de defectos en el proceso expresada en partes por millón (ppm).

La adaptación y aplicación de las técnicas y mediciones Six Sigma en un proyecto de construcción fueron reportadas por Abdelhamid y Beary en el 2006 [95], quienes midieron el PAC real ($PAC_{real} = \prod_{i=1}^m PAC_i$, donde m es el número de procesos involucrados y PAC_i el porcentaje de la actividad i completado) y el PAC promedio, y corroboraron que la aplicación conjunta de las dos metodologías podría ayudar a clarificar la eficacia en el proceso de planificación de la producción, pues ambas permiten hacer comparaciones respecto a la completitud de las actividades. Por su parte, Sacks *et al.* [96], Bhatla y Leite [97], Khan y Tzortzopoulos [98], Mahalingam *et al.* [99], Garrido *et al.* [100], Tillman y Sargent [101], y Toledo *et al.* [102] estudiaron la integración del LPS con el BIM, proceso colaborativo de diseño, construcción y operación de la edificación, mediante un modelo paramétrico en tiempo real, facilitado por la tecnología de la información [100]. El LPS facilita la adopción del BIM [99] y el uso de este asiste la toma de decisiones en la planificación intermedia y a corto plazo, pues suministra la información correcta en tiempo real [100]. Además, enriquece la comunicación y simplifica la solución de problemas [101], reduce los cambios en el proyecto y da un valor agregado al cliente [97], mejora la confiabilidad y disminuye la variabilidad del proceso tanto en la etapa de diseño como en la constructiva [98]-[102]. De esta forma, los autores coinciden en que ambas herramientas se complementan entre sí y su implementación simultánea conduce a un mejor desempeño en el proyecto. Entretanto, Seppänen *et al.* [103], [104], Dave *et al.* [105], [106], y Olivieri *et al.* [107] trabajaron la integración del LPS con las herramientas técnicas del LBMS, técnica de planificación que permite monitorear y optimizar la producción mediante la visualización del flujo de actividades, los rendimientos y las holguras del proyecto. Además de responder los interrogantes “qué” y “cuándo”, la técnica responde el “dónde” se va a ejecutar el trabajo programado [105] al integrar el método de la ruta crítica con la programación con línea de flujo. El detallado de forma colaborativa del plan maestro y el plan de fases en el LBMS, mediante el desglose general de la estructura, permiten generar una alerta temprana

y así advertir restricciones y dar información gráfica de causas raíz en la planificación intermedia y semanal [103], [104]. Asimismo, el análisis de restricciones y la planificación a nivel operacional que se llevan a cabo en el LPS permiten actualizar los pronósticos del LMBS para detectar retrasos potenciales o baja productividad [106].

VII. IMPLEMENTACIÓN EN DISEÑO

Koskela *et al.* [108] presentaron en 1997 el primer caso de estudio que proponía la implementación del LPS como método asociado en la gestión del diseño² *lean*. La completitud de las asignaciones se evaluó con el indicador PAC, el cual alcanzó pronto el 70 %, y se identificaron las RNC; la más recurrente fue la falta de tiempo debido a otras tareas. En esta primera aproximación surgieron las pruebas iniciales en las que la metodología se podría aplicar con éxito en la etapa de diseño, y el proceso fue más disciplinado y transparente en comparación con un diseño tradicional. Posteriormente, Miles [109] reportó un caso de estudio en el que se integró el trabajo de diseño y construcción a través de las prácticas *lean*. Además de medir el PAC y exponer las RNC en la planificación semanal, se incluía la aplicación de la planificación intermedia. En este caso, el precio del diseño disminuyó en un 7 % aproximadamente, el promedio del PAC se mantuvo cercano al 75 % y se identificó la subestimación del esfuerzo requerido para ejecutar la asignación, como la RNC con mayor ocurrencia. Por su parte, el caso de estudio exploratorio dentro de la tesis doctoral de Ballard [9] alcanzó un PAC promedio del 57 %, y se destacaron falencias como la falta de preparación de los participantes, la definición pobre de las asignaciones, la ausencia de planificación intermedia y la falta de análisis de la causa raíz de las RNC. El autor encontró evidente la necesidad de mejorar la confiabilidad en la planificación del proceso de diseño y sugirió para ello algunas mejoras requeridas, tales como el entrenamiento adicional a los participantes, la pormenorización de las asignaciones y sus prerrequisitos, así como la aplicación y la retroalimentación de la planificación intermedia [110]. Años más tarde, los autores Ballard *et al.* [111] analizaron dos nuevos casos de estudio en los que los principios, las funciones y los métodos del LPS parecían viables en la etapa de diseño, y la

² El diseño se entiende, en términos generales, como el proceso de creación o proyección previo a la construcción; no hay especificidad en cuanto al tipo de diseño referido: estructural, arquitectónico, entre otros.

planificación intermedia hacía parte habitual del trabajo de planificación. En esta publicación se recomendó considerar el nivel de incertidumbre, el ritmo de ejecución y la complejidad del trabajo para adaptar los métodos del sistema según los requerimientos del proyecto específico. Hamzeh *et al.* [112] mostraron también la aplicabilidad del sistema mediante un caso de estudio en el que se estandarizó con éxito el proceso previo a varias sesiones de entrenamiento y capacitación en prácticas *lean*; en esta ocasión se destacó la abundancia de procesos iterativos, la complejidad y la alta interdependencia entre las actividades involucradas en diseño. Kerosuo *et al.* [113], por su parte, se enfocaron en estudiar cómo el LPS afecta los procesos colaborativos durante el diseño y el cambio de orientación de los participantes de reactiva a proactiva; se observó un aumento en el número de asignaciones completadas y una mayor preocupación por parte de los diseñadores en cuanto a la interdependencia de las actividades.

Rosas [114] presentó un modelo de integración del LPS con la técnica de la matriz de estructura de diseño (Design Structure Matrix, DSM), con la intención de mejorar la visualización y el control de las asignaciones, generar una toma de decisiones más rápida y un flujo de trabajo continuo. Se cita también el aporte de Wesz *et al.* [115], quienes tras implementar el sistema propusieron un modelo de planeación y control de diseño; los autores encontraron mayor transparencia en el proceso, un flujo de trabajo mejorado, mayor colaboración y compromiso entre los miembros del equipo, así como mayor cumplimiento de la programación. Finalmente, se alude al trabajo de Fosse y Ballard [116], quienes resaltaron aspectos como el control del proceso con la medición del PAC, el control de volumen de entregas y la mentalidad planear-hacer-chequear-actuar en las reuniones de diseño.

VIII. CONCLUSIONES

A partir de la presente revisión bibliográfica se encontraron numerosas publicaciones que dan cuenta de la expansión y el fortalecimiento de la metodología del LPS a través del tiempo. El banco de conocimiento es muy amplio, sin embargo, muchas veces las conclusiones de los autores son muy breves y se muestran numerosos resultados sin ahondar posteriormente en estos. Además, se observó eventualmente la tendencia a publicar en más de una ocasión el mismo artículo, con variaciones insignificantes en el título y el contenido.

Los autores recomiendan una etapa de aprendizaje previa a la aplicación del LPS en proyectos reales, con el fin de sensibilizar al equipo de trabajo y aminorar las barreras en la fase de implementación que obedecen a la falta de conocimiento. Se sugiere crear un espacio de discusión colaborativa y brindar capacitaciones teórico-prácticas en las que se explique la base teórica de la herramienta y se muestren resultados en proyectos de alcance similar al que se va a ejecutar. Cuando el sistema ya esté puesto en marcha, se sugiere hacer énfasis en identificar las restricciones en la etapa de planificación intermedia y las RNC en las reuniones de planificación a corto plazo, con el fin de tener mayor control sobre estas, evitar recurrencia en el futuro y estabilizar en óptimas condiciones el flujo de trabajo. Cabe resaltar la importancia de detallar las RNC, pues razones como “materiales”, “equipos”, “subcontratistas”, son expresiones ambiguas que pueden tener diversas interpretaciones. Asimismo, la planificación intermedia y el plan maestro deben retroalimentarse y actualizarse constantemente, según las variaciones respecto al plan inicial que surjan en el tiempo; dichas actualizaciones deben hacerse extensivas a todo el grupo de trabajo.

Por último, se hace la salvedad de que la presente síntesis del estado del arte se fundamenta en publicaciones de índole académica, escritas en inglés o español y dadas a conocer entre 1996 y el 2016 en el sector de la construcción. Los casos de aplicación alrededor del mundo son numerosos, pueden incluso existir muchos más países donde la metodología se haya implementado con éxito y se haya extendido a otras áreas del conocimiento. Sin embargo, en muchos casos la divulgación de sus resultados no se plasma en un artículo a la luz de la comunidad académica. Los autores dejan una invitación abierta a investigar, documentar y compartir los resultados obtenidos, con el fin de generar un banco de conocimientos más amplio que permita un mejoramiento continuo de los profesionales involucrados en el área. Además, para futuras investigaciones, se recomienda ahondar en temas como la vinculación de los tres niveles de planificación mediante un software que permita la actualización automática de la programación en obra; las sesiones de *pull-planning* y la estandarización de procesos a partir de una guía o manual con buenas prácticas que permita orientar al profesional en la implementación de la metodología.

REFERENCIAS

- [1] L. Koskela, *Application of the New Production Philosophy to Construction*. Stanford University, Espoo, Finlandia, 1992.
- [2] G. Ballard, G. Howell, "Implementing lean construction: stabilizing work flow", *Proceedings of the 2nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Santiago, Chile, 1994.
- [3] L. Koskela, "An exploration towards a production theory and its application to construction", *Doctor of Technology*, Helsinki University of Technology, Espoo, Finlandia, 2000.
- [4] V. Porwal, J. Fernández-Solis, S. Lavy, Z. K. Rybkowski, "Last Planner System Implementation Challenges", *Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Technion, Haifa, Israel, 2010.
- [5] D. Brady, P. Tzortopoulos, J. Rooke, "An examination of the barriers to Last Planner Implementation", *Proceedings of the 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Lima, Perú, 2011.
- [6] J. L. Fernández-Solis *et al.*, "Survey of motivations, benefits and implementation challenges of Last Planner System users", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 139, n.º 4, pp. 354-360, 2013. doi: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000606
- [7] E. I. Daniel, C. Pasquire, G. Dickens, "Exploring the implementation of the Last Planner System through IGLC community, twenty one years of experience", *Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Perth, Australia, 2015.
- [8] L. Koskela, "Management of production in construction-a theoretical view", *Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Berkeley, EE. UU., 1999.
- [9] H. G. Ballard, "The Last Planner System of production control", *Tesis doctoral*, School of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Birmingham, Salford, RU, 2000.
- [10] L. Koskela, G. Howell, "The theory of project management- explanation to novel methods", *Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Gramado, Brasil, 2002.
- [11] G. Ballard, G. Howell, "An update on Last Planner", en *Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Virginia, EE. UU., 2003.
- [12] H. Macomber, G. Howell, "Linguistic action: contributing to the theory of lean construction", en *Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Virginia, EE. UU., 2003.

- [13] H. Macomber, G. Howell, D. Reed, "Managing promises with the Last Planner System-closing in on uninterrupted flow", en Proceedings of the 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Sydney, Australia, 2005.
- [14] P. Mitropoulos, "'Planned work ready': a proactive metric for project control", en Proceedings of the 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Sydney, Australia, 2005.
- [15] R. Sacks, M. Harel, "How last planner motivates subcontractors to improve plan reliability a game theory model", en Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Santiago, Chile, 2006.
- [16] F. Gehbauer, "Lean organization-exploring extended potentials of the last planner system", en Proceedings of the 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Manchester, RU, 2008.
- [17] B. T. Kalsaas, "The last planner style of planing-its basis in learning theory", *Journal of Engineering, Project, and Production Management*, vol. 2, n.º 2, pp. 88-100, 2012.
- [18] S. Skinnarland, S. Yndesdal, "The Last Planner System as a driver for knowledge creation", en Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, EE. UU., 2012.
- [19] A. D. Rodríguez, L. F. Alarcón, E. Pellicer, "La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador", *Revista de Obras Públicas*, pp.1-9, 2011.
- [20] U. H. Issa, "Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time", *Alexandria Engineering Journal*, vol. 52, pp. 697-704, 2013.
- [21] H. Hicham, C. Taoufiq, S. Aziz, "Last Planner System: Implementation in a Moroccan construction project", en Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, EE. UU., 2016.
- [22] I. Adamu, G. Howell, "Applying Last Planner in the Nigerian construction industry", en the Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, EE. UU., 2012.
- [23] O. Ahiakwo, D. Oloke, S. Suresh, J. Khatib, "A case study of Last Planner System implementation in Nigeria", en Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Fortaleza, Brasil, 2013.
- [24] A. S. Itri, "Last planner, look ahead, PPC: a driver to the site operations", en Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Guarujá, Brasil, 1998.

- [25] J. A. Junior, A. Scola, S. A. Itri, "Last planner as a site operations tool", en the Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Guarujá, Brasil, 1998.
- [26] R. J. Mendes, L. F. M. Heineck, "Towards production control on multi-story building construction sites", en Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, EE. UU., 1999.
- [27] A. Soares, M. Bernardes, C. Formoso, "Improving the production planning and control system in a building company: contributions after stabilization", en Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Gramado, Brasil, 2002.
- [28] R. C. Bortolazza, D. Bastos, C. T. Formoso, "A Quantitative Analysis of the Implementation of the Last Planner System in Brazil", en Proceedings of the 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Sydney, Australia, 2005.
- [29] R. C. Bortolazza, C. T. Formoso, "A Quantitative Analysis of Data Collected From the Last Planner System in Brazil", en Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Santiago, Chile, 2006.
- [30] S. L. Kemmer, L. F. Heineck, M. Novaes, C. A. Mourao, T. Alves, "Medium-term planning: contributions based on field application", en Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Michigan, EE. UU., 2007.
- [31] C. Formoso, C. Moura, "Evaluation of the impact of the last planner system on the performance of construction projects", en Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan, 2009.
- [32] D. Viana, C. Mota, C. Formoso, M. Echeveste, M. Peixoto, C. Rodrigues, "A survey on the Last Planner System-Impacts and difficulties for implementation in Brazilian companies", en Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Technion, Haifa, Israel, 2010.
- [33] D. Viana, C. Formoso, E. L. Isatto, "Modelling the network of commitments in the Last Planner System", en Proceedings of the 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Lima, Perú, 2011.
- [34] L. F. Alarcón, S. Diethelmand, O. Rojo, "Collaborative implementation of Lean Planning Systems in Chilean construction companies", en Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Gramado, Brasil, 2002.

- [35] L. F. Alarcón, S. Diethelmand, O. Rojo, R. Calderón, "Assessing the impacts of implementing lean construction", *Revista Ingeniería de Construcción*, vol. 23, pp. 26-33, 2008.
- [36] V. González, L. F. Alarcón, F. Mundaca, "Investigating the relationship between planning reliability and project performance", *Production Planning and Control*, vol. 19, n.º 5, pp. 461-474, 2008.
- [37] M. Andrade, B. Arrieta, "Last planner en subcontrato de empresa constructora", *Revista de la Construcción*, vol. 10, n.º 1, pp. 36-52, 2011.
- [38] L. F. Alarcón, J. L. Salvatierra, J. A. Letelier, "Using last planner indicators to identify early signs of project performance", en *Proceedings of the 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Oslo, Noruega, 2014.
- [39] P. Pereira, N. Cachadinha, O. Zegarra, L. Alarcón, "Bullwhip effect in production control a comparison between traditional methods and LPS", en *Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Fortaleza, Brasil, 2013.
- [40] O. Zegarra, L. F. Alarcón, P. Pereira, N. Cachadinha, "Weekly tracking of stability of the flow of conversations into the subprocesses of last planner system", en *Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Fortaleza, Brasil, 2013.
- [41] L. F. Alarcón, O. Zegarra, "Identifying the bullwhip effect of the last-planner conversations during the construction stage", en *Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, San Diego, EE. UU., 2012.
- [42] T. Castillo, L. F. Alarcón, J. L. Salvatierra, "Last Planner System, social networks and performance of construction projects", en *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Boston, EE. UU., 2016.
- [43] L. F. Botero, M. E. Álvarez, "Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción", *Ingeniería y Desarrollo*, n.º 17, pp. 148-159, 2005.
- [44] C. Mejía-Plata, J. S. Guevara-Ramírez, D. F. Moncaleano-Novoa, M. C. Londoño-Acevedo, J. S. Rojas-Quintero, J. L. Ponz-Tienda, "A route map for implementing Last Planner System in Bogotá, Colombia", en *Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, Boston, EE. UU., 2016.
- [45] M. Fiallo, V. H. Revelo, "Applying the Last Planner Control System to a construction project: a case study in Quito, Ecuador", en *Proceedings of the*

10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Gramado, Brasil, 2002.

- [46] G. Ballard, "Lookahead planning. The missing link in production control", en Proceedings of the 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Gold Coast, Australia, 1997.
- [47] G. Ballard, "Improving work flow reliability", en Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, EE.UU 1999.
- [48] F. Hamzeh, G. Ballard, I. Tommelein, "Improving construction work flow- the connective role of lookahead planning", en Proceedings of the 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Manchester, RU, 2008.
- [49] M. Liu, G. Ballard, "Factors affecting work flow reliability- a case study", en Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan, 2009.
- [50] J. W. Jang, Y.-W. Kim, "Use of percent of constraint removal to measure the make ready process", en Proceedings of the 15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Michigan, EE. UU., 2007.
- [51] F. Hamzeh, "The lean journey- implementing the Last Planner System in construction", en Proceedings of the 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Lima, Perú, 2011.
- [52] F. Hamzeh, G. Ballard, I. Tommelein, "Rethinking lookahead planning to optimize construction workflow", *Lean Construction Journal*, pp. 15-34, 2012.
- [53] S. Cho, G. Ballard, "Last planner and integrated project delivery", *Lean Construction Journal*, pp. 67-78, 2011.
- [54] M. Liu, G. Ballard, W. Ibbs, "Work flow variation and labor productivity. case study", *Journal of Construction Engineering and Management*, pp. 236-242, 2011.
- [55] Y.-W. Kim, G. Ballard, "Management thinking in the earned value method system and the last planner system", *Journal of Management in Engineering*, vol. 26, n.o 4, pp. 223-228, 2010.
- [56] D. Fauchier, T. Alves, "Last Planner System is the gateway to lean behaviors", en Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Fortaleza, Brasil, 2013.
- [57] T. McConaughy, D. Shirkey, "Subcontractor collaboration and breakdowns in production-the effects of varied LPS implementation", en Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Fortaleza, Brasil, 2013.

- [58] M. Rusell, M. Liu, G. Howell, S. Hsiang, "Case studies of the allocation and reduction of time buffer through use of the last planner system", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 141, n.º 2, 2014.
- [59] F. Cerveró-Romero, P. Napolitano, E. Reyes, L. Teran, "Last Planner System and lean approach process experiences from implementation in México", en Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Fortaleza, Brasil, 2013.
- [60] G. Ballard, M. Casten, G. Howell, "PARC: A case study", en Proceedings of the 4th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Birmingham, RU, 1996.
- [61] A. Alsehami, P. Tzortzopoulos, L. Koskela, "Last Planner System- experiences from pilot implementation in the Middle East", en Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan, 2009.
- [62] G. Shang, L. Pheng, "The Last Planner System in China's construction industry-A SWOT analysis on implementation", *International Journal of Project Management*, vol. 32, pp. 1260-1272, 2014.
- [63] J. J. Ochoa, "Reducing plan variations in delivering sustainable building projects", *Journal of Cleaner Production*, vol. 85, pp. 276-288, 2014.
- [64] Y.-W. Kim, J.-W. Jang, "Case study: an application of Last Planner to heavy civil construction in Korea", en Proceedings of the 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Sydney, Australia, 2005.
- [65] Y.-W. Kim, J.-W. Jang, "Applying organizational hierarchical constraint analysis to production planning", en Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Santiago, Chile, 2006.
- [66] S.-C. Kim, Y.-W. Kim, K. Park, C.-Y. Yoo, "Impact of measuring operational-level planning reliability on management-level project performance", *Journal of Management in Engineering*, vol. 31, n.º 5, 2014.
- [67] V. Priven, R. Sacks, "Effects of the last planner system on social networks among construction trade crews", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 141, n.º 6, pp. 1-10, 2015.
- [68] M. S. El Jazzar, F. Hamzeh, "Post measuring the last planner metrics in shelter rehabilitation projects", en Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Perth, Australia, 2015.
- [69] F. Hamzeh, J. Kallassy, M. Lahoud, R. Azar, "The first extensive implementation of lean and LPS in Lebanon: results and reflections", en Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, EE. UU., 2016.

- [70] H. Khanh, S. Kim, "A survey on production planning system in construction projects based on Last Planner System", *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 20, n.º 1, pp. 1-11, 2015.
- [71] A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila, "Last Planner Control System applied to a chemical plant construction", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 138, n.º 2, pp. 287-293, 2012.
- [72] A. Leigard, S. Pesonen, "Defining the path-a case study of large scale implementation of last planner", en Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Technion, Haifa, Israel, 2010.
- [73] A. Koskenvesa, L. Koskela, "Ten years of last planner in finland-where are we", en Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, EE. UU., 2012.
- [74] S. Skinnarland, "Norwegian Project Managers and Foremens Experiences of Collaborative Planning", presented at the Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, EE. UU., 2012.
- [75] S. Skinnarland, S. Yndesdal, "Exploring the development of collaboration in construction projects: a case study", en Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Haifa, Israel, 2010.
- [76] E. Johansen, G. Porter, "An experience of introducing Last Planner into a UK construction project", en Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Virginia, EE. UU., 2003.
- [77] F. Friblick, V. Olsson, J. Reslow, "Prospects for implementing last planner in the construction industry", en Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan, 2009.
- [78] J. Fuemana, T. Puolitaival, K. Davies, "Last Planner System a step towards improving the productivity of New Zealand construction", en Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Fortaleza, Brasil, 2013.
- [79] H. J. Choo, I. Tommelein, G. Ballard, T. R. Zabelle, "Workplan: database for work package production scheduling", en Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Guarujá, Brasil, 1998.
- [80] H. J. Choo, I. D. Tommelein, "WorkMovePlan: database for distributed planning and coordination", en Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Brighthon, RU, 2000.
- [81] D. Chua, S. L. Jun, B. S. Hwee, "Integrated production scheduler for construction look-ahead planning", en Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, EE. UU., 1999.

- [82] D. Chua, L. J. Shen, "Constraint modeling and buffer management with integrated production scheduler", en Proceedings of the 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Singapore, 2001.
- [83] L. J. Shen, D. Chua, S. H. Bok, "Distributed Scheduling with integrated production scheduler", en Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Brighton, RU, 2000.
- [84] H. J. Choo, I. D. Tommelein, "Space scheduling using flow analysis", en Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, EE. UU., 1999.
- [85] J. Hammond, H. J. Choo, S. Austin, I. D. Tommelein, G. Ballard, "Integrating design planning, scheduling, and control with DePlan", en Proceedings of the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Brighton, RU, 2000.
- [86] H. J. Choo, I. D. Tommelein, "Requirements and barriers to adoption of last planner computer tools", en Proceedings of the 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Singapore, 2001.
- [87] L. F. Alarcón, R. Calderón, "A production planning support system for construction projects", en Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Virginia, EE. UU., 2003.
- [88] E. Sriprasert, N. Dawood, "Next generation of construction planning and control system: the Lewis approach", en Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Gramado, Brasil, 2002.
- [89] H. Engelmann, G. F., P. Steffek, "Software agents to support decision making in design and execution planning", en Proceedings of the 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Manchester, RU, 2008.
- [90] V. González, L. F. Alarcón, S. Maturana, F. Mundaca, J. Bustamante, "Improving planning reliability and project performance using the reliable commitment model", *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 36, n.º 10, pp. 1129-1139, 2010.
- [91] B. Mota, D. Viana, and E. L. Isatto, "Simulating the Last Planner With Systems Dynamic", presented at the Proc. 18th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Technion, Haifa, Israel, 2010.
- [92] F. Hamzeh, I. Saab, I. Tommelein, G. Ballard, "Understanding the role of 'tasks anticipated' in lookahead planning through simulation", *Automation in Construction*, vol. 49, pp. 18-26, 2014.
- [93] J. Ponz-Tienda, E. Pellicer, L. F. Alarcón, J. Rojas-Quintero, "Integrating task fragmentation and earned value method into the Last Planner System using

spreadsheets”, en Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Perth, Australia, 2015.

- [94] T. Abdelhamid, “Six-Sigma in lean construction systems: opportunities and challenges”, en Proceedings of the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Virginia, EE. UU., 2003.
- [95] T. Beary, T. Abdelhamid, “Prioritizing production planning problems and normalizing percent plan complete data using Six Sigma”, en Proceedings of the 14th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Santiago, Chile, 2006.
- [96] R. Sacks, M. Radosavljevic, R. Barak, “Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction”, *Automation in Construction*, vol. 19, pp. 641-655, 2010.
- [97] A. Bhatla, F. Leite, “Integration framework of BIM with the Last Planner System”, en Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, EE. UU., 2012.
- [98] S. Khan, P. Tzortzopoulos, “Improving design workflow with the Last Planner System-two action research studies”, en Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Perth, Australia, 2015.
- [99] A. Mahalingam, A. K. Yadav, J. Varaprasad, “Investigating the Role of Lean Practices in Enabling BIM Adoption. Evidence from two Indian cases”, *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 141, n.º 7, 2015.
- [100] M. C. Garrido, R. J. Mendes, S. Scheer, T. F. Campestrini, “Using BIM for Last Planner System: case studies in Brazil”, *Computing in Civil Engineering 2015*, pp. 604-611, 2015.
- [101] P. Tillman, Z. Sargent, “Last planner & BIM integration: lessons from a continuous improvement effort”, en Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, EE. UU., 2016.
- [102] M. Toledo, K. Olivares, V. González, “Exploration of a Lean-BIM planning framework: a last planner system and BIM-based case study”, en Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, EE. UU., 2016.
- [103] O. Seppänen, G. Ballard, S. Pesonen, “The combination of Last Planner System and Location-Based Management System”, en Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Technion, Haifa, Israel, 2010.
- [104] O. Seppänen, R. Modrich, G. Ballard, “Integration of Last Planner System and Location-Based Management System”, en Proceedings of the 23rd

- Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Perth, Australia, 2015.
- [105] B. Dave, J.-P. Hämäläinen, S. Kemmer, L. Koskela, A. Koskenvesa, "Suggestions to improve lean construction planning", en Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Perth, Australia, 2015.
- [106] B. Dave, O. Seppänen, R. Modrich, "Modeling information flows Between Last Planner and Location Based Management System", en Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, EE. UU., 2016.
- [107] H. Olivieri, O. Seppänen, A. D. Granja, "Integrating Lbms, Lps and Cpm: a practical process", en Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, EE. UU., 2016.
- [108] L. Koskela, G. Ballard, V.-P. Tanhuanpää, "Towards lean design management", en Proceedings of the 5th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Gold Coast, Australia, 1997.
- [109] R. Miles, "Alliance lean design-construct on a small high tech project", en Proceedings of the 6th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Guarujá, Brasil, 1998.
- [110] G. Ballard, "Managing work flow on design projects. A case study", Engineering, Construction and Architectural Management, vol. 9, no. 3, pp. 284-291, 2002.
- [111] G. Ballard, J. Hammond, and R. Nickerson, "Production Control Principles", en Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan, 2009.
- [112] F. Hamzeh, G. Ballard, and I. Tommelein, "Is the Last Planner System Applicable to Design? A Case Study", en Proceedings of the 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan, 2009.
- [113] H. Kerosuo, T. Mäki, R. Codinhoto, L. Koskela, R. Miettinen, "In time at last-adaptation of last planner tools for the design phase of a building project", en Proceedings of the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, EE. UU., 2012.
- [114] E. Rosas, "Integrating the design structure matrix and the Last Planner System into building design", en Proceedings of the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Fortaleza, Brasil, 2013.
- [115] J. Wesz, C. Formoso, P. Tzotopoulos, "Design process planning and control Last Planner System adaptation", en Proceedings of the 21st Annual Con-

ference of the International Group for Lean Construction, Fortaleza, Brasil, 2013.

- [116] R. Fosse, G. Ballard, "Lean design management in practice with the Last Planner System", en Proceedings of the 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, EE. UU., 2016.