



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Sistema del Último Planificador: estado del conocimiento y
propuesta de flujo de trabajo

Presentado por

Fontana Bellorín, Estefanía Carolina

Para la obtención del

Master Universitario en Planificación y Gestión en Ingeniería Civil

Curso: 2020/2021

Fecha: 03 de septiembre de 2021

Tutor: Eugenio Pellicer Armiñana

Dedicatoria: a mi familia, por apoyarme siempre en cada paso de mi vida y motivarme a dar lo mejor de mí. También a todas las personas espectaculares que he conocido durante el Master.

Agradecimientos: al profesor Eugenio Pellicer por su dedicación, atención y paciencia, y a todas las personas que me han apoyado durante estos dos años de cambios, trabajo y mucho crecimiento personal y profesional.

RESUMEN

El Sistema del Último Planificador (SUP) es una herramienta de control de producción que se ha ido desarrollando desde hace más de 20 años a partir de los principios de la filosofía Lean adaptados al sector de la construcción.

Con su implementación se pueden obtener mejoras considerables en la productividad de las obras, que le han llevado a ser uno de los recursos de Lean Construction más utilizados y un punto de interés para muchos científicos.

El objetivo principal de esta investigación consiste en elaborar un flujo de trabajo generalizado que integre los nuevos aportes y propuestas presentadas en los diversos artículos que han sido publicados desde el surgimiento del SUP, a fin de contar con un diagrama generalizado que englobe el estado actual del conocimiento y las mejoras que esto implica.

Para lograrlo, se planteó un método de trabajo en tres etapas, iniciando por el estudio del estado del conocimiento a través de la selección, clasificación y análisis de los artículos disponibles en la base de datos SCOPUS, luego la revisión del contenido de cada uno de ellos para identificar los pasos originales (contrastados con el flujo de trabajo seleccionado como base para esta investigación) y las nuevas propuestas planteadas, para finalmente consolidar la información y sus aportes en un solo diagrama integral.

En los 107 artículos de investigación analizados se encontraron 39 nuevas propuestas, presentadas en solo 16 de los artículos, cuyos aportes están principalmente orientados a complementar el SUP tradicional respecto al proceso de planificación de las actividades, incremento de la fiabilidad del plan, comunicación y nivel de compromiso de los involucrados, control del proceso de identificación y eliminación de restricciones de las tareas a ejecutar, y mejora del manejo de las tareas imprevistas y las críticas, que son o pueden ser determinantes en la consecución de los objetivos de los proyectos.

Al integrar toda la información base y nuevas propuestas, se obtiene como resultado un flujo de trabajo generalizado y detallado, que incluye reuniones adicionales, procesos de control, uso de los modelos BIM y diversas métricas que permiten profundizar en aspectos que el SUP en su planteamiento original no tenía en consideración, logrando así una mejora en el sistema.

Con el nuevo flujo de trabajo propuesto, se tiene mayor control en los diferentes niveles de la planificación, pero también mayor complejidad en el proceso y, por ende, dificultad en su implementación, por lo que se considera que el responsable deberá evaluar y seleccionar los adicionales a ejecutar de acuerdo al tipo de proyecto y las necesidades reales que el mismo presente.

ABSTRACT

The Last Planner® System (LPS) is a production control tool that has been developed for more than 20 years from the principles of the Lean philosophy adapted to the construction sector.

With its implementation, improvements in the productivity of the works can be obtained and that have led it to be one of the most used Lean Construction resources and a point of interest for many researchers.

The main objective of this research is to develop a generalized workflow that integrates the new contributions and proposals presented in the various research articles that have been published since the emergence of LPS, in order to have a generalized diagram that encompasses the state current knowledge with the improvements that this implies.

To achieve this, a work method in three stages was proposed, starting with the study of the state of knowledge through the selection, classification and analysis of the articles available in the SCOPUS database, then the review of the content of each of them to identify the original steps (contrasted with the workflow selected as the basis for this research) and the new proposals raised, to finally consolidate the information and their contributions in a single comprehensive diagram.

In the 107 research articles analyzed there were found 39 new proposals, presented in only 16 articles, whose contributions are mainly oriented to complement the traditional LPS with respect to the planning process of activities at the higher or master level, increase the reliability of the plan, communication and level of commitment of those involved, control the process of identification and elimination of restrictions of the tasks to be executed, and improve the handling of unforeseen and critical tasks, which are or may be decisive in the achievement of the objectives of the projects.

By integrating all the base information and new proposals, a generalized and detailed workflow is obtained as a result, which includes additional meetings, control processes', use of BIM models and various

metrics that allow deepening aspects that the LPS in its original approach was not taken into consideration, thus achieving an improvement in the system.

With the new workflow proposed, there is greater control at the different levels of planning, but also greater complexity in the process and, therefore, difficulty in its implementation, so it is considered that the person in charge must select the additional ones to be executed from according to the type of project and the real needs that it presents.

RESUM

El Sistema de l'Últim Planificador (SUP) és una ferramenta de control de producció que s'ha desenvolupat des de fa més de 20 anys a partir dels principis de la filosofia Lligen adaptats al sector de la construcció.

Amb la seua implementació es poden obtenir millores en la productivitat de les obres que li han portat a ser un dels recursos de Lean Construction més utilitzats i un punt d'interès per a molts investigadors.

L'objectiu principal de l'investigació es l'elaboració de un flux de treball generalitzat que integre les noves aportacions i propostes presentades en els diversos articles d'investigació que han sigut publicats des del sorgiment del SUP, a fi de comptar amb un diagrama generalitzat que englobe l'estat actual del coneixement amb les millores que això implica.

Per a aconseguir-ho, es va plantejar un mètode de treball en tres etapes, iniciant per l'estudi de l'estat del coneixement a través de la selecció, classificació i anàlisi dels articles disponibles en la base de dades SCOPUS, després la revisió del contingut de cadascun d'ells per a identificar els passos originals (contrastats amb el flux de treball seleccionat com a base per a l'investigació) i les noves propostes plantejades, per a finalment consolidar la informació i les seues aportacions en un únic diagrama integral.

Dels 107 articles d'investigació analitzats, es va observar que només 16 d'ells van presentar noves propostes, 39 en total, les aportacions del qual estan principalment orientats a complementar el SUP tradicional respecte al procés de planificació de les activitats en el nivell superior o màster, incrementar la fiabilitat del pla, comunicació i nivell de compromís dels involucrats, controlar el procés d'identificació i eliminació de restriccions de les tasques a executar, i millorar el maneig de les tasques imprevistes i les crítiques, que són o poden ser determinants en la consecució dels objectius dels projectes.

En integrar tota la informació base i noves propostes, s'obté com a resultat un flux de treball generalitzat i detallat, que inclou reunions

addicionals, processos de control, ús dels models BIM i diverses mètriques que permeten aprofundir en aspectes que el SUP en el seu plantejament original no tenia en consideració, aconseguint així una millora en el sistema.

Amb el nou flux de treball proposat, es té major control en els diferents nivells de planificació, però també major complexitat en el procés i per tant, dificultat en la seua implementació, per la qual cosa es considera que el responsable haurà de seleccionar els addicionals a executar d'acord amb la classe de projecte i les necessitats reals que el mateix present.

RESUMEN EJECUTIVO

Título: Sistema del Último Planificador: estado del conocimiento y propuesta de flujo de trabajo.

Autor: Estefanía Carolina Fontana Bellorín

Planteamiento del Problema

Los sistemas de gestión se van transformando en el tiempo con el surgimiento de nuevos conceptos y herramientas que compensan sus puntos débiles, incorporan mejoras y los actualizan con la implementación de nuevas tecnologías.

Este es el caso del proceso evolutivo que ha pasado la filosofía Lean, basada en el sistema de producción de la empresa japonesa automovilística Toyota, que desde su fundación a principios del siglo XX fue generando y aplicando nuevos conceptos sobre incremento del valor, reducción de desperdicios, flujo continuo, automatización y mejora continua que permitieron su crecimiento y adaptación a muchos otros sectores productivos, incluyendo la construcción. En este sentido, siendo el Sistema del Último Planificador (SUP) una de las herramientas de más alcance de las que forman parte del *Lean Construction*, resulta de interés estudiar e integrar las nuevas propuestas que han presentado los diversos investigadores para mejorar el flujo de trabajo original del SUP y por ende los procesos de planificación, seguimiento y control y así la productividad de los proyectos en los que se implemente.

Objetivos

- **Objetivo general:**
 1. Integrar el estado del conocimiento del Sistema del Último Planificador en un flujo de trabajo general.
 - **Objetivos específicos**
 1. Estudiar el estado del conocimiento del Sistema del Último Planificador.
 2. Clasificar y analizar los artículos que componen el estado del conocimiento del Sistema del Último Planificador.
 3. Elaborar un flujo de trabajo general que integre el estado del conocimiento del Sistema del Último Planificador.
-

Estructura Organizativa

- **Capítulo 1 - Introducción:** presenta el planteamiento del problema, los objetivos y el método implementado para la consecución de
-

	<p>los mismos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capítulo 2 – Marco teórico: contiene el marco contextual y teórico del Sistema del Último Planificador, desde el origen del <i>Toyota Production System</i> y la evolución a <i>Lean Production</i> y <i>Lean Construction</i>. • Capítulo 3 – Estudio del estado del conocimiento: se presenta toda la información de la revisión bibliográfica para la definición del estado del conocimiento, en cuanto a la creación, clasificación y análisis de la base de datos. • Capítulo 4 – Flujo de trabajo del SUP: abarca el trabajo desarrollado en cuanto a la validación del flujo de trabajo utilizado como base y la creación de la propuesta del flujo de trabajo integrado con la explicación y aporte de cada nuevo planteamiento incorporado. • Capítulo 5 – Conclusiones: análisis final de la investigación, donde se resaltan los logros, contribuciones, recomendaciones y limitaciones.
Método	<p>Para el desarrollo de la investigación se procedió en tres etapas: primero una revisión bibliográfica, lectura, clasificación y análisis de los artículos relacionados al SUP para obtener una base de datos con la información de interés; luego una revisión del flujo de trabajo base utilizado y finalmente la identificación, clasificación, análisis e incorporación al flujo de trabajo base de todas aquellas nuevas propuestas planteadas por los autores en las publicaciones revisadas, para generar finalmente una propuesta de flujo de trabajo integrado.</p>
Cumplimiento de objetivos	<p>Los objetivos planteados en esta investigación se cumplen con la revisión, estudio, clasificación y análisis de la base de datos presentados en el Capítulo 3, y el planteamiento final del flujo de trabajo integrado que se encuentra en el Capítulo 4, en la Figura 21 del documento.</p>
Contribuciones	<p>La investigación contribuye con la actualización del estado del conocimiento del SUP, el listado y análisis de aportaciones generadas por todas las nuevas propuestas planteadas por los diferentes autores que han publicado artículos de investigación sobre el tema y finalmente la integración de toda esta información en conjunto con el proceso del SUP original, para conformar</p>

Recomendaciones	un flujo de trabajo integrado y generalizado. Se recomienda la implementación del SUP en los proyectos iniciando con los pasos del flujo de trabajo base y seleccionando aquellas propuestas que se adapten a la obra a ejecutar en cuanto a magnitud y nivel de control requeridos.
Limitaciones	La investigación se ve principalmente limitada por el alcance de la base de datos utilizada donde solo fueron considerados artículos de investigación incluidos en la base de datos SCOPUS, pudiendo existir nuevas propuestas presentadas en otro tipo de publicaciones que complementarían y aportarían mejoras para el flujo de trabajo presentado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. OBJETIVOS	18
1.2.1. Objetivo general.....	18
1.2.2. Objetivos específicos.....	18
1.3. MÉTODO.....	19
1.3.1. Estado del conocimiento del Sistema del Último Planificador.....	19
1.3.2. Flujo de trabajo base.....	19
1.3.3. Propuesta de flujo de trabajo integrado.....	19
2. MARCO TEÓRICO	20
2.1. ALGUNOS SISTEMAS PREVIOS AL LEAN PRODUCTION	20
2.1.1. Toyota Production System (TPS).....	20
2.1.2. Gestión de la Calidad Total (<i>Total Quality Management</i> – TQM).....	24
2.1.3. Ciclo del compromiso.....	26
2.2. LEAN PRODUCTION (LP)	27
2.3. LEAN CONSTRUCTION (lc)	28
2.4. SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR (SUP - LAST PLANNER® SYSTEM).....	30
3. ESTUDIO DEL ESTADO DEL CONOCIMIENTO	35
3.1. FASE CONTEXTUAL	35
3.1.1. Estrategia de búsqueda.....	35
3.1.2. Selección y depuración de resultados.....	35
3.1.3. Clasificación.....	37
3.2. FASE ANALÍTICA.....	39
4. FLUJO DE TRABAJO DEL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR	52
4.1. FLUJO DE TRABAJO BASE	52

4.2. ARTÍCULOS RELACIONADOS CON EL FLUJO DE TRABAJO BASE.....	53
4.3. FLUJO DE TRABAJO INTEGRADO	57
4.3.1. Nuevas propuestas.....	57
4.3.2. Nuevas propuestas en la etapa de compromiso.....	59
4.3.3. Nuevas propuestas en la etapa de flujo.....	65
4.3.4. Nuevas propuestas en la etapa de promesa.....	70
4.3.5. Nuevas propuestas de métodos y herramientas generales.....	81
4.3.6. Propuesta de flujo de trabajo general o integrado.....	85
4.3.7. Análisis de resultados.....	87
5. CONCLUSIONES	98
5.1. CONCLUSIONES.....	98
5.2. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS	102
5.3. CONTRIBUCIONES	102
5.4. RECOMENDACIONES	102
5.5. LIMITACIONES	103
6. REFERENCIAS	104
7. ANEXOS.....	121
7.1. BASE DE DATOS.....	121
7.2. ANEXO DE OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) AL TRABAJO DE FIN DE MASTER (TFM).....	141

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación según el nivel de proximidad</i>	36
Tabla 2. <i>Parámetros para clasificación de artículos</i>	38
Tabla 3. <i>Cantidad de autores por cantidad de artículos publicados</i>	40
Tabla 4. <i>Lista de países vinculados a las investigaciones</i>	42
Tabla 5. <i>Lista de revistas fuente de las publicaciones</i>	45

Tabla 6. <i>Cantidad de artículos por elemento del flujo de trabajo base que mencionan.....</i>	55
Tabla 7. <i>Lista de nuevas propuestas para el flujo de trabajo del SUP.....</i>	58
Tabla 8. <i>Aportes de nuevas propuestas en nivel de Compromiso</i>	65
Tabla 9. <i>Aportes de nuevas propuestas en nivel de Flujo.....</i>	70
Tabla 10. <i>Aportes de nuevas propuestas en nivel de Promesa</i>	81
Tabla 11. <i>Aportes de nuevas propuestas de métodos y herramientas</i>	85
Tabla 12. <i>Artículos con primera mención de nuevas propuestas.....</i>	88
Tabla 13. <i>Lista de nuevas propuestas por año</i>	90
Tabla 14. <i>Lista de nuevas propuestas por cantidad de artículos que la refieren.....</i>	91
Tabla 15. <i>Aportes por etapa de planificación del SUP y cantidad de propuestas</i>	95
Tabla 16. <i>Base de datos. Art. 1-5.....</i>	121
Tabla 17. <i>Base de datos. Art. 6-11.....</i>	122
Tabla 18. <i>Base de datos. Art. 12-16.....</i>	123
Tabla 19. <i>Base de datos. Art. 17-23.....</i>	124
Tabla 20. <i>Base de datos. Art. 24-29.....</i>	125
Tabla 21. <i>Base de datos. Art. 30-35.....</i>	126
Tabla 22. <i>Base de datos. Art. 36-42.....</i>	127
Tabla 23. <i>Base de datos. Art. 43-48.....</i>	128
Tabla 24. <i>Base de datos. Art. 49-54.....</i>	129

Tabla 25. <i>Base de datos. Art. 55-59</i>	130
Tabla 26. <i>Base de datos. Art. 60-63</i>	131
Tabla 27. <i>Base de datos. Art. 64-69</i>	132
Tabla 28. <i>Base de datos. Art. 70-74</i>	133
Tabla 29. <i>Base de datos. Art. 75-79</i>	134
Tabla 30. <i>Base de datos. Art. 80-84</i>	135
Tabla 31. <i>Base de datos. Art. 85-89</i>	136
Tabla 32. <i>Base de datos. Art. 90-94</i>	137
Tabla 33. <i>Base de datos. Art. 95-100</i>	138
Tabla 34. <i>Base de datos. Art. 101-105</i>	139
Tabla 35. <i>Base de datos. Art. 106-107</i>	140
Tabla 36. <i>Grado de relación del TFM con los ODS</i>	141

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ciclo del compromiso</i>	26
Figura 2. <i>Representación de las tareas en la planificación tradicional vs el SUP</i>	31
Figura 3. <i>Artículos publicados por año</i>	39
Figura 4. <i>Artículos por autor</i>	41
Figura 5. <i>Artículos por país</i>	43
Figura 6. <i>Artículos por continente implicado en la investigación</i>	43
Figura 7. <i>Artículos por revista</i>	44

Figura 8. <i>Artículos por técnica de obtención de datos</i>	46
Figura 9. <i>Artículos por técnicas de análisis de datos</i>	47
Figura 10. <i>Artículos por categoría</i>	48
Figura 11. <i>Artículos por tipo de obra</i>	50
Figura 12. <i>Artículos por tipo de obra en el tiempo</i>	51
Figura 13. <i>Artículos por fase del proyecto</i>	51
Figura 14. <i>Flujo de trabajo base (Pellicer, 2017)</i>	52
Figura 15. <i>Simbología utilizada en el flujo de trabajo</i>	53
Figura 16. <i>Flujo de trabajo base con simbología estándar</i>	54
Figura 17. <i>Flujo de trabajo base con artículos relacionados por paso</i>	56
Figura 18. <i>Etapa de compromiso en flujo de trabajo integrado</i>	60
Figura 19. <i>Etapa de flujo en flujo de trabajo integrado</i>	66
Figura 20. <i>Etapa de promesa en flujo de trabajo integrado</i>	71
Figura 21. <i>Flujo de trabajo integrado</i>	86
Figura 22. <i>Artículos con nuevas propuestas para el flujo de trabajo del SUP</i>	87
Figura 23. <i>Nuevas propuestas por año</i>	89
Figura 24. <i>Nuevas propuestas por cantidad de artículos que las mencionan</i>	92
Figura 25. <i>Nuevas propuestas por tipo de elemento del diagrama de flujo</i> .	93
Figura 26. <i>Nuevas propuestas por etapa de la planificación en la que se incorporan</i>	94

1. INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A través de los años las filosofías de gestión han ido evolucionando con el planteamiento e incorporación de nuevos procesos y conceptos que aportan mejoras a los sistemas existentes.

En el caso de la producción sin pérdidas, *Lean*, observamos que este proceso inicia en 1918 cuando Sakichi Toyoda funda una empresa textil que luego pasaría al sector automovilístico conocida con el nombre Toyota (Holweg, 2007). Desde el principio, la empresa se caracterizó por la creación de nuevos conceptos e ideas innovadoras como la *autonomización* y el *just-in-time* que, conjuntamente con la constante búsqueda del conocimiento y la mejorar continua, les permitió sentar las bases del *Toyota Production System*, que dio paso posteriormente a *Lean*. *Lean Production* es la filosofía integral de gestión que tiene como principal objetivo potenciar el valor del producto y eliminar de los desperdicios que se generan en el proceso, para optimizar de esta manera la producción.

Aunque en un principio y durante años estuvo concebida como una metodología de trabajo para procesos de la industria manufacturera, en el año 1992, Lauri Koskela plantea su aplicación en el sector de la construcción, promoviendo así el llamado *Lean Construction*. Con el desarrollo de *Lean Construction* se presentan entonces una serie de conceptos, técnicas y herramientas adaptados para mejorar la gestión de los proyectos de construcción desde la fase del diseño hasta su ejecución y entrega definitiva al cliente. Entre ellos, la herramienta que ha tenido mayor alcance y difusión es el *Last Planner® System* o Sistema del Último Planificador (SUP en adelante).

El SUP está compuesto a su vez por diferentes técnicas para la planificación, seguimiento y control de proyectos, donde se desarrollan progresivamente los niveles de detalle de las tareas a programar, se analizan los requerimientos previos para liberar las restricciones que puedan

ocasionar retrasos y se estudian los resultados obtenidos para poder aprender, retroalimentar y mejorar el sistema. Es una herramienta que se basa en el compromiso entre los intervinientes, el flujo continuo del trabajo, y la fiabilidad de la planificación para lograr alcanzar los objetivos planteados.

Desde la presentación del SUP a finales de los años 90, muchos investigadores se han dedicado al estudio y análisis del proceso planteado originalmente por Glenn Ballard y Gregory Howell, mediante la identificación de puntos débiles, la comparación y combinación con otros sistemas de gestión, y la propuesta de nuevos procesos, métricas y documentos que logran complementar el SUP, integrarlo a las nuevas tecnologías disponibles y compensar los posibles fallos, llevando así a una versión mejorada. Al existir gran cantidad de planteamientos sobre el tema provenientes de fuentes diversas, resulta de interés la recopilación, análisis e integración de todos estos aportes al SUP en un único documento. Esta resulta la base de la presente investigación, que busca presentar una versión ampliada y generalizada del flujo de trabajo a seguir para la implementación del SUP en un proyecto de construcción, tomando en cuenta tanto los pasos originales como las sugerencias de mejora planteadas por los diferentes autores en el tiempo.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

1. Integrar el estado del conocimiento del Sistema del Último Planificador en un flujo de trabajo general.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Estudiar el estado del conocimiento del Sistema del Último Planificador.
2. Clasificar y analizar los artículos que componen el estado del conocimiento del Sistema del Último Planificador.
3. Elaborar un flujo de trabajo general que integre el estado del conocimiento del Sistema del Último Planificador.

1.3. MÉTODO

El método implementado en esta investigación para la consecución de los objetivos planteados se divide en tres etapas:

1.3.1. Estado del conocimiento del Sistema del Último Planificador

Esta etapa inicia con la búsqueda bibliométrica de los artículos de investigación que hacen referencia al Sistema del Último Planificador. Con la primera selección se procede a la revisión del resumen y contenido para clasificar cada artículo según el nivel de proximidad al objeto de estudio y descartar aquellos no relacionados. El siguiente paso consiste en la clasificación de los artículos según una serie de parámetros seleccionados para caracterizar la información de la base de datos. Con esta información, finalmente, se realiza el análisis de la base de datos en términos de la relación de artículos por año, autores, fuentes de publicación, países involucrados en la investigación, técnicas de obtención y análisis de datos, categorías, tipos de obra y fase del proyecto a la que hacen referencia.

1.3.2. Flujo de trabajo base

Para elaborar la propuesta de flujo de trabajo integrado se tomó como referencia el diagrama presentado por Pellicer (2017) que a su vez es una versión que adapta y resume varias propuestas previas. Para validar este flujo de trabajo base y verificar la correlación de los artículos de la base de datos utilizada, se identificaron en la lista de publicaciones los elementos del diagrama base que eran mencionados, para luego analizar estos resultados.

1.3.3. Propuesta de flujo de trabajo integrado

Para la elaboración de la propuesta de flujo de trabajo integrado primero se identificaron y listaron todos los nuevos procesos o entregables mencionados en los artículos de la base de datos. Se analiza individualmente la fase de planificación en la que debían incorporarse en el flujo de trabajo y el aporte que genera al SUP. Finalmente se agrupa la información en el flujo de trabajo integrado propuesto y se lleva a cabo un análisis general de los resultados obtenidos.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. ALGUNOS SISTEMAS PREVIOS AL LEAN PRODUCTION

2.1.1. Toyota Production System (TPS)

La filosofía *Lean* de producción tiene sus orígenes en el sector automovilístico en el siglo XX, a partir de lo que se conoce como *Toyota Production System* o Sistema de Producción Toyota.

En 1918, Sakichi Toyoda crea una empresa textil en la cual establece algunos conceptos de mejora de los procesos de fabricación como los “5 Whys” o “5 por qué” (preguntar cinco veces la razón de un problema para lograr llegar a su origen real y corregirlo) y “*Jidoka*” (también llamado calidad incorporada, es una pausa automática de la maquinaria cuando detecta un problema) (Pellicer, 2017).

Quince años más tarde, su hijo Kiichiro Toyoda presidiría una división de la empresa creada para dedicarse al área automovilística. Durante su tiempo en la dirección se desarrollaron nuevos conceptos como el “*takt time*” (una delegación viajó a Alemania antes de la guerra para conocer sobre los procesos productivos allí establecidos y pudieron observar el llamado “*Produktionstakt*” que posteriormente derivó en lo que se conoce como *takt time* o ritmo de producción constante y bajo demanda) y “*Just in time*” (anticipación planificada que asegure que se cuente con las piezas necesarias y a tiempo al momento de realizar un montaje, para evitar acopios innecesarios y costosos) (Pellicer, 2017), sin embargo, el período de tiempo comprendido entre 1933 y el final de la Segunda Guerra Mundial generó un contexto para la empresa de grandes dificultades, especialmente económicas, que llevaron a disputas, división de la empresa en dos (fabricación y ventas) y la final renuncia de Kiichiro (Holweg, 2007).

Eiji Toyoda, primo de Kiichiro, pasa a la dirección del área de fabricación a finales de 1960. Para este momento el mercado tenía años dominado por las empresas norteamericanas Ford y General Motors (Holweg, 2007), por lo que Eiji había realizado un viaje a la planta de

montaje de Ford para estudiar sus sistemas. Al llegar a la presidencia decide buscar implementar en Toyota los métodos de fabricación de producción masiva de las empresas norteamericanas (Gao y Low, 2014b), adaptándolos a la producción de bajo volumen y mayor variedad que caracterizaban el mercado japonés y resultaban manejables para la capacidad instalada en la empresa en este momento.

Finalmente se incorpora Taiichi Ohno como director de producción, quien es considerado realmente el padre del TPS. Ohno destacó por detectar que la producción en masa al estilo americano conlleva a mantener inventarios grandes de materiales y productos además de generar múltiples desperfectos, sin mencionar que imposibilita la adaptación del producto a las preferencias particulares de los consumidores. A partir de ello introdujo el concepto de la producción por lotes pequeños, además del concepto de “*kaizen*” o mejora continua, los siete tipos de “*muda*” o pérdidas y “*Kanban*” o sistema de gestión con etiquetas (Holweg, 2007).

Los aportes de Eiji Toyoda y Taiichi Ohno, en conjunto con el trabajo de Shingeo Shingo (ingeniero mecánico que se dedicó a la documentación del TPS y la definición del *poka-yoke* o control de calidad en la fuente de error) llevaron a Toyota a finalmente constituir el sistema de producción que tenía años en desarrollo y que les permitió pasar de tener muy poca presencia en el mercado automovilístico en los años 50 a ser parte de las pioneras del mundo ya en los años 80 (y posicionarse más adelante en el primer puesto en ventas, para el año 2007) (Pellicer, 2017).

Este auge aparentemente repentino captó la atención de los demás competidores, y fue esta vez Estados Unidos quien se interesó en estudiar los sistemas productivos de automóviles que se estaban utilizando en Japón. En 1979 se crea un programa de investigación que posteriormente se llamaría Programa Internacional del Vehículo de Motor (IMVP) dirigido por Daniel Roos en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), destinado a la investigación del futuro del sector automovilístico. En sus inicios se planteaba una meta de 5 años para estudios de diferentes tipos sobre el

sector y su proyección, sin embargo, el fenómeno de crecimiento de la empresa japonesa tanto en ese país como dentro de Estados Unidos (cubrían para el momento más de 20% de las importaciones del mercado), motivó a que el programa se enfocara en el estudio de la diferencia existente entre los sistemas de ambos países y “su medición” (Holweg, 2007).

En este contexto, para 1985, se desarrolla la segunda fase del IMVP, liderada por James Womack, Daniel Jones y Daniel Roos, quienes contaron con el apoyo de la empresa General Motors para su investigación: se firmó un acuerdo con Toyota para que iniciaran su producción en territorio norteamericano en una de las fábricas de GM, creando NUMMI (*New United Motor Manufacturing*), lo que les brindó la oportunidad a los investigadores de realizar el “*benchmarking*”, presenciando y analizando los procesos productivos de los japoneses para comprender la razón que llevaba a los norteamericanos a requerir el doble de horas de montaje y generar casi el triple de defectos con respecto a las fábricas de Toyota en Japón (Pellicer, 2017).

Las conclusiones del estudio, en colaboración también con el conocimiento aportado por John Krafcif (quien fue un trabajador americano en NUMMI y luego se unió como estudiante al MIT), llevaron a la publicación del libro “*The Machine that Changed the World*” en 1990, 12 años después de que el propio Taiichi Ohno publicara su libro “*Toyota Production System*”.

Los dos pilares fundamentales del TPS son la *autonomización* (o automatización con poca intervención humana) tomada de las ideas implementadas por Sakichi en las máquinas de la fábrica textil, y el *just-in-time* propuesto por Kiichiro (Ohno, 1988). Estos conceptos puestos en conjunto con la mejora continua, reducción de desperdicios, importancia de las personas en el proceso, gestión visual y estandarización conforman los elementos de la llamada “casa del Toyota Production System” (Shang y Low, 2014)

Los 14 principios de gestión del TPS fueron posteriormente englobados y descritos en el libro “*The Toyota Way: 14 Management*

Principles from the World's Greatest Manufacturer” de Jeffrey Liker (2004), donde destaca que, para llegar al éxito, un sistema nuevo debe poder integrarse a la cultura organizativa de la empresa, y no solo conformar una serie de herramientas y pasos implementados individualmente.

Liker representa los 14 principios en una forma de pirámide donde la base es la filosofía y al ascender se encuentran los procesos, las personas y socios, y finalmente, la resolución de problemas. Los 14 principios de la pirámide de Liker son:

1. La visión a largo plazo prevalece debe prevalecer, aunque afecte el corto plazo de la empresa.
2. Establecer flujos de trabajo continuos y de valor.
3. Evitar la sobreproducción basado en un sistema bajo demanda.
4. Nivelar la carga de trabajo (*heijunka*).
5. Buscar la calidad al primer intento, aunque implique parar el sistema (*jidoka*).
6. Estandarizar las tareas.
7. Utilizar la gestión visual.
8. Utilizar tecnología confiable y probada.
9. Formar líderes comprometidos con el trabajo y la filosofía de la empresa.
10. Desarrollo del personal y equipos de trabajo comprometidos con la filosofía.
11. Respeto hacia los socios y proveedores, que conforman una extensión de la empresa.
12. “Ver por sí mismo” la situación para su análisis (*genchi genbutsu*).
13. Tomar decisiones de manera consciente e implementarlas de manera rápida (*nemawashi*).
14. Implementar el aprendizaje en la empresa con base en la reflexión (*hansei*) y la mejora continua (*kaizen*).

Las invenciones de Toyota desembocaron en un sistema de producción altamente competitivo, ofreciendo la venta de automóviles por

lote y revolucionando el mercado convencional de la producción en masa, llevando a la compañía al top mundial de ventas en tan solo 30 años (Holweg, 2007). El compendio de los conceptos desarrollados por los japoneses dio paso a la filosofía *Lean Production*.

2.1.2. Gestión de la Calidad Total (*Total Quality Management* – TQM)

Además del trabajo de Henry Ford con las cadenas de montaje y producción masiva, otra importante influencia del TPS y por ende del *Lean Production* es el estudio de Edwards Deming sobre la Gestión de la Calidad Total (TQM) (Pellicer, 2017). Deming basó sus ideas en el trabajo de Control Estadístico de Procesos (CEP) de Walter Shewhart, con quien mantuvo una buena relación académica y profesional durante años. Al final de la Segunda Guerra Mundial, la Unión Japonesa de Científicos e Ingenieros buscó el apoyo de los norteamericanos para la formación de sus profesionales en el área de control estadístico, siendo el propio Deming quien impartiera las conferencias y llevara su filosofía del control de calidad a este país (Pascal et al, 2010). Sus aportes principales fueron: los 14 principios de la calidad, el ciclo PDCA (*plan-do-check-act* o planificar, realizar, verificar y actuar) y las 7 enfermedades mortales de la gestión.

14 principios de la calidad

Los 14 principios presentados a continuación engloban la forma de pensar de Deming en cuanto al concepto de la calidad, basado en Shewhart y en observaciones directas de las situaciones en empresas industriales y de servicios (Vila y Hoy, 1991):

1. Constancia en el propósito de mejora.
2. Adopción de la filosofía de calidad en la cultura de la organización
3. Eliminar o evitar la inspección en masa.
4. No conceder contratos que sólo se basen en el precio de oferta.
5. Identificar nuevas áreas para mejorar constantemente el sistema.

6. Instituir el entrenamiento y formación del personal para la calidad en el desempeño.
7. Implementar nuevos métodos de supervisión y liderazgo.
8. Eliminar el miedo.
9. Derribar las barreras entre los departamentos de la empresa.
10. Eliminar metas numéricas, lemas y consignas que reflejen situaciones ideales y no guardan relación con la situación actual de la calidad.
11. Eliminar cuotas numéricas.
12. Eliminar barreras para dignificar la fabricación.
13. Instituir un programa educativo y de entrenamiento.
14. Actuar para lograr la transformación

Ciclo de Deming (PDCA)

Por otra parte, Deming populariza el ciclo PDCA que había sido planteado por Walter Shewhart y Bell Labs en los años 30. Este ciclo representa la forma de incrementar constantemente la calidad (mejora continua), para lo cual, en lugar de asignar soluciones directamente, se indica que se debe cumplir un proceso de cuatro pasos: planificación de las acciones, implementación de la mejora, revisión y evaluación de los resultados obtenidos a través de la implementación, nuevas acciones para continuar el proceso de mejora (Pellicer, 2017).

Siete enfermedades mortales de la gestión

En su publicación "*Out of the crisis*" (1982), Deming también presentó las llamadas enfermedades mortales de la gestión, que son siete puntos que considera que son actitudes de la gerencia de las organizaciones que deben ser erradicadas para permitir el verdadero incremento de la calidad y mejora continua (Sejzer, 2015).

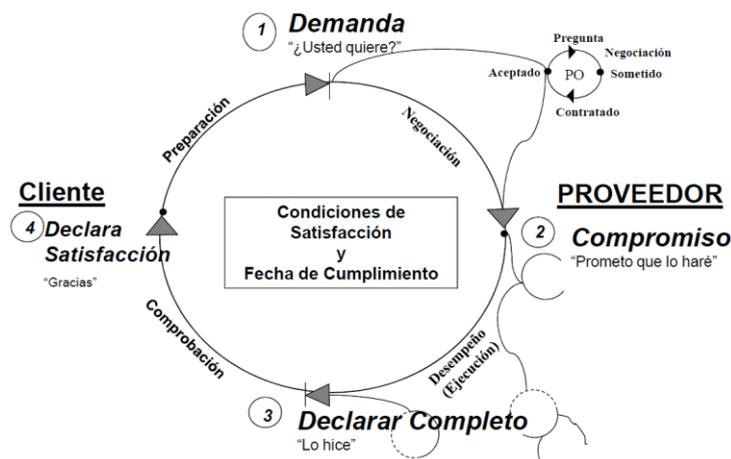
Estas siete enfermedades son:

1. La falta de constancia en los propósitos, por cambios en los lineamientos.
2. Énfasis en las ganancias a corto plazo.
3. Evaluación por rendimiento, clasificación por méritos
4. Movilidad o alta rotación de los ejecutivos.
5. Manejar la compañía sólo a partir de las cifras visibles, sin considerar intangibles.
6. Costos médicos excesivos derivados de malos ambientes y condiciones laborales.
7. Costo excesivo de las garantías.

2.1.3. Ciclo del compromiso

En 1982, Fernando Flores publicó el *“Management and communication in the office of the future”* donde presentó el llamado ciclo del compromiso, que es un proceso basado en la red de promesas y demandas que se producen entre los involucrados de un sistema productivo, cliente y proveedor, desde el inicio de un requerimiento, su promesa, ejecución, entrega y declaración de aceptación del cliente, donde el vínculo entre cada paso genera un compromiso entre las partes que deberá ser respetado (Pellicer, 2017). La representación del ciclo del compromiso se puede observar en la Figura 1.

Figura 1. Ciclo del compromiso



Fuente: Pellicer, 2017, adaptado de Fernando Flores, 1983.

2.2. LEAN PRODUCTION (LP)

El término *Lean* aparece por primera vez en 1988 en la tesina de Máster y el artículo “*The triumph of the lean production system*” publicados por John Krafcif (Holweg, 2007; Pellicer, 2017), y se populariza con la publicación del libro “*The Machine that Changed the World*” de Womak, Jones y Roos en 1990. Para el momento, también se estaba dando a conocer como “producción sin pérdidas”, “nuevo sistema de producción” o “manufactura de clase mundial” (Porrás et al., 2014).

Los principios básicos de *Lean Production* se encuentran explicados en el libro “Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation” por James P. Womack y Daniel T. Jones (1996), y se basan principalmente en el TPS. Sus objetivos principales son: definir el **valor** deseado para el cliente, identificar el **flujo de valor** de las actividades en producción, buscar un **flujo** de trabajo ininterrumpido, generar un flujo bajo demanda o “**pull**” y perseguir la **perfección** a través de la mejora continua del proceso (Pellicer, 2017). Otro aspecto indispensable a controlar es la **variabilidad**, ya que su reducción da consistencia al producto, disminuye retrabajos, desperdicios y potencia el valor.

Uno de los conceptos característicos consiste en el cambio del pensamiento de producción “*push*” según el que se fabrican productos a consideración de la empresa para poner a disposición del cliente (lo que se traduce en un almacenamiento considerable), al pensamiento “*pull*”, en el que la producción se hace bajo la demanda (Liker, 2004). Esto permite a la empresa mantener una producción constante, mientras que reduce el acopio de materiales y productos.

De acuerdo con la filosofía Lean, al realizar un mapa del flujo de trabajo de un proceso se encontrarán actividades que producen valor, actividades que no lo producen, pero son indispensables (por ejemplo, inspecciones de calidad) y actividades que no producen valor y no son indispensables. Al enfocarse en la eliminación progresiva de estas pérdidas,

se reduce el tiempo de producción y obtienen mayores beneficios. Las pérdidas se pueden clasificar en tres tipos (Pellicer, 2017):

1. *Muda* (desperdicio): acciones que consumen recursos sin generar valor. A su vez existen 8 tipos de desperdicios:
 - 1.1. Sobreproducción
 - 1.2. Transporte de material
 - 1.3. Retrabajos o trabajos innecesarios
 - 1.4. Almacenamientos y reservas
 - 1.5. Defectos que generan retrabajos
 - 1.6. Movimiento del personal o maquinaria
 - 1.7. Espera del personal o maquinaria
 - 1.8. Desperdicio de personal (en cuanto a capacidad o experiencia)
2. *Mura* (desigualdad): pérdidas por variabilidad en la calidad, costes o entrega.
3. *Muri* (exceso): relacionado a la sobrecarga de los recursos de manera innecesaria.

La evolución en el tiempo que ha tenido el LP ha permitido que amplíe su alcance, llegando hoy en día a utilizarse en otros sectores además de la fabricación, como la construcción y servicios sanitarios.

2.3. LEAN CONSTRUCTION (LC)

El proceso de mejora continua en la filosofía Lean llevó a su adaptación el 1992 al sector de la construcción, con la propuesta publicada por Lauri Koskela en su tesis doctoral "*An exploration towards a production theory and its application to Construction*", donde plantea el enfoque de Lean en la construcción base los conceptos de transformación, flujo y valor.

El término *Lean Construction* fue utilizado por primera vez por el *International Group for Lean Construction* en 1993, y encuentra sus bases en *Lean Production* (el Toyota Production System y la Gestión de la Calidad Total) y el ciclo del compromiso (Pellicer, 2017).

Uno de los problemas principales que enfrenta la industria de la construcción al implementar conceptos tradicionales de gestión se encuentra en el flujo del trabajo, ya que se prioriza la secuencia de actividades con menor duración sin considerar la continuidad de las tareas para los equipos de trabajo que las ejecutan. Este fue un aspecto destacado por Koskela en 1992 y que continúa vigente en muchos casos.

De acuerdo con Pons y Rubio (2019), existen hoy en día una serie de problemas crónicos y recurrentes en el sector que afectan directamente la variabilidad e incrementan la incertidumbre de los proyectos. Entre ellos destacan el uso de métodos obsoletos de gestión, escasos controles de productividad, gran cantidad de retrabajos, mano de obra poco cualificada (en comparación con otras industrias) y falta de coordinación entre los involucrados en los proyectos.

Para adaptarse a estas situaciones particulares del sector, los principios básicos de *Lean Construction* se enfocan en (Koskela, 1992):

1. Reducción del desperdicio
2. Reducción de la variabilidad
3. Compresión del ciclo en el tiempo
4. Simplificación de los pasos
5. Incremento de la flexibilidad
6. Mejora de la transparencia
7. Focalización del proceso completo
8. Implementación de la mejora continua (*Kaizen*)

Para la implementación de los conceptos de Lean en un proyecto, existe una gran cantidad de herramientas, como son la metodología de las 5S (organización, orden, limpieza, estandarización y disciplina), el mapa de flujo de valor, Kanban, el *takt time*, la industrialización y prefabricación, y el Sistema del Último Planificador, que es de los más reconocidos de *Lean Construction*.

2.4. SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR (SUP - LAST PLANNER® SYSTEM)

El Sistema del Último Planificador es una de las herramientas de mayor divulgación del *Lean Construction*, especialmente implementada en la fase de ejecución de proyectos de construcción que busca complementar los métodos tradicionales de planificación y seguimiento para incrementar la fiabilidad, mejorar el flujo de trabajo, y por ende el desempeño en la obra (Alarcón y Pellicer, 2009).

Glenn Ballard inició el desarrollo del SUP en 1992 (con la colaboración posterior de Gregory Howell, con quien fundaría el 1997 el *Lean Construction Institute*) y publicó el primer artículo al respecto en 1993, en la primera Conferencia del Grupo Internacional para Lean Construction (*International Group for Lean Construction – IGLC*) (Ballard, 2000).

El SUP es un sistema de control de producción que se sustenta en la necesidad de mejorar los sistemas tradicionales de gestión de proyectos de construcción donde la planificación normalmente indica las tareas que DEBEN ejecutarse (“*should*”), se incorporan los recursos para definir lo que se HARÁ (“*will*”) y se revisa lo que realmente se HIZO (“*did*”), como se observa en la Figura 2. Por su parte, con el SUP se cuenta con un plan de lo que DEBE hacerse, se analiza lo que **PUEDE** (“*can*”), se programa lo que se HARÁ y se revisan los resultados de lo que se HIZO (“*did*”), es decir se selecciona de lo posible lo que se programará evitando paralizaciones, incumplimientos y manteniendo una lista de trabajo ejecutable para adelantar según la disponibilidad.

Figura 2. Representación de las tareas en la planificación tradicional vs el SUP



Fuente: Pons y Rubio, 2019

Esta revisión por etapas de las tareas en el proceso conocido como *SHOULD-CAN-WILL-DID*, permite aumentar la fiabilidad de la planificación que se elabora para la semana, evita retrabajos y optimiza el flujo de trabajo en las diferentes áreas.

La implementación del SUP permite contar con herramientas específicas para los procesos de planificación, seguimiento y control del proyecto. Para incrementar la fiabilidad en la planificación se debe tener en cuenta que en el sector de la construcción participan muchas personas en cargos y momentos diversos según la etapa de la ejecución, por lo que el proceso debe incluirlos y lograr que la programación esté basada en el compromiso (es por eso que el ciclo del compromiso planteado por Fernando Flores es clave para el desarrollo adecuado del SUP) (Pellicer, 2017).

En el SUP, el proceso de planificar las tareas involucra a los "supervisores de primera línea", es decir, las personas que se encuentran directamente en la ejecución, que son las que se conocen como "el último planificador" (Ballard y Tommelein, 2016). Estos actores participan en el desarrollo del programa de trabajo desde la planificación inicial, el proceso de preparación de las tareas y en las reuniones semanales donde se compromete el trabajo a realizar. De esta manera se busca que las tareas programadas sean una lista lo más confiable posible, que ha sido revisada y

que las personas encargadas de llevarlas a cabo consideran que es factible su culminación en el tiempo asignado.

El trabajo de planificar se lleva a cabo por niveles, lo que se conoce como planificación en cascada, que dependen del detalle en el que se desarrolla la información (Ballard, 2000; Pellicer, 2017):

1. **Plan maestro:** es la planificación a gran escala, que abarca el alcance de todo el proyecto y considera todo lo que DEBE ejecutarse en el plazo total disponible, con un bajo nivel de detalle. Este nivel se denomina “compromiso”.
 - 1.1. Un recurso fundamental para su conformación es la **sesión pull**, que consiste en la reunión entre el jefe de obra, encargado, los responsables de cada subcontratista y un facilitador que llevará la dinámica de la actividad.
 - 1.2. La idea de esta sesión es elaborar la planificación a gran escala con un método colaborativo, donde cada responsable asigna sus tareas en la secuencia y con los recursos que considera oportunos, estudiando, entre todos, la interrelación entre ellas. El proceso inicia desde la fecha de culminación del proyecto y se programa en retrospectiva.
 - 1.3. Finalmente, el resultado obtenido durante la reunión se lleva a un software de programación, se revisan los recursos, flujo de trabajo y vinculaciones, y una vez aprobado por todos los participantes, se distribuye la versión oficial del plan maestro generado.
2. **Plan intermedio:** en este nivel de planificación, llamado “flujo” se indica lo que DEBE ejecutarse en un período normalmente entre 4 a 6 semanas con mayor nivel de detalle que el anterior, lo que permite realizar un análisis de restricciones e identificar lo que realmente se PUEDE (“*can*”) ejecutar.
 - 2.1. El proceso de “*make ready*” o “volver posibles” las tareas es la pieza fundamental en este nivel de planificación. Para que las tareas pasen del plan intermedio al plan semanal, debe realizarse

una previa identificación de las restricciones, lo que permite trabajar en las actividades que pueden ser iniciadas a la vez que se enfocan esfuerzos en liberar los conflictos que afectan a las otras.

2.2. Las tareas libres de restricciones pasan a conformar el inventario del trabajo ejecutable, que es el documento que provee de información al plan semanal.

2.3. Por su parte, el registro de restricciones permite analizar, priorizar y solventar las situaciones que impiden el cumplimiento de las tareas bloqueadas. Este proceso intermedio de analiza con varias semanas de anticipación con la intención de que las restricciones se logren liberar antes de la fecha de inicio estimada originalmente y de esta manera no se vea afectado el plan.

2.4. Si hay modificaciones, se debe retroalimentar la información al plan maestro, para mantener actualizado el estatus del proyecto.

3. **Plan semanal:** finalmente, se procede a definir lo que se HARÁ (“will”), y con los resultados se analiza lo que se HIZO para retroalimentar el sistema.

3.1. De las tareas que se encontraban en el inventario de trabajo ejecutable (sin restricciones) se seleccionan aquellas que van acorde con la secuencia lógica del programa y en acuerdo con los últimos planificadores, se incorporan en el plan semanal.

Los procesos antes descritos dentro de cada nivel de la planificación sirven para evitar que la productividad se vea impactada por la variabilidad debido a las diferentes fuentes de incertidumbre en las tareas. Esto se conoce como la creación de un escudo (“*shielding*”) entre los niveles de planificación que evite que estos problemas lleguen a los trabajadores en campo (Choo et al, 1999). Este proceso inicia con el “cribado” (“*screening*”) de la información que pasa del plan maestro al plan intermedio, ya que se cumple con el proceso de identificación de restricciones y preparación de las tareas de acuerdo con los recursos disponibles para maximizar la producción y evitar programar tareas que no podrán culminarse (Ballard y Howell, 1998),

y continua con el escudo generado entre el plan intermedio y el plan semanal a raíz de la preparación y comprobación directa de las tareas programadas con aquellos responsables de ejecutarlas.

Por su parte, el proceso de seguimiento y control se lleva a cabo con la medición del ***Percent Plan Complete (PPC)*** o Porcentaje de Plan Completado, que es la métrica principal del SUP: consiste en la relación porcentual entre la cantidad de tareas del plan semanal ejecutadas respecto a las planificadas. Con este valor se tiene una referencia sobre la fiabilidad del programa al visualizar cuántas de las tareas prometidas realmente se pudieron culminar en el tiempo establecido.

El otro paso importante en este proceso de seguimiento y control es el análisis de las causas de no cumplimiento, ya que su estudio permitirá identificar problemas comunes que puedan ser corregidos para evitar una afectación similar a futuro en otras actividades del proyecto.

La implementación del SUP en los proyectos ayuda a mejorar la gestión y control, estabilizar la producción, reducir desperdicios, tiempos de espera, retrabajos y paralizaciones y añade valor al proyecto (Alarcón y Pellicer, 2009; Porras et al., 2014).

3. ESTUDIO DEL ESTADO DEL CONOCIMIENTO

El estudio del estado del conocimiento del Sistema del Último Planificador se desarrolla en dos fases: contextual y analítica.

3.1. FASE CONTEXTUAL

Esta primera etapa consiste en la identificación de las publicaciones existentes en el tema, creación de una base de datos, selección y depuración de los resultados, y clasificación.

3.1.1. Estrategia de búsqueda

Para detectar los artículos de interés se tomó como fuente de información de referencia la base de datos SCOPUS (de la editorial Elsevier) por ser la más completa entre las reconocidas internacionalmente. Se determinó como período de búsqueda las publicaciones realizadas desde el origen disponible hasta el 30 de junio de 2021. El criterio inicial de búsqueda utilizado es: **TITLE-ABS-KEY (“last planner”)**, es decir, que el título, resumen o palabras claves de las publicaciones contengan la secuencia de palabras “last planner”. De esta manera se encuentran 495 resultados.

3.1.2. Selección y depuración de resultados

El alcance de esta investigación se limita por los tres criterios seleccionados en cuanto al tipo de publicación, idioma y tema asociado:

- Tipo de documento: artículo
- Idioma: inglés o español
- Temas:
 - Ingeniería
 - Negocios, gerencia y contabilidad
 - Ciencias de decisión
 - Matemáticas
 - Economía, econométrica y finanzas
 - Multidisciplinar

De acuerdo con estos criterios adicionales, el filtro completo para la búsqueda bibliométrica es: **TITLE-ABS-KEY (“last planner”) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “ENGI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “BUSI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “DECI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “MATH”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “ECON”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “MULT”)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , “English”) OR LIMIT-TO (LANGUAGE , “Spanish”))**. De esta manera se obtienen 123 resultados que fueron exportados a Microsoft Excel para ser procesados.

Como paso final de depuración, se revisaron los resúmenes o contenido completo (según cada caso) y se clasificaron los artículos según el nivel de proximidad al objetivo general de la investigación, de acuerdo con la escala indicada en la Tabla 1, con lo que se lograron descartar de la base de datos aquellas publicaciones cuya información no estuviera relacionada directamente con el flujo de trabajo del SUP.

Tabla 1. *Clasificación según el nivel de proximidad*

NIVEL DE PROXIMIDAD	DESCRIPCIÓN	DETALLE	CANTIDAD DE ARTÍCULOS
A	Muy relacionado	Menciona nuevas propuestas para el flujo de trabajo del Sistema del Último Planificador	71
B	Medianamente relacionado	Comenta sobre las etapas del flujo de trabajo base del Sistema del Último Planificador	36
C	No relacionado	No contiene información relevante sobre el flujo de trabajo del Sistema del Último Planificador	14

Al retirar los 14 resultados no relacionados, se obtienen 109 artículos, de los cuales se retiraron 2 publicaciones adicionales que no pudieron ser evaluadas por no contarse con acceso al resumen ni documento completo en versión digital. Finalmente se cuenta con una base de datos de 107 artículos para clasificar y analizar.

3.1.3. Clasificación

Para analizar la data se decidió clasificar los artículos según los siguientes puntos:

- a. Año de publicación
- b. Autores
- c. Países
- d. Revistas
- e. Técnica de obtención de datos
- f. Técnica de análisis de datos
- g. Categorías
- h. Tipo de obra
- i. Fase del proyecto

Los números totales de las primeras 4 clasificaciones en la lista se obtienen directamente con la información y las herramientas de análisis de datos de SCOPUS. Para las otras 5 clasificaciones se crearon listas de opciones específicas según se indican en la Tabla 2.

Adicionalmente, al procesar los artículos de la base de datos se identificaron dos factores de interés que serán explicados y utilizados más adelante en el desarrollo del flujo de trabajo integrado: la referencia del artículo a los procesos y documentos incluidos en el flujo de trabajo utilizado como base y las nuevas propuestas presentadas. En el Anexo 7.1. Base de datos, desde la Tabla 16 hasta la Tabla 35 se puede observar la lista de los artículos de la base de datos con el número de identificación asignado (ID) y todos los detalles de las clasificaciones hechas. En adelante, se hará referencia a los artículos específicos por este número de ID en las tablas y diagramas, a fin de poder representar la información de una manera ordenada y legible.

Tabla 2. Parámetros para clasificación de artículos

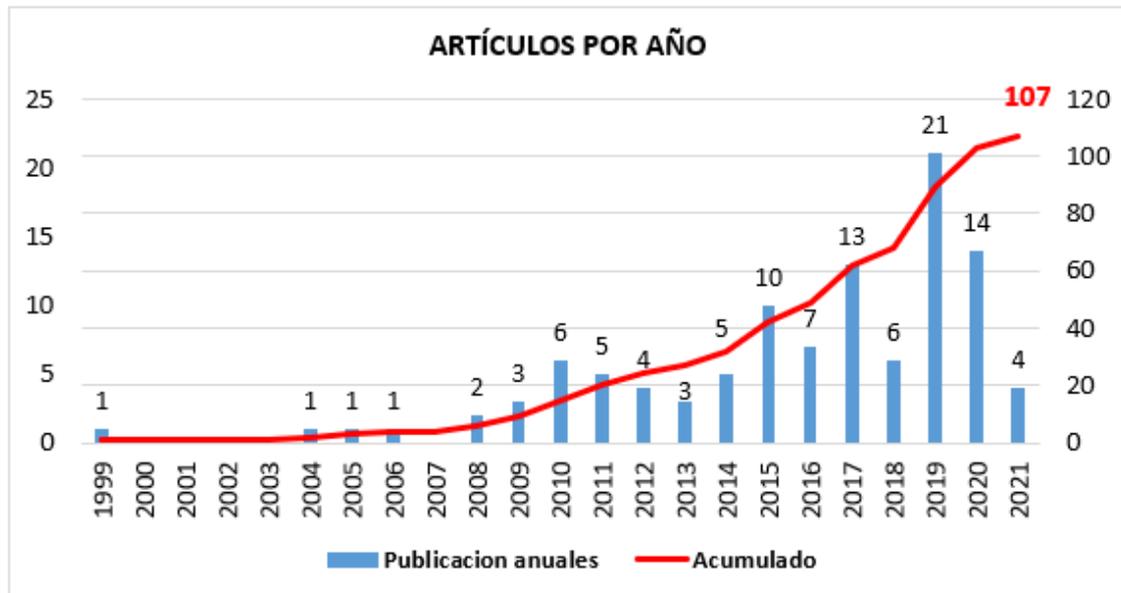
PARÁMETRO	CLASIFICACIÓN
Técnicas de obtención de datos	Caso de estudio
	Revisión literaria / Análisis de contenidos
	Cuestionario / Encuesta
	Entrevista
	Observación
	Panel de expertos
Técnicas de análisis de datos	Cuantitativo no estadístico
	Modelo / Simulación
	Cualitativo
	Cuantitativo estadístico
	Mixto (cuantitativo y cualitativo)
Categorías	Análisis / implementación del SUP
	Combinación del SUP con otras herramientas
	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP
	Nuevo sistema o herramienta de gestión
	Análisis de técnicas de Lean Construction
	Nuevas métricas
Tipo de obra	Edificación
	Infraestructura
	Industrial
	Instalaciones MEP
	Megaproyecto
	Ferrovionario
	Servicios
	Reforma
	Prefabricados
	Turbinas eólicas
	NA
Fase del proyecto	Diseño
	Construcción
	Diseño y construcción

3.2. FASE ANALÍTICA

En esta fase se presentan los resultados y análisis de los datos obtenidos según la clasificación de los artículos de la base de datos.

a. Año de publicación

Figura 3. Artículos publicados por año



En la Figura 3 se observa que la publicación de artículos sobre el SUP y su flujo de trabajo se inicia en 1999 y se muestra incremental en el tiempo. Esta tendencia puede estar relacionada al crecimiento del interés en el estudio del tema debido a los buenos resultados obtenidos. Se observa también una disminución considerable de la cantidad de artículos publicados durante los años 2020 y primer semestre de 2021, esto podría estar relacionado al efecto negativo en todos los sectores que ha tenido la pandemia mundial del COVID-19; sin embargo, no se pueden tampoco descartar otros factores como la disminución del interés sobre el tema, por el auge de otras técnicas y métodos. Adicionalmente, se puede apreciar que más de 80% de los artículos se han publicado en la última década, lo que se relaciona con el incremento del conocimiento e interés sobre el tema en el tiempo.

El primer artículo publicado en 1999 llama la atención, ya que aparece un año antes que el trabajo de Glenn Ballard “*The Last Planner System of Production Control*” que se considera la presentación formal del sistema. Considerando que el propio Ballard es uno de los autores, se relaciona con que el hecho de que el SUP llevaba años en desarrollo antes de su conformación como herramienta de gestión, y este artículo seguramente es parte de estos estudios previos a su integración.

b. Autores

Para este análisis, primero se creó una lista de los diferentes autores participantes en los artículos en estudio. El número total es 276.

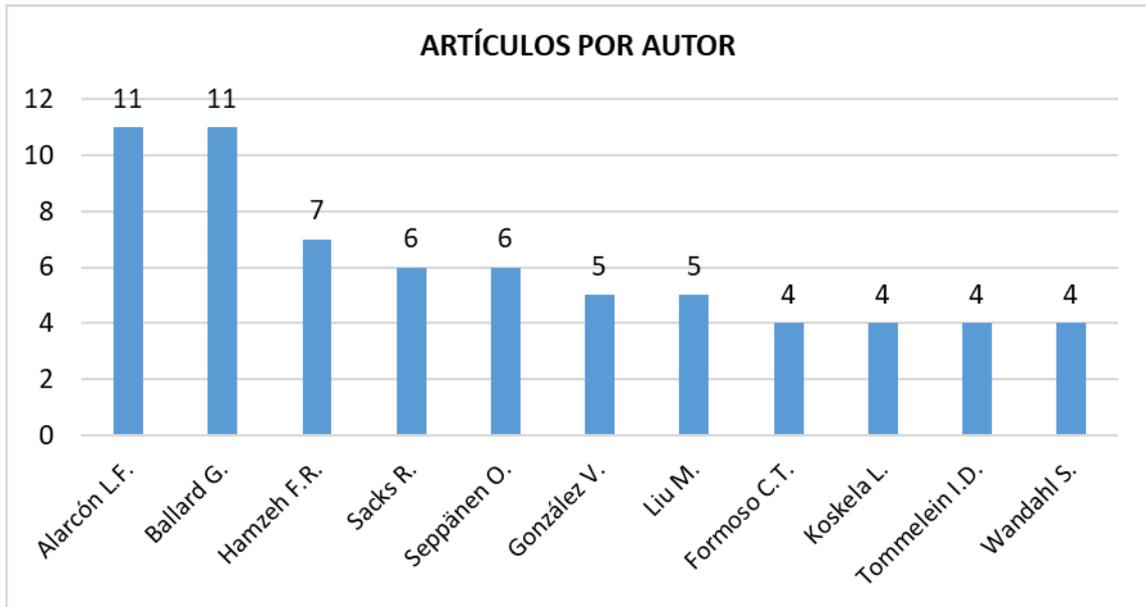
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Tabla 3 se puede observar la distribución de la cantidad de autores según la cantidad de artículos publicados. De esta información destaca que 82% de los autores han trabajado únicamente en un artículo y son 2 los que han trabajado en el máximo de 11 artículos.

En la Figura 4**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa la lista de los 11 autores que han participado en 3 o más artículos, donde el máximo por persona ha sido de Luis Fernando Alarcón y Glenn Ballard respectivamente. Esta muestra representa 4% de los autores y entre todos han participado en 63 de los artículos (59% del total de la base de datos).

Tabla 3. Cantidad de autores por cantidad de artículos publicados

CANTIDAD DE ARTÍCULOS	AUTORES	%
11	2	0,7%
7	1	0,4%
6	2	0,7%
5	2	0,7%
4	4	1,4%
3	10	4%
2	29	11%
1	226	82%

Figura 4. Artículos por autor



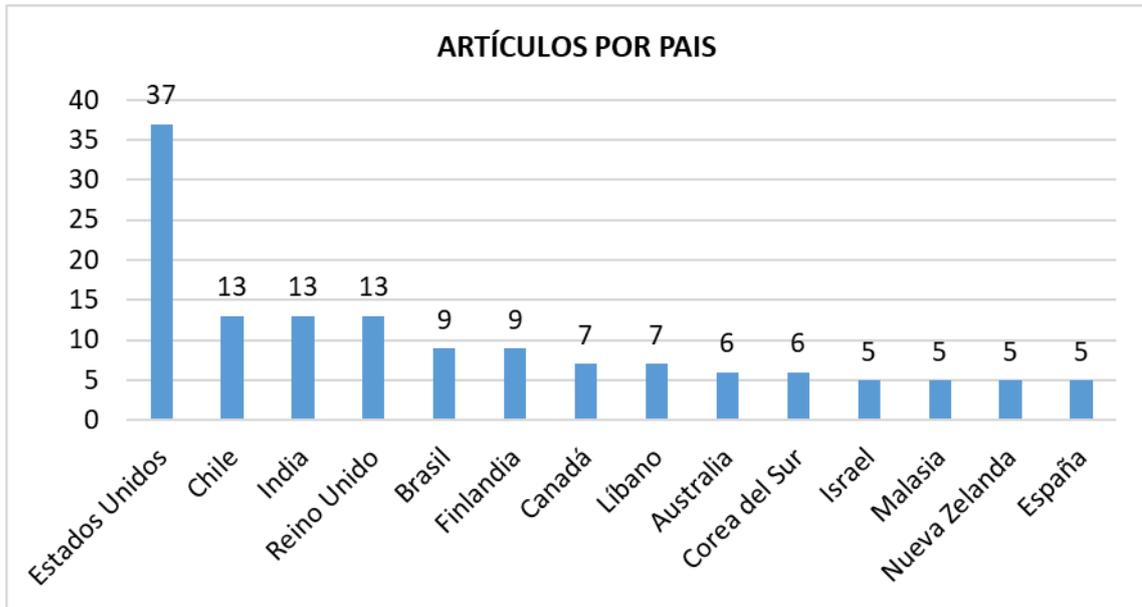
c. Países

Con respecto a los países vinculados a las investigaciones que conforman la base de datos, se obtuvo un total de 39 países, listados en la Tabla 4. De estos, destaca Estados Unidos con implicación en 37 artículos publicados, seguido por Chile, India y Reino Unido con 13 artículos cada uno. Los 10 países relacionados a 5 o más artículos se pueden observar en la Figura 5, estos representan 26% de las localizaciones.

Tabla 4. *Lista de países vinculados a las investigaciones*

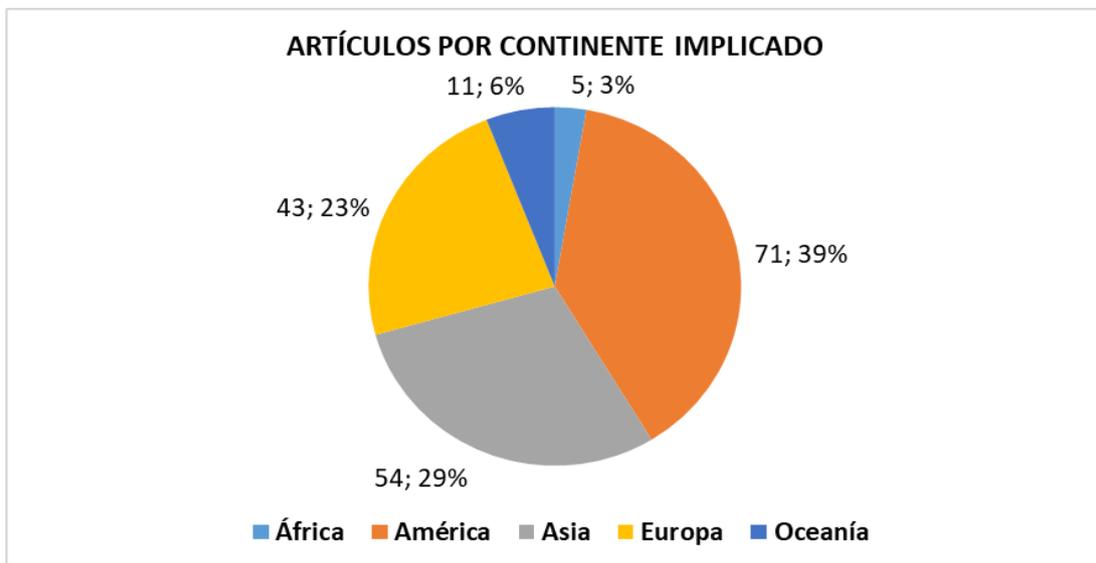
PAISES VINCULADOS A LAS INVESTIGACIONES	CANTIDAD DE ARTÍCULOS
Estados Unidos	37
Chile	13
India	13
Reino Unido	13
Brasil	9
Finlandia	9
Canadá	7
Líbano	7
Australia	6
Corea del Sur	6
Israel	5
Malasia	5
Nueva Zelanda	5
España	5
Dinamarca	4
Palestina	3
Singapur	3
Colombia	2
Egipto	2
Hungría	2
Irán	2
Irlanda	2
Italia	2
Marruecos	2
Noruega	2
Pakistán	2
Arabia Saudita	2
Emiratos Árabes	2
Vietnam	2
China	1
Ecuador	1
Francia	1
Alemania	1
Luxemburgo	1
México	1
Nigeria	1
Perú	1
Rusia	1
Suiza	1

Figura 5. Artículos por país



Por su parte, si analizamos la implicación en las publicaciones agrupando los países por continente, como se puede observar en la Figura 6, se tienen América, Asia y Europa como los de mayor participación, en ese orden.

Figura 6. Artículos por continente implicado en la investigación



d. Revistas

En la Tabla 5 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se encuentra la lista de las revistas donde fueron publicados los artículos y la cantidad que aparece en cada una. Se tienen en total 40 fuentes diferentes. De éstas destacan el “Journal of Construction Engineering and Management” y “Lean Construction Journal” con 15 publicaciones cada una. Las 10 primeras revistas de la lista (25% del total) contienen 69 de los 107 artículos (64%), el detalle se puede observar en la Figura 7 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 7. Artículos por revista

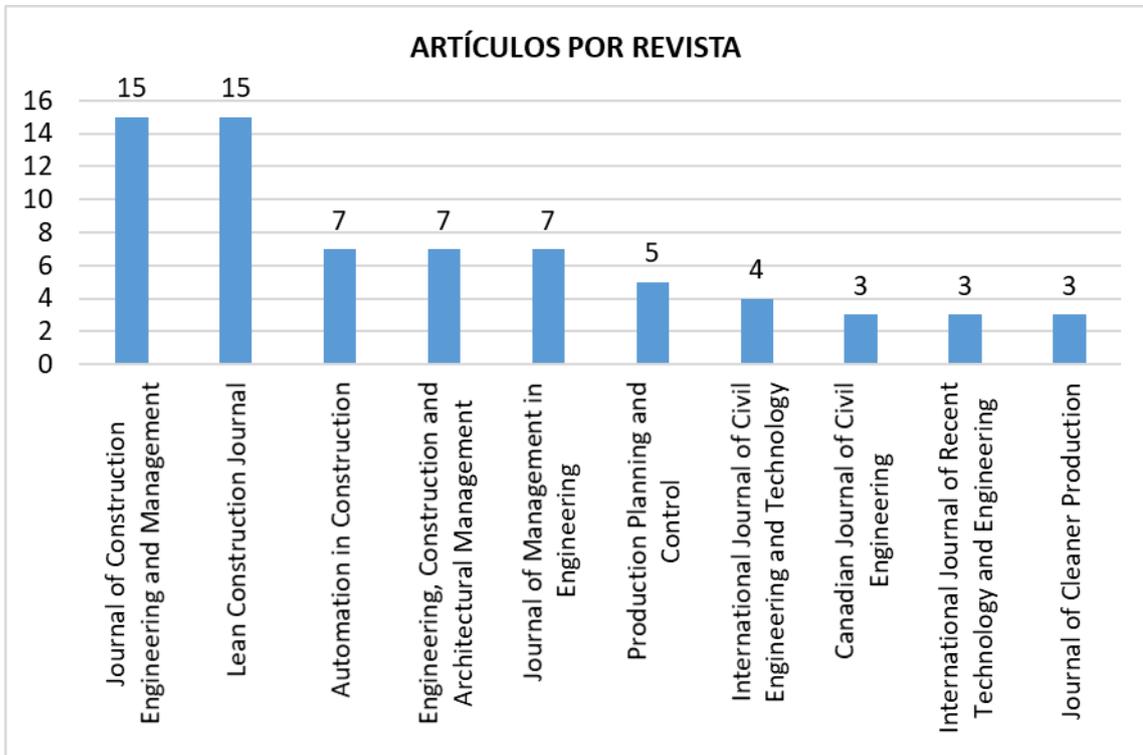


Tabla 5. *Lista de revistas fuente de las publicaciones*

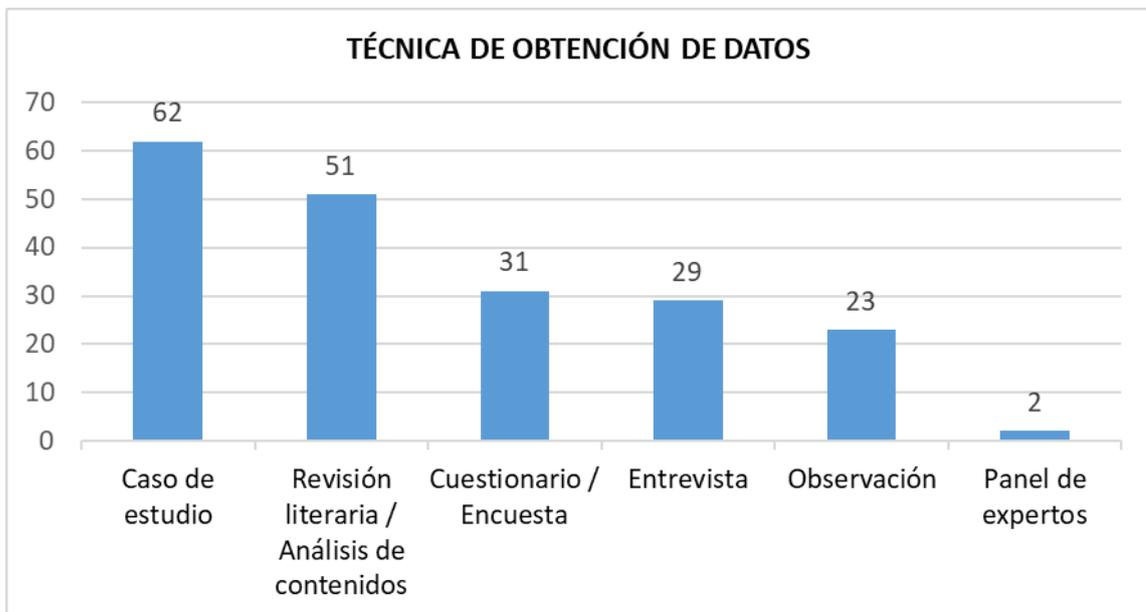
REVISTA	CANTIDAD DE ARTÍCULOS
Journal of Construction Engineering and Management	15
Lean Construction Journal	15
Automation in Construction	7
Engineering, Construction and Architectural Management	7
Journal of Management in Engineering	7
Production Planning and Control	5
International Journal of Civil Engineering and Technology	4
Canadian Journal of Civil Engineering	3
International Journal of Recent Technology and Engineering	3
Journal of Cleaner Production	3
Alexandria Engineering Journal	2
Applied Sciences (Switzerland)	2
Construction Management and Economics	2
International Journal of Construction Management	2
International Journal of Engineering Research in Africa	2
International Journal of Project Organisation and Management	2
Revista de la Construcción	2
Revista Ingeniería de Construcción	2
Buildings	1
Construction Innovation	1
Dyna (Spain)	1
Indian Journal of Science and Technology	1
International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology	1
International Journal of Applied Engineering Research	1
International Journal of Chemical Sciences	1
International Journal of Civil Engineering	1
International Journal of Construction Education and Research	1
International Journal of Emerging Trends in Engineering Research	1
International Journal of Project Management	1
Jordan Journal of Civil Engineering	1
Journal of Engineering, Design and Technology	1
Journal of Financial Management of Property and Construction	1
Journal of Information Technology in Construction	1
Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice	1
Journal of The Institution of Engineers (India): Series A	1
KSCE Journal of Civil Engineering	1
Open Construction and Building Technology Journal	1
Revista de Obras Públicas	1
Scientia Iranica	1
Sensors (Switzerland)	1

e. Técnicas de obtención de datos

Para analizar las técnicas de obtención de datos utilizadas en las investigaciones, se creó una clasificación según se hubiese aplicado cuestionario o encuesta, entrevista, revisión literaria o análisis de contenido, panel de expertos, casos de estudio u observación. Al realizar la clasificación se observó que la mayoría de los artículos de la base de datos utilizan al menos dos técnicas diferentes, ya que el alcance de la investigación y la metodología propuesta abarcan varias etapas que se deben evaluar por separado.

De acuerdo con los resultados obtenidos, que se pueden observar en la Figura 8, la técnica más utilizada es el caso de estudio con 62 artículos (58%), seguida por la revisión literaria o análisis de contenido con 51 artículos (48%). Esto coincide con el hecho de que la mayor parte de los artículos se encontraban orientados a la implementación del Sistema del Último Planificador para su evaluación en diferentes aspectos (ver Figura 10; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) o requerían de un estudio bibliográfico previo para enfocar el trabajo a desarrollar.

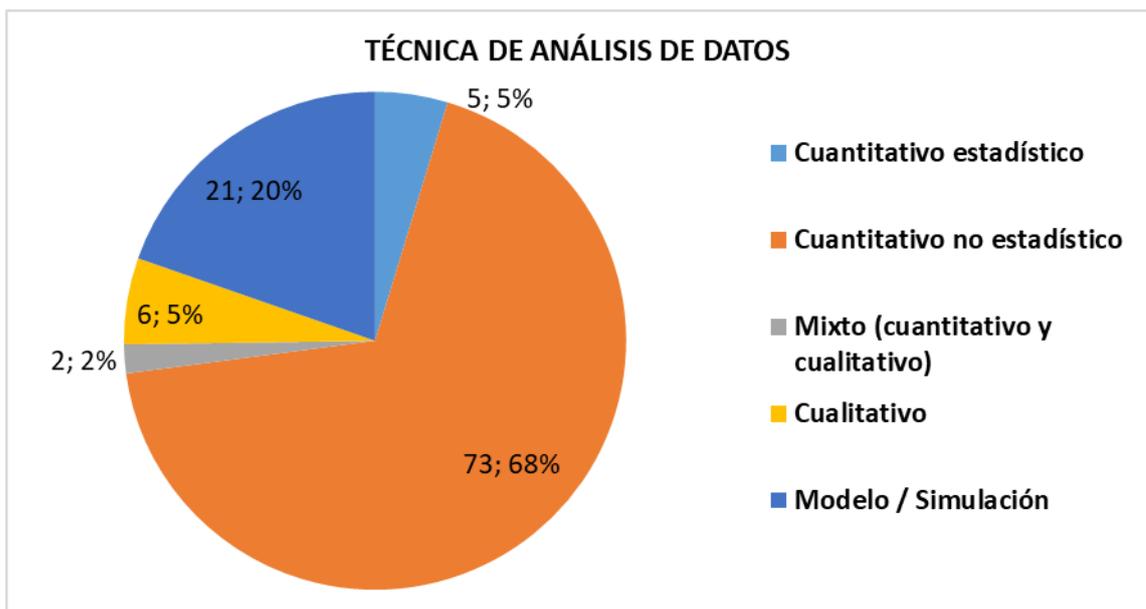
Figura 8. Artículos por técnica de obtención de datos



f. Técnicas de análisis de datos

Las técnicas de análisis de datos utilizadas se clasificaron según los estudios fueran cuantitativos estadísticos o no, cualitativos, mixtos o basados en un modelo o simulación computarizada. Los resultados observados en la Figura 9 indican que la principal técnica utilizada fue el análisis cuantitativo no estadístico con 68%, seguido por el desarrollo de modelos o simulaciones con 20% de los artículos. Esto se puede relacionar con las cifras anteriormente presentadas donde la principal técnica de obtención de datos resultó el caso de estudio, ya que en general la información recopilada en los casos de estudio se procesa a fines de obtener indicadores de gestión específicos del proyecto y no para establecer una correlación estadística significativa o general.

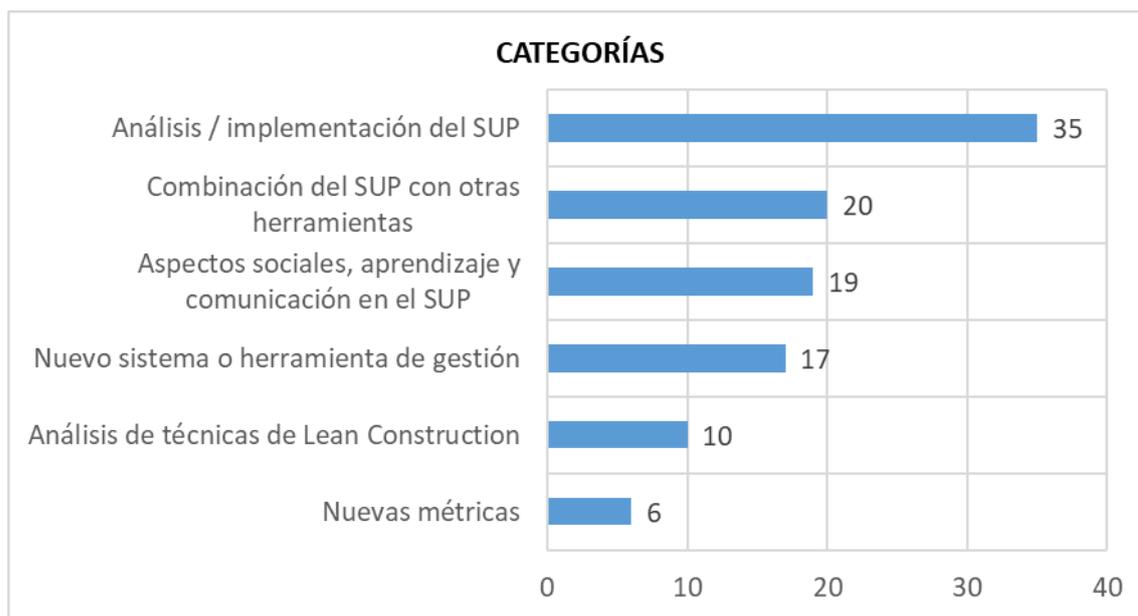
Figura 9. Artículos por técnicas de análisis de datos



g. Categorías

Para este paso se elaboró una lista de 6 categorías en las que se pudieran clasificar todos los artículos de la base de datos. El criterio para la definición de estas categorías se centró en la motivación principal de la investigación en relación con el flujo de trabajo (objetivo principal del estudio).

Figura 10. Artículos por categoría



En la primera categoría de **análisis / implementación del SUP** se engloban los artículos que están enfocados a aplicar el Sistema del Último Planificador en un proyecto específico o que se apoyan en otras técnicas para estudiar en detalle alguno de los componentes del sistema, como una métrica, reunión o entregable. Esta es la categoría más frecuente, como se aprecia en la Figura 10, incluyendo 35 artículos. Este número no coincide con la cantidad de casos de estudio identificados, ya que estos en algunas ocasiones se realizaron con una finalidad que se representa mejor en otra clasificación.

La segunda categoría en orden de frecuencia es la **combinación de SUP con otras herramientas**, acá se incluyen los artículos que proponen el uso de las herramientas del Sistema del Último Planificador en conjunto con otras herramientas de gestión existente que permitan complementar o fortalecer los puntos débiles del SUP, por ejemplo, con el apoyo de modelos de información BIM (*Building Information Modelling*), planificación basada en la localización LBSM (*Location Based Scheduling Management*) o herramientas Gestión del Valor Ganado EVM (*Earned Value Management*). Se encontraron 20 artículos con este enfoque de investigación.

La siguiente categoría se denomina **aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP** y agrupa todos aquellos artículos dedicados a estudiar el Sistema del Último Planificador desde el punto de vista social, las interacciones existentes entre las personas involucradas y la influencia de estas conexiones en el desarrollo del proyecto, la comunicación entre diferentes roles y las propuestas sobre la enseñanza del SUP para los colaboradores que no se encuentran familiarizados con la herramienta. De este punto se encuentran 19 artículos.

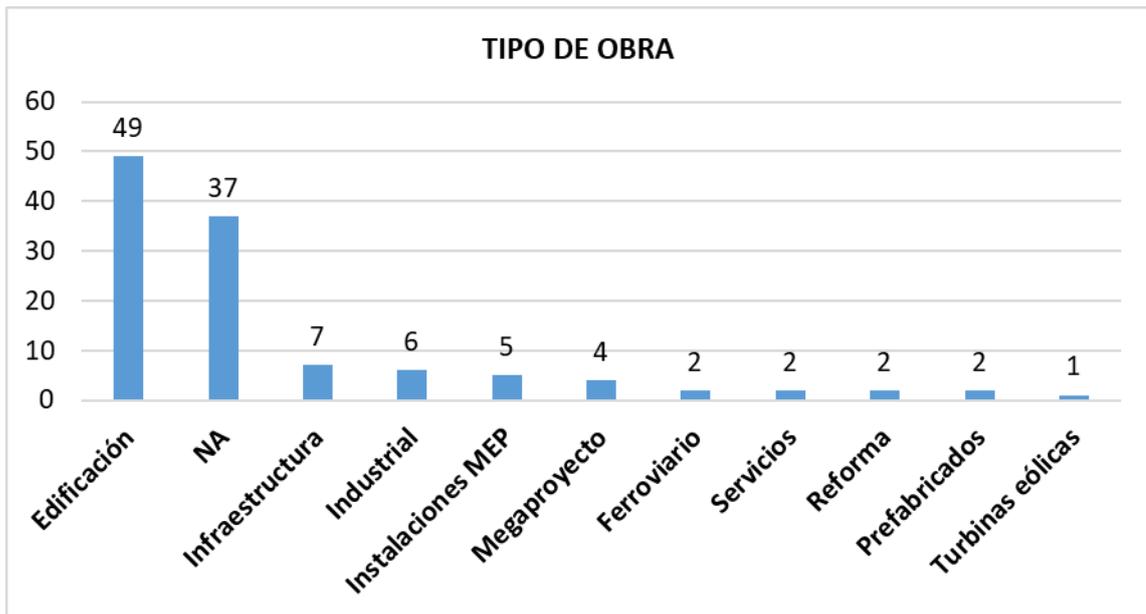
Se cuenta con la opción de **nuevo sistema o herramienta de gestión** para aquellos artículos que proponen nuevos pasos de trabajo, procesos, entregables o herramientas específicas para complementar o mejorar la base existente en el Sistema del Último Planificador. Dentro de la categoría se clasificaron 17 artículos. Esta categoría fue separada de **nuevas métricas**, donde se consideran los 6 artículos que proponen específicamente indicadores adicionales para controlar el proyecto en sus diferentes etapas.

Finalmente, se tiene la categoría de **análisis de técnicas de Lean Construction** donde se engloban los artículos cuyo enfoque está dirigido al estudio de herramientas de Lean Construction en general (y no únicamente del SUP), pero que no fueron descartadas de acuerdo con el índice de proximidad establecido al procesar la base de datos debido a la relevancia del Sistema del Último Planificador en el estudio.

h. Tipo de obra

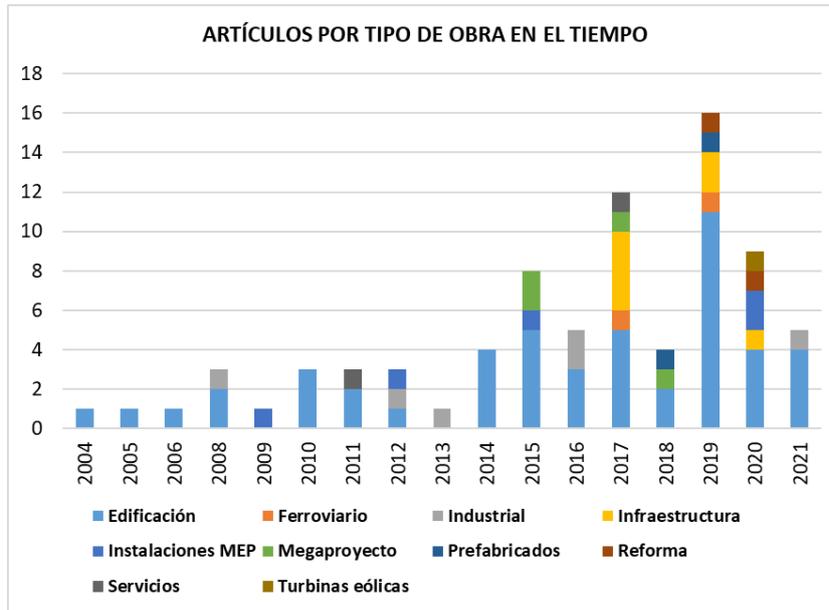
Un 65% de los artículos (70 de 107) están directamente relacionados con un tipo de obra en particular, el otro 35% se clasificaron como "NA" (no aplica) ya que la investigación no tenía el tipo de obra como un factor diferencial (por ejemplo, revisiones bibliográficas que abarcan todo tipo de proyecto o herramientas de estudios de aspectos sociales). De los artículos relacionados por tipo de obra, 49 corresponden a edificación (incluye residencial, comercial y estaciones de servicio), siendo esta la clasificación de mayor frecuencia, como se observa en la Figura 11.

Figura 11. Artículos por tipo de obra



El resto de artículos se encuentra asociado a otros 9 tipos de obra. En la Figura 12 se observa como la tendencia a diversificar el tipo de obra utilizada en los estudios es reciente, de hecho 25 de los 31 artículos que utilizaron tipos de construcción diferentes a la edificación fueron publicados en los últimos 5 años. Esto está probablemente relacionado con la necesidad de innovar e identificar oportunidades de mejora en nuevos sectores.

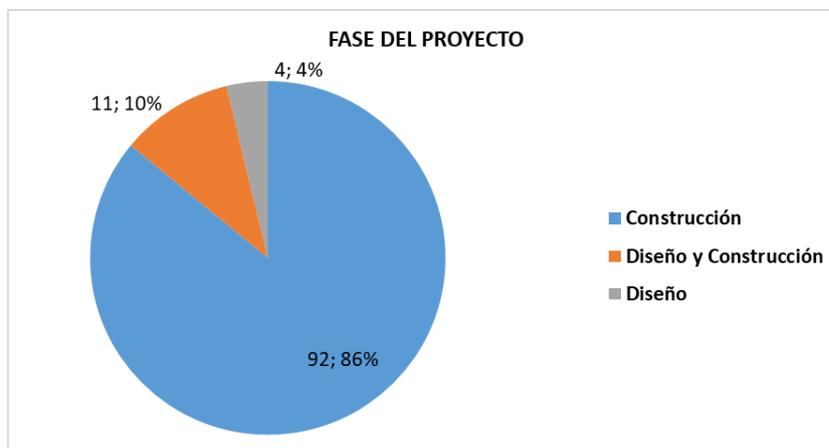
Figura 12. Artículos por tipo de obra en el tiempo



i. Fase del proyecto

Finalmente, se clasificaron los artículos según la fase del proyecto a la que se refieren o en la que se pueden implementar los conocimientos propuestos en la investigación. En esta categoría se observa una clara mayoría en la relación con la fase de construcción, representado en la Figura 13 con 86% del total. Se encontraron de igual manera 11 artículos que comentan el uso del Sistema del Último Planificador y la interrelación entre ambas fases de diseño y construcción y solo 4 artículos enfocados en el SUP en la fase de diseño.

Figura 13. Artículos por fase del proyecto

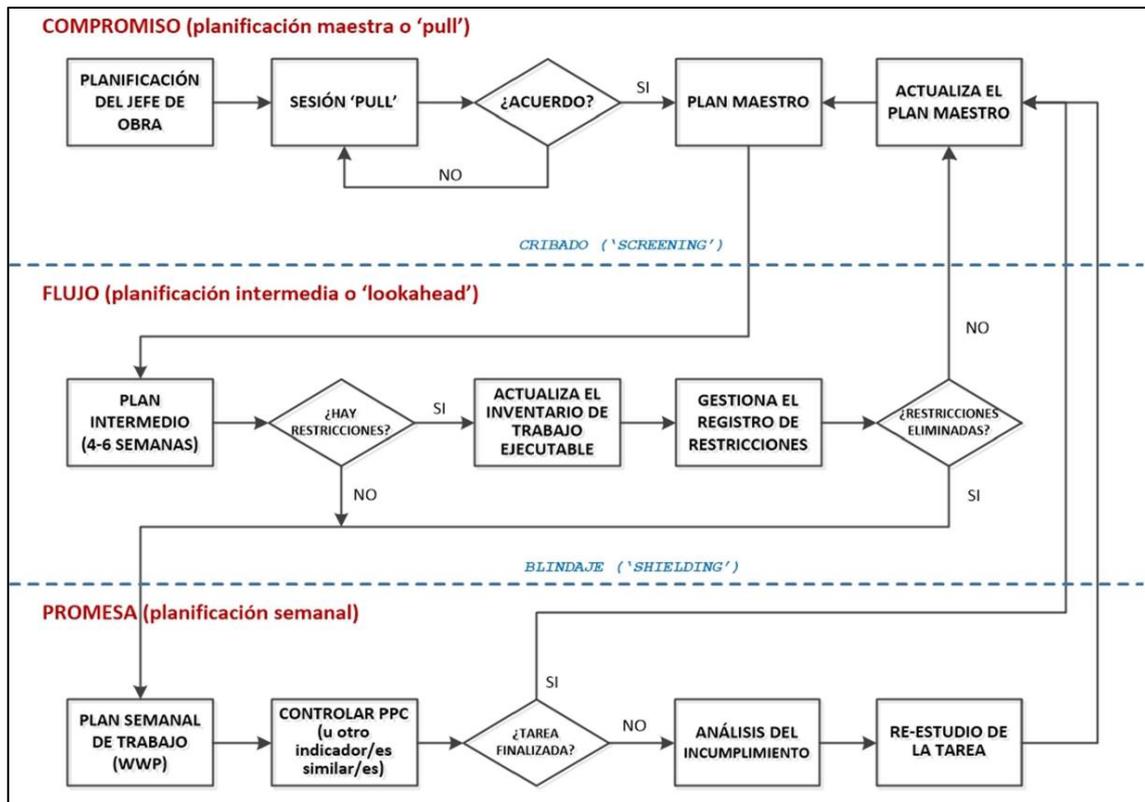


4. FLUJO DE TRABAJO DEL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR

4.1. FLUJO DE TRABAJO BASE

Para la elaboración del flujo de trabajo sintetizado del Sistema del Último Planificador se utilizó como base el esquema elaborado por Eugenio Pellicer (Pellicer, 2017) que adapta y sintetiza diferentes propuestas (algunas no publicadas) de Luis F. Alarcón, Glenn Ballard, Fernando Cerveró, Greg Howell y Paulo Napolitano. El esquema base utilizado es el que se observa en la Figura 14.

Figura 14. Flujo de trabajo base (Pellicer, 2017)

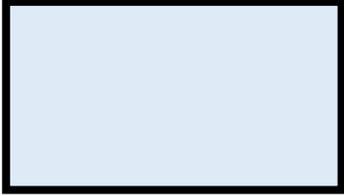
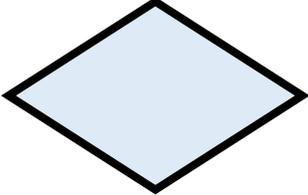


El diagrama está compuesto por tareas o entregables (rectángulos) y puntos de decisión (rombos) los cuales, a su vez, están clasificados en las tres etapas definidas como **compromiso**, **flujo** y **promesa** según la planificación elaborada, y que a su vez están separadas por las divisorias de **cribado** y **blindaje**, según la fiabilidad de la información generada.

4.2. ARTÍCULOS RELACIONADOS CON EL FLUJO DE TRABAJO BASE

El primer paso en el estudio del flujo de trabajo fue adaptar la base a la simbología utilizada en la norma ISO 5807:1985 (Carroll, 2006) que es el estándar para la elaboración de diagramas de flujo, separando los procesos y entregables para ser representados según se muestra en la Figura 15.

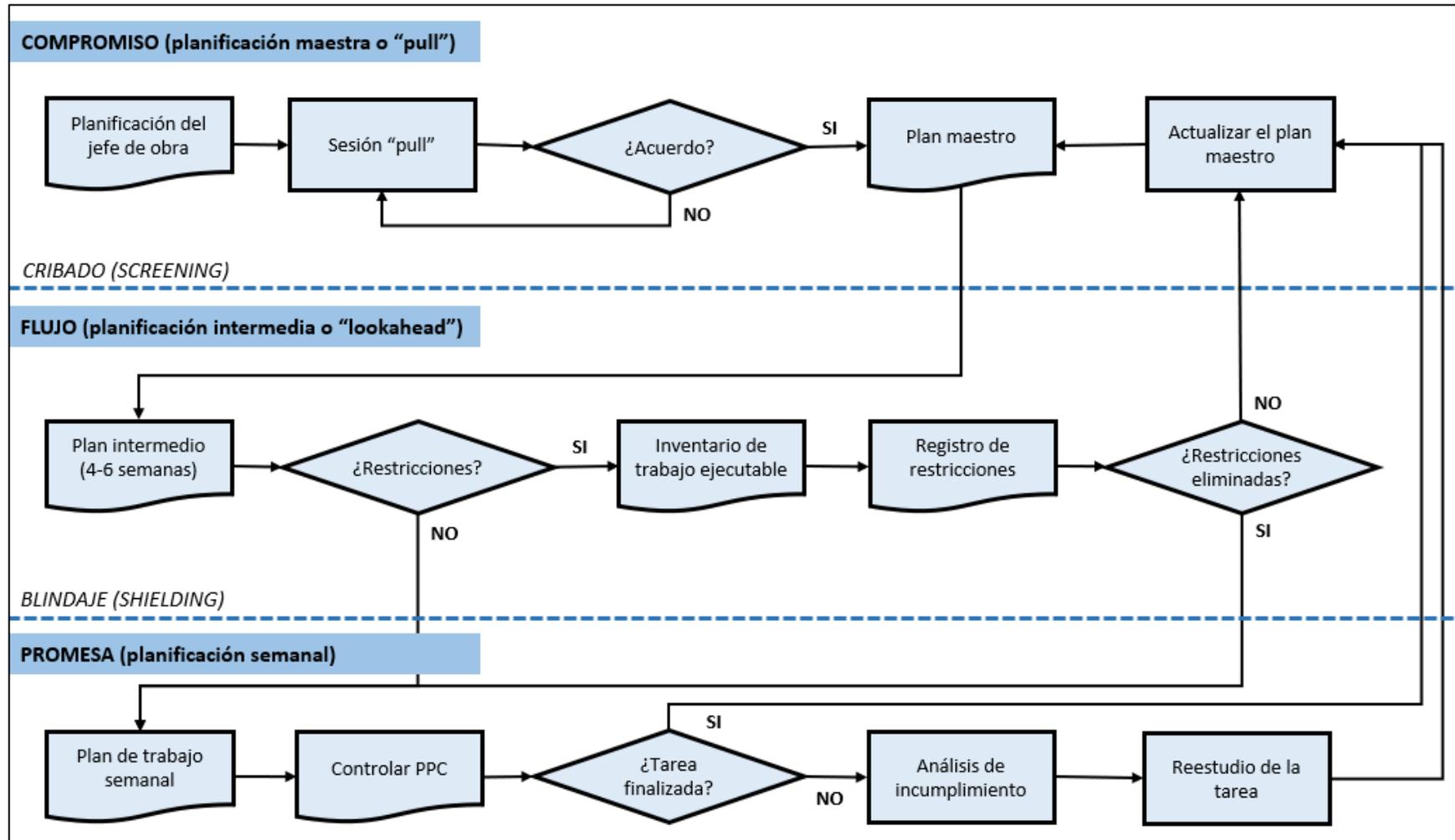
Figura 15. Simbología utilizada en el flujo de trabajo

TIPO DE ELEMENTO	SÍMBOLO
PROCESO	
DOCUMENTO / ENTREGABLE	
DECISIÓN	

Nota: elaboración propia, adaptado de Carroll (2006)

De esta manera el flujo de trabajo base queda como se indica en la Figura 16.

Figura 16. Flujo de trabajo base con simbología estándar



Nota: adaptado de Pellicer (2017)

El siguiente paso corresponde a la identificación de los artículos de la base de datos que hacen referencia o analizan los diferentes elementos existentes en el flujo de trabajo base, esto a fin de corroborar la vinculación de los mismos al objeto de investigación, validar el trabajo base e identificar los procesos o documentos de mayor relevancia. En la Figura 17 se puede observar en amarillo la cantidad de artículos referidos en cada paso del flujo de trabajo, donde **el ID se corresponde con el identificador de cada artículo según la base de datos que se encuentra en las tablas del Anexo 7.1.**

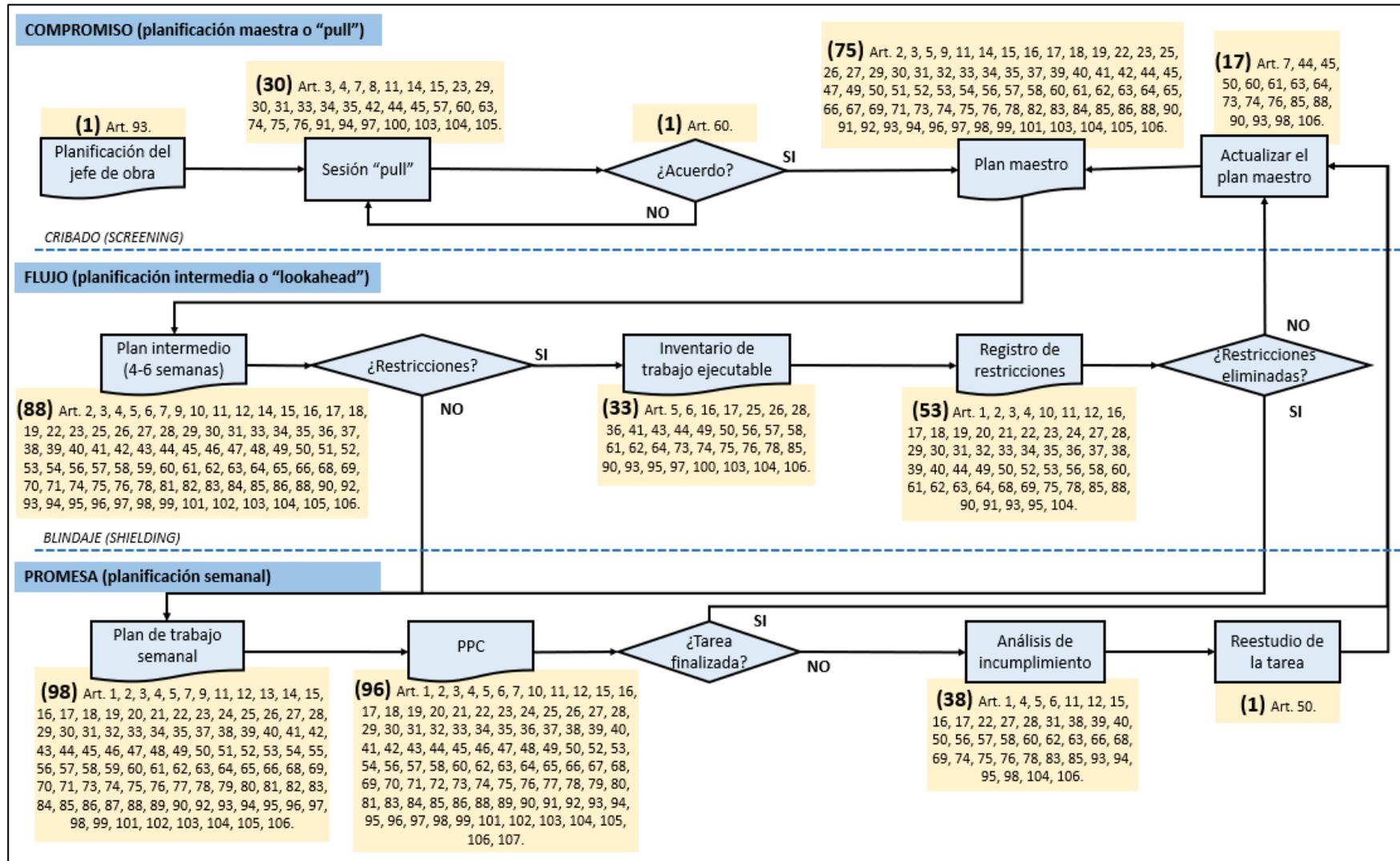
En la Tabla 6 se cuenta con el resumen de la cantidad de artículos por elemento del flujo de trabajo base al que mencionan. Destaca que el documento más utilizado en los artículos de investigación es el plan de trabajo semanal, PPC, plan intermedio y plan maestro, siendo estos los tres niveles de detalle principales utilizados en el SUP y su métrica de control.

También se observa que los procesos de la planificación inicial elaborada por el jefe de obra y el reestudio de la tarea antes de la actualización del plan maestro solo son específicamente mencionados en un artículo respectivamente, al igual que la referencia al punto de decisión entre la sesión pull y el plan maestro.

Tabla 6. Cantidad de artículos por elemento del flujo de trabajo base que mencionan

ELEMENTO DEL FLUJO DE TRABAJO BASE	CANTIDAD DE ARTÍCULOS QUE LO REFIEREN
Plan semanal	98
PPC	96
Plan intermedio	88
Master	74
Registro de restricciones	53
Inventario de trabajo ejecutable	33
Análisis de incumplimiento	31
Sesión pull	30
Actualizar el plan maestro	17
Planificación del jefe de obra	1
Reestudio de la tarea	1

Figura 17. Flujo de trabajo base con artículos relacionados por paso



4.3. FLUJO DE TRABAJO INTEGRADO

Para generar el flujo de trabajo integrado, se identificaron todos los nuevos procesos y documentos propuestos en cada artículo (o su referencia a una nueva propuesta anterior). Estos, se organizaron según la etapa de planificación en la que se deben incorporar al flujo de trabajo del SUP para finalmente obtener la propuesta conjunta.

4.3.1. Nuevas propuestas

De los 107 artículos en total que se encuentran en la base de datos, se trabajó con los 71 fueron clasificados con nivel de proximidad “A”, es decir, que presentaban o comentaban un aporte adicional al flujo de trabajo del SUP utilizado de base. Con los pasos nuevos identificados se elaboró la Tabla 7 donde se listan todos los procesos y documentos con su correspondiente identificador alfabético (ID), resultando en un total de 39 nuevas propuestas. Para analizar de mejor manera las nuevas propuestas, se han separado en 4 puntos según la etapa de planificación en la que se incorporan al flujo de trabajo del SUP y un último punto para aquellos generales que no se encuentran específicamente dentro del flujo.

Tabla 7. Lista de nuevas propuestas para el flujo de trabajo del SUP

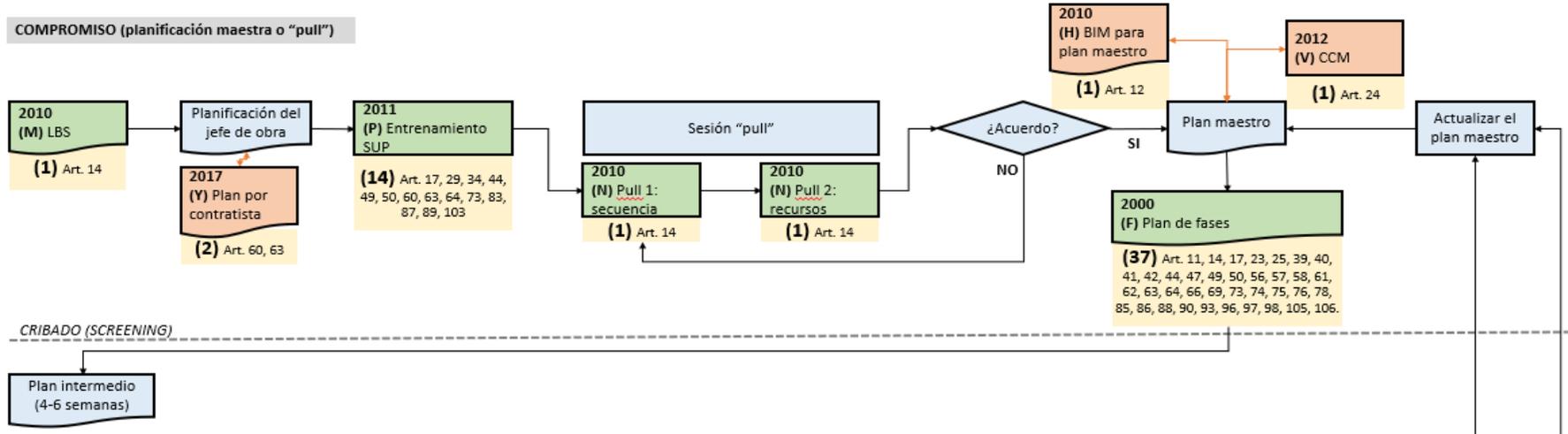
ID	NUEVA PROPUESTA
(A)	Workplan
(B)	DePlan
(C)	PRI - Process Reliability Index o Índice de Fiabilidad del Proceso
(D)	PPI - Project Productivity Index o Índice de Productividad del Proyecto
(E)	RCM - Reliable Commitment Model o Modelo del Compromiso Fiable
(F)	Plan de fases
(G)	KanBIM
(H)	BIM para plan master
(I)	BIM para plan intermedio
(J)	Preparación de reunión semanal
(K)	BIM para plan semanal
(L)	Reunión diaria
(M)	LBS - Location Breakdown Structure o Estructura de Desagregación de la Ubicación
(N)	Dividir sesión pull
(O)	Reunión de detalle
(P)	Entrenamiento SUP
(Q)	RAM - Risk Assessment Matrix o Matriz de Evaluación de Riesgos
(R)	Clasificación de restricciones
(S)	Restricciones a dos niveles
(T)	TA - Tasks Anticipated o Tareas Anticipadas
(U)	TMR - Tasks Made Ready o Tareas Preparadas
(V)	CCM - Critical Chain Method o Gestión de la Cadena Crítica
(W)	Sistema de sensores
(X)	CFI - Construction Flow Index o Índice de Flujo de la Construcción
(Y)	Plan por contratista
(Z)	Resultados públicos
(AA)	CRI - Constraint Removal Index o Índice de Restricciones Eliminadas
(AB)	ABI - Adherence to Batch Index o Índice de Adherencia al Lote
(AC)	PCR - Percent of Constraints Removal o Porcentaje de Restricciones Eliminadas
(AD)	CL - Commitment Level o Nivel de Compromiso
(AE)	PRCO - Percent Required Completed or Ongoing o Porcentaje de Requeridas Completadas o En Proceso
(AF)	RL - Required Level o Nivel Requerido
(AG)	MV - Milestone Variance o Variación de Hitos
(AH)	CU - Completed Uncommitted o Completadas No Comprometidas
(AI)	PCN - Percent Completed New o Porcentaje de Completadas Nuevas
(AJ)	PWR - Planned Work Ready o Trabajo Planificado Listo
(AK)	CLR - Capacity Load Ratio o Radio de Capacidad de Carga
(AL)	RCR - Required Capacity Ratio o Radio de Capacidad Requerida
(AM)	RPC - Required Percent Complete o Porcentaje Requerido Completado

A continuación, se resume el contenido de cada propuesta por etapa, identificada con su ID correspondiente e indicando el aporte que genera su incorporación al flujo de trabajo del SUP.

4.3.2. Nuevas propuestas en la etapa de compromiso

En la Figura 18 se puede observar el resultado de incorporar las nuevas propuestas al flujo de trabajo base en la etapa de compromiso. En azul se muestran los elementos del flujo base, en verde los procedimientos o documentos nuevos que se incorporan a la secuencia de trabajo y en naranja los procedimientos y documentos nuevos que buscan complementar o retroalimentar un elemento existente en el flujo base, pero no se desarrolla en cadena. El amarillo se utiliza, al igual que en el diagrama anterior del flujo de trabajo base (Figura 17), para indicar la cantidad y el ID de los artículos que hacen referencia a cada nueva propuesta. Esta misma leyenda de colores se utiliza en los esquemas siguientes a este, para los flujos de trabajo de las otras dos etapas de la planificación.

Figura 18. Etapa de compromiso en flujo de trabajo integrado



(M) LBS – Location Breakdown Structure o Estructura de Desagregación de la Ubicación

Seppänen et al. (2010) proponen una combinación de las herramientas del SUP con el Sistema de Gestión Basado en Localización (LBMS por sus siglas en inglés). La propuesta consiste en la creación del LBS, que es una clasificación jerarquizada de las áreas físicas de trabajo, y utilizar las cantidades e índices de productividad estimados para evaluar los requerimientos, esto como una etapa de análisis previa a la elaboración del plan inicial. La finalidad de esta herramienta es la identificación de actividades que requieran una gran cantidad de recursos para ajustarse a los tiempos requeridos, y por ende representen un riesgo si la selección de subcontratista no se realiza con un proceso suficientemente confiable, aspecto que no se evalúa normalmente en un proceso de programación a este nivel de detalle (Seppänen et al., 2010).

(Y) Plan por subcontratista

En la implementación del SUP presentada por Vignesh (2017) se indica como paso inicial del proceso que cada subcontratista elabore su propia pre planificación, a raíz del estudio de alcance, diseño y cantidades que le corresponde. Este documento servirá para alimentar la planificación del jefe de obra, que a su vez será la posteriormente ajustada de acuerdo a la sesión pull. Este paso resulta de interés ya que implica que la planificación base desarrollada por el jefe de obra contará desde sus inicios con la visión de los contratistas y que cada involucrado en la sesión pull tendrá una idea previa y propia de la secuencia y recursos que necesitará para el desarrollo de sus actividades, aun cuando ese documento emitido antes del inicio del proceso de planificación formal no será distribuido.

(P) Entrenamiento SUP

Un aspecto importante comentado en diferentes artículos desde el publicado por Andrade y Arrieta (2011) es la necesidad de incorporar al proceso una reunión o fase de entrenamiento previa a la implementación de las herramientas del Sistema del Último Planificador, ya que con frecuencia

el personal involucrado no ha utilizado el sistema con anterioridad y la adaptación puede resultar complicada, considerando, por ejemplo, que se inicia con la sesión pull de planificación colaborativa y retrospectiva que converge de los métodos más tradicionales para programar las actividades. Este entrenamiento, además de proveer las herramientas técnicas necesarias para entender el proceso a ejecutar, permite que los involucrados se conozcan entre sí y se afiance la red de contactos, lo que a su vez tiene un impacto positivo en el desarrollo de los proyectos.

Warcup y Reeve (2014) proponen que este entrenamiento se realice utilizando la simulación *Villego®*, que es una actividad grupal de dos etapas donde se usa la construcción de una estructura de Legos como medio para demostrar las diferencias entre ejecutar basados en la planificación tradicional y el SUP.

Por su parte, González et al (2014) plantean el uso de LEBSCO, una simulación también basada en Legos, que consideran más simplificada que *Villego®* y por ende más fácil para entender los conceptos.

(N) División de la sesión pull en dos partes

Otra propuesta de Seppänen et al. (2010) plantea que la sesión pull se realice en dos etapas: una primera destinada a la asignación de la secuencia lógica entre las tareas y la interrelación entre los subcontratistas, y una segunda reunión en la cual cada responsable debe traer estudiado a la reunión su alcance en cuanto a cantidades y recursos necesarios, para poder evaluar los requerimientos y optimizar el flujo de trabajo. De esta manera no solo se dispone de mayor dedicación y tiempo para la revisión de la vinculación y recursos en cada reunión, sino que asegura que cada responsable presente información previamente revisada y preparada, lo que aumenta la fiabilidad de la planificación creada y permite optimizar de manera adecuada.

(H) BIM para plan maestro

Como una propuesta derivada del KanBIM presentado por Sacks et al. (2010) se plantea apoyar el desarrollo del programa maestro con el

modelo BIM del proyecto y vincular los elementos del modelo en las tareas planificadas. Esto es un recurso que permite tanto visualizar de manera más sencilla los trabajos y áreas a planificar, como la elaboración de modelos 4D (evolución del modelo 3D en el tiempo) y la identificación de conflictos. Este paso no se incluye dentro de la secuencia del flujo de trabajo, sino que retroalimenta o complementa el desarrollo del plan maestro.

(V) CCM – Critical Chain Management o Gestión de la Cadena Crítica

La Cadena Crítica es una herramienta definida e incluida en el PMBoK (*Project Management Book of Knowledge*) desde 2008 que implica el estudio de la cadena más larga de actividades relacionadas a un responsable luego de haberse realizado la nivelación de recursos (Sánchez, 2012). Para su gestión se retiran los *buffer* u holguras asignadas individualmente en cada tarea, y se incorpora a un tiempo extra adicional al final de toda la cadena. De esta manera se busca optimizar la duración de la secuencia ya que, al tener continuidad respecto al recurso asignado, la probabilidad de que haya retrasos en todas las tareas de la cadena es reducida. Sánchez (2012) propone utilizar esta herramienta del PMBoK para retroalimentar la elaboración del plan maestro del proyecto, lo que permitiría mejorar el estudio de la secuencia y los *buffers* asignados en cada etapa del programa.

(F) Plan de fases

El plan de fases es un paso en la planificación que se ubica a un nivel de detalle entre el maestro y el plan intermedio. En esta investigación se incorpora como un nuevo aporte ya que el flujo de trabajo base utilizado no lo incluye, sin embargo, es parte de los pasos mencionados por Ballard (2000) en su trabajo de tesis doctoral donde presenta formalmente el SUP. Este nivel de planificación se utiliza principalmente para programas maestro de alta complejidad, ya que permite determinar fases y fijar objetivos e hitos que faciliten el desarrollo de los siguientes niveles de detalle (González et al., 2010).

Cuando se incluye el programa de fases en el proceso de planificación, el plan maestro pasa a ubicarse después de la planificación del jefe de obra y la sesión pull se desarrolla a nivel de plan de fases, donde los propios representantes de los equipos que llevarán a cabo las actividades son quienes elaboran la secuencia desde las fechas de finalización objetivo hacia atrás en el tiempo (Seppänen et al., 2010).

Resumen del flujo de trabajo en la etapa de compromiso

El proceso final propuesto para la etapa de compromiso inicia con la elaboración del LBS y el análisis de recursos con información teórica, a la vez que cada contratista elabora una propuesta de planificación para su alcance de trabajo. Ambos documentos alimentan la planificación elaborada por el jefe de obra. Se procede luego a coordinar una sesión de entrenamiento sobre el SUP utilizando el método que se considere conveniente, antes de pasar a la sesión pull. La sesión pull se realiza en dos etapas: una primera para definir la secuencia de actividades y una segunda para incorporar los recursos necesarios y optimizar. Si se llega a un acuerdo entre todos los intervinientes sobre la planificación obtenida con la sesión pull, se procede a la emisión del plan maestro, el cual será también revisado en términos de CCM y con el apoyo del modelo BIM. El plan maestro será actualizado con la información actualizada proveniente de las demás etapas del proceso. El último documento emitido, bien sea el plan maestro o el plan de fases según el caso, es el vínculo para iniciar la siguiente etapa de planificación intermedia.

Los aportes generados por los nuevos pasos se pueden observar en el resumen de la Tabla 8. En general se busca mejorar el proceso de planificación y la fiabilidad del resultado, la comunicación y flujo de información entre los involucrados, la optimización y gestión correcta de los recursos desde las primeras etapas del proyecto y la previsión temprana de conflictos y restricciones que puedan tener un impacto negativo.

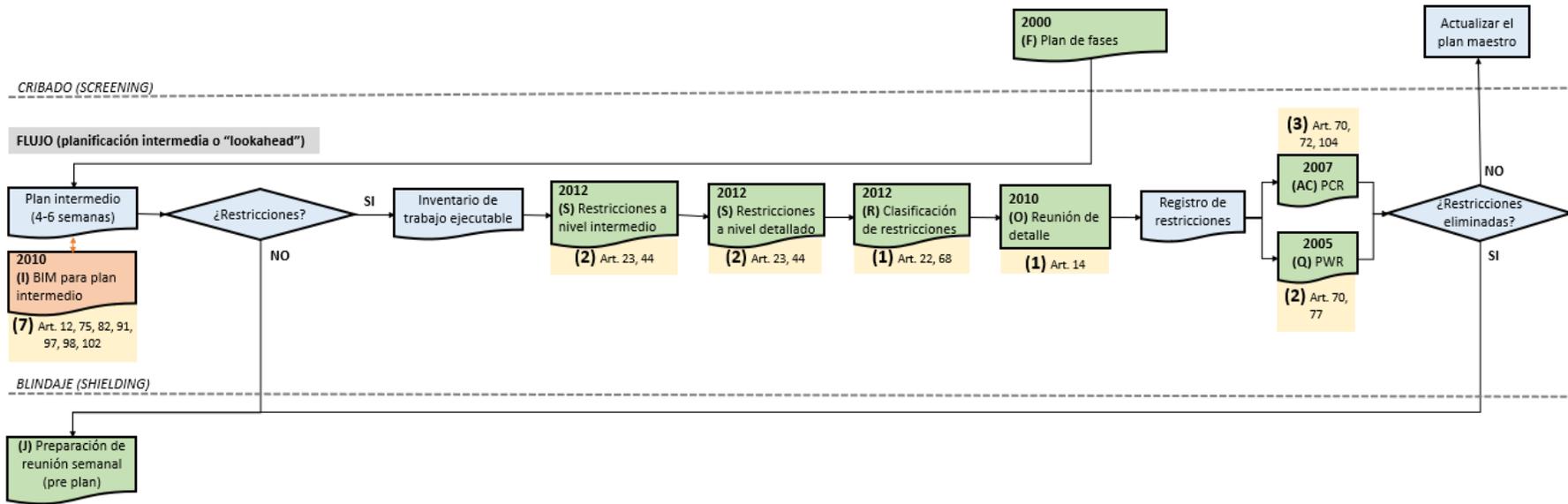
Tabla 8. Aportes de nuevas propuestas en nivel de Compromiso

ID	NUEVA PROPUESTA	APORTES PRINCIPALES
(F)	Plan de fases	Planificación
(H)	BIM para plan master	Conflictos, recursos, restricciones
(M)	LBS - Location Breakdown Structure o Estructura de Desagregación de la Ubicación	Planificación, recursos
(N)	Dividir sesión pull	Fiabilidad, optimización, recursos
(P)	Entrenamiento SUP	Fiabilidad, comunicación
(V)	CCM - Critical Chain Method o Gestión de la Cadena Crítica	Planificación
(Y)	Plan por contratista	Planificación, fiabilidad

4.3.3. Nuevas propuestas en la etapa de flujo

En la Figura 19 se observa el flujo de trabajo obtenido al incorporar los pasos nuevos correspondientes a esta etapa de planificación, utilizando la misma leyenda de colores mencionada anteriormente.

Figura 19. Etapa de flujo en flujo de trabajo integrado



(I) BIM para el plan intermedio

También proveniente del artículo publicado por Sacks et al. (2010) sobre el KanBIM, y al igual que con la etapa del plan maestro, se propone que el programa intermedio se elabore revisado y asociado con el modelo BIM del proyecto para una identificación visual sencilla de las tareas y áreas de trabajo.

(S) Restricciones a dos niveles

En el artículo de Hazmeh et al. (2012) se propone un flujo de trabajo interno entre el plan intermedio y el plan semanal, a fin de identificar y organizar las tareas y sus restricciones correctamente. El proceso inicia en la primera semana, cuando se obtiene la lista de tareas del plan intermedio y se identifican las restricciones a este nivel: se deben liberar las que sea posible; la siguiente semana se inicia la desagregación de las tareas del plan intermedio a un nivel mayor de detalle y se identifican nuevas restricciones que no pudieran haberse señalado al nivel superior, luego se revisa la secuencia y recursos para mejorar el flujo de trabajo programado, se liberan restricciones específicas y finalmente se llega al plan semanal provisional y el inventario de trabajo ejecutable. Al seguir estos pasos, básicamente se obtiene un análisis de restricciones a un primer nivel más “grueso” donde se atienden las soluciones que sean directas, y luego se realiza un análisis al siguiente nivel de detalle, donde se cuenta con más información sobre los problemas que están bloqueando o poniendo en riesgo las tareas a ejecutar y se enfocan los esfuerzos de manera específica para atender las situaciones. De esta manera se tiene una mejor visión del proceso para pasar la planificación de un nivel intermedio a un nivel detallado de manera confiable.

(R) Clasificación de restricciones

En la publicación elaborada por Nieto y Ruz (2012) proponen la incorporación de un paso en el análisis de restricciones de las actividades seleccionadas en el plan intermedio, que consiste en la clasificación de las mismas. El proceso propuesto se revisa semanalmente y consiste en

identificar si las restricciones de las tareas requieren acciones específicas ejecutables por los responsables o no requieren acción ya que se encuentran en espera (porque no se puedan solucionar por el momento por factores externos, o porque ya se haya realizado la acción requerida y se esté en espera de la respuesta) (Nieto y Ruz, 2012). De esta manera se puede filtrar la lista de restricciones por aquellas que realmente son trabajables en la semana para buscar liberarlas, evitando retrabajos en este proceso.

(O) Reunión de detalle

Seppänen et al. (2010) plantean que se incorpore una reunión de detalle entre el jefe de obra y cada subcontratista dos semanas antes del inicio de alguna de sus tareas identificadas en el plan intermedio. De esta manera, se pueden acordar todos los detalles de la ejecución de las mismas con anterioridad, aun cuando luego serán continuamente revisadas en las reuniones semanales.

(AC) PCR – Percent of Constraints Removal o Porcentaje de Restricciones Eliminadas

El PCR es una medida que encontramos en los artículos de la base de datos por primera vez en la publicación de Hamzeh et al. (2019^a), donde indica que fue presentada por Jang y Kim en la Conferencia Anual del IGLC del 2007. Este indicador es una relación porcentual de las tareas cuyas restricciones fueron efectivamente eliminadas, respecto a aquellas previstas para la semana en el plan intermedio, lo que se traduce en una medida de cuán eficiente ha sido el proceso de preparación de las tareas (Jang y Kim, 2007).

(AJ) PWR – Planned Work Ready o Trabajo Planificado Listo

El PWR es una métrica mencionada en el artículo de Hamzeh et al. (2019a) que fue presentada originalmente en la Conferencia Anual del IGLC del 2005 por Panagiotis Mitropoulos. Esta medida se calcula como la relación de la cantidad de tareas del plan intermedio que se espera con un alto grado de certeza que podrán ser ejecutadas en el período de tiempo

programado (tanto porque ya se hayan resuelto las restricciones, como porque se tenga la confianza de que se lograrán liberar a tiempo), respecto a las tareas totales del plan intermedio (Mitropoulos, 2005). Con este indicador se puede tener una visión de cuán probable es que se cumpla el plan intermedio, incluso antes de llevarlo al siguiente nivel de detalle semanal.

Resumen del flujo de trabajo en la etapa de flujo

El proceso final propuesto para esta etapa de planificación al integrar los nuevos elementos inicia con la elaboración del plan intermedio, el cual se apoya en el modelo BIM del proyecto. Si hay restricciones que liberar antes de la ejecución, se separa el inventario de trabajo ejecutable y se analizan por etapas estos puntos que restrinjan en inicio de las tareas futuras, identificándolas a nivel intermedio y luego en detalle y luego clasificándolas según requieran o no una acción por parte del responsable. Esta información pasa a la reunión de detalle a ejecutar con el contratista dos semanas antes de su inicio, y se emite el registro de restricciones. De esta etapa se calculan también como indicadores de gestión el PCR y PWR para analizar el estado y efectividad del proceso. Finalmente, cuando no existan restricciones o las mismas hayan sido resueltas, se puede continuar a la siguiente etapa de la planificación: promesa.

Como se observa en la Tabla 9, el aporte generado al incorporar los nuevos pasos en esta etapa de la planificación se enfoca principalmente en el seguimiento y control del proceso de identificación y eliminación de restricciones para permitir que las tareas que se encuentran en el rango del plan intermedio puedan ser incluidas en tiempo en la planificación semanal. También ayudan a medir la fiabilidad del plan en esta etapa del proceso, prever conflictos, coordinar recursos y mejorar el proceso de comunicación y retroalimentación del sistema de gestión.

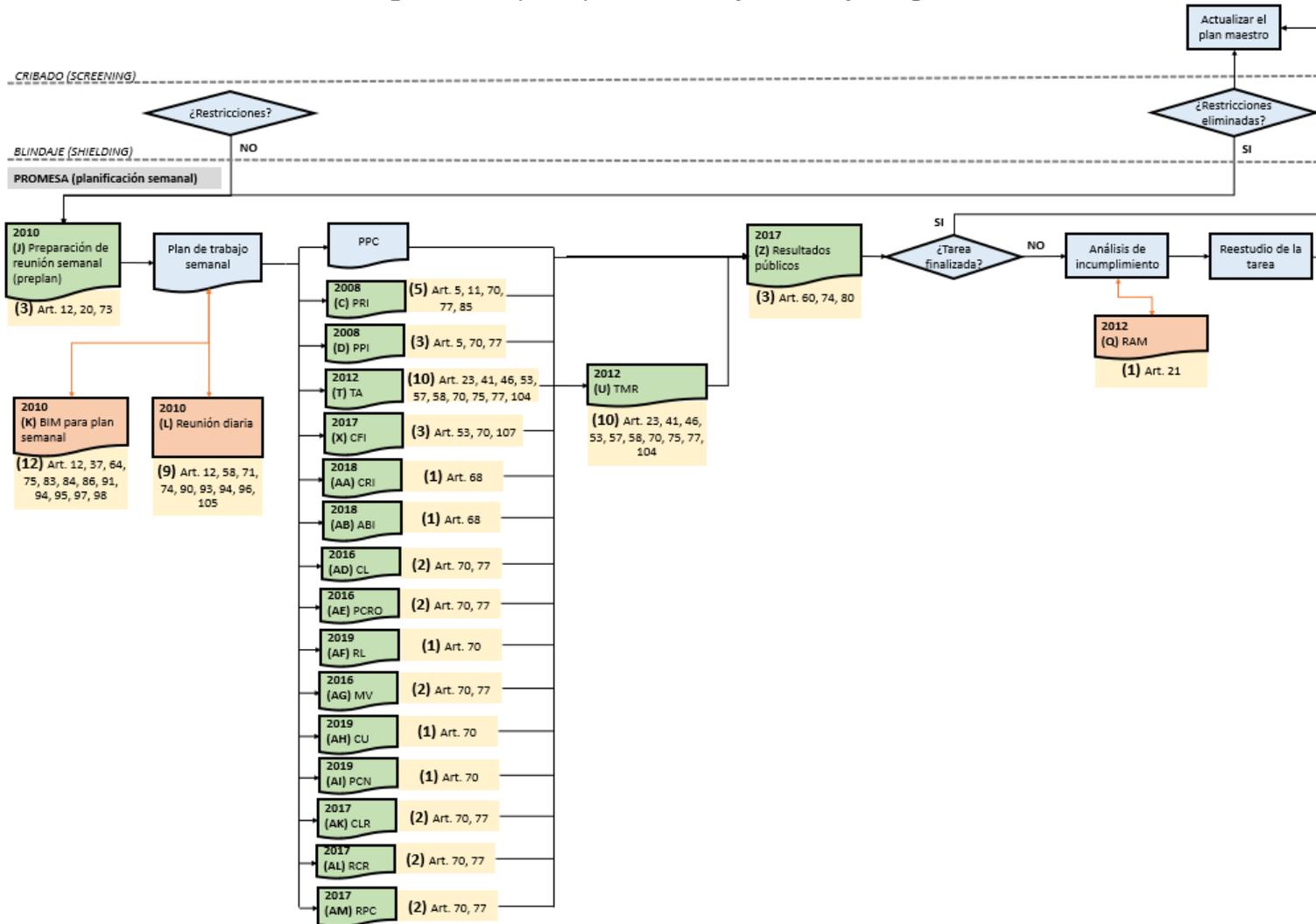
Tabla 9. Aportes de nuevas propuestas en nivel de Flujo

ID	NUEVA PROPUESTA	APORTES PRINCIPALES
(AC)	PCR - Percent of Constraints Removal o Porcentaje de Restricciones Eliminadas	Restricciones
(AJ)	PWR - Planned Work Ready o Trabajo Planificado Listo	Fiabilidad
(I)	BIM para plan intermedio	Conflictos, recursos, restricciones
(O)	Reunión de detalle	Comunicación, retroalimentación
(R)	Clasificación de restricciones	Restricciones
(S)	Restricciones a dos niveles	Restricciones

4.3.4. Nuevas propuestas en la etapa de promesa

En la Figura 20 se observa el diagrama de flujo de la etapa de promesa donde se han incluido las nuevas propuestas al flujo base utilizado, siguiendo la leyenda de colores de los diagramas anteriores. Esta etapa se ve caracterizada por la gran cantidad de nuevas métricas propuestas para mejorar o complementar el PPC.

Figura 20. Etapa de promesa en flujo de trabajo integrado



(J) Preparación de la reunión semanal

Sacks et al. (2010) plantea incorporar un paso previo a la reunión semanal que implique la preparación formal de la misma. Ésta consiste en la identificación de una lista de trabajo ejecutable por parte del jefe de equipo o los involucrados y proveniente de la planificación intermedia, que será presentada en la reunión semanal.

Samudio et al. (2011) también comentan sobre esta necesidad de pre planificación, ya que permite evitar establecer compromisos durante la reunión semanal que luego no pueda ser cumplidos, mejorando de esta manera la fiabilidad de la planificación.

(K) BIM para plan semanal

De la propuesta del KanBIM de Sacks et al. (2010) se presenta la elaboración de la planificación de la semana coordinando las actividades presentadas por cada responsable de área en la etapa anterior de preparación y utilizando el modelo BIM para identificar y resolver posibles interferencias.

(L) Reunión diaria

La reunión diaria (conocida en inglés como *Daily Huddle* o *Daily Stand Up Meeting*) es una revisión breve que se realiza todos los días para verificar que el plan semanal se esté cumpliendo o alertar sobre desviaciones lo antes posible. Se menciona por primera vez como tal en la base de datos estudiada en la publicación de Itodo et al. (2017), donde se indica que la incorporación de este paso al SUP se realizó en el año 2009 en una publicación de Ballard, Hammond y Nickerson en la Conferencia Anual del Grupo Internacional para Lean Construcción (*IGLC – International Group for Lean Construction*).

El KanBIM también propone que se realice un seguimiento y control diario de las tareas, utilizando recursos tecnológicos para la comunicación entre el responsable de campo y los demás departamentos implicados: se muestran en pantallas para cada equipo las tareas organizadas de manera

visual con semáforos de estatus similares a los recurso del Kanban y donde el responsable puede, por ejemplo, marcar una actividad como finalizada y automáticamente se genera el pedido de liberación al departamento de inspección de obra (Sacks et al., 2010)

(C) PRI – Process Reliability Index o Índice de Fiabilidad del Proceso

Para el desarrollo del PRI, el autor considera que el análisis del desempeño debe hacerse por separado a nivel de proyecto y a nivel de actividad. El PRI es un indicador complementario para el PPC, que permite tener una mejor visión del desempeño a nivel de la actividad. Éste se calcula como la relación porcentual del progreso semanal real en una tarea con respecto a su progreso planificado, lo que es una medida de la fiabilidad de la planificación en el nivel de mayor detalle que a su vez guarda una estrecha relación con las mejoras del desempeño (González et al., 2008). Con la incorporación de este indicador, se puede tener una mejor visión a nivel de detalle que controlando únicamente a través del cálculo del PPC.

(D) PPI – Project Productivity Index o Índice de Productividad del Proyecto

Conjuntamente con el PRI mencionado anteriormente, se desarrolló el PPI como un indicador de la productividad a nivel de proyecto. Éste se calcula como la relación porcentual de la suma del índice de productividad por actividad (ALP) respecto a la cantidad de actividades con información disponible de su índice de productividad para la semana (N). A su vez, el ALP es calculado utilizando la máxima productividad obtenida en campo para la actividad específica, lo que le da la fiabilidad al PRI para reflejar la mejora real de la productividad, en comparación con otras métricas similares que dependen de números teóricos. Al ser posible la identificación del impacto en la productividad generado por la fiabilidad de la planificación, se motiva la implementación de las herramientas Lean en el proyecto (González et al., 2008).

(T) TA – Tasks Anticipated o Tareas Anticipadas

TA es un indicador que permite determinar la cantidad porcentual de actividades que fueron previstas con la planificación intermedia con al menos dos semanas de antelación, con respecto a las que realmente fueron incluidas en el plan semanal (Hamzeh et al., 2012). Con esta métrica se puede visualizar la efectividad con la que se anticipan las actividades, lo que permite al equipo prepararse para su ejecución e incrementar la probabilidad de cumplimiento. A su vez, un porcentaje bajo de TA puede relacionarse también a una gran cantidad de actividades nuevas y urgentes que debieron ser incluidas en el programa de la semana, lo cual es una situación que requiere análisis y mitigación para evitar un impacto negativo en el desarrollo del proyecto.

(U) TMR – Tasks Made Ready o Tareas Preparadas

Hamzeh et al. (2012) proponen en su artículo esta nueva métrica TMR, relacionada con la anteriormente mencionada TA, que es la relación porcentual de las tareas que fueron anticipadas al menos dos semanas antes de su inicio en el plan intermedio, y que fueron realmente ejecutadas en la semana que fueron programadas. Con esta medida se obtiene información sobre la capacidad del equipo para identificar y eliminar todas las restricciones que podían afectar la ejecución de las tareas que pasaron del plan intermedio al plan semanal, y que en teoría en esta etapa debían cumplir con todos los prerequisites para su cumplimiento.

(X) CFI – Construction Flow Index o Índice de Flujo de la Construcción

El CFI es un indicador propuesto por Sacks et al. (2017) para controlar si el flujo de producción de la obra está mejorando o empeorando en el tiempo, y así poder tomar las medidas correctivas necesarias. Es función de diferentes parámetros de medida de flujo como el trabajo en progreso, variabilidad y continuidad. La incorporación de este índice en el sistema de control del SUP permite complementar la visión del PPC para mejorar el flujo de trabajo del proyecto, además de ser una métrica

comparable entre diferentes proyectos, lo que permite a su vez que una empresa pueda fijar objetivos respecto a este valor.

(AA) CRI – Constraint Removal Index o Índice de Restricciones Eliminadas

El CRI es un indicador de la relación entre el número de restricciones que han sido liberadas a tiempo con respecto al número de restricciones identificadas en el proceso entre el plan intermedio y el plan semanal (Bolzan et al., 2018), su cálculo permite ampliar el proceso de identificación de posibles conflictos hasta controlar la eficiencia con la cual se resuelven los mismos sin afectar la ejecución de las tareas planificadas.

(AB) ABI – Adherence to Batch Index o Índice de Adherencia al Lote

Bolzan et al. (2018) plantean también una nueva métrica llamada ABI, que es la relación entre el número de paquetes de trabajo culminados respecto al número de paquetes de trabajo planificados, estos datos vistos en el período de tiempo definido como *batch* o lote de producción en la planificación a largo plazo. Con esta medida se puede llevar un control en el SUP de la cantidad de trabajo que se tiene en progreso.

(AD) CL – Commitment Level o Nivel de Compromiso

El CL o Nivel de Compromiso es una métrica que encontramos en la revisión bibliográfica realizada por Hamzeh et al. (2019^a) para su publicación de nuevas medidas. En este artículo destaca que CL fue una propuesta de Emdanat y Azambuja en la Conferencia del IGLC del 2016. CL es una relación entre las tareas requeridas o críticas que se encuentran en la planificación semanal, respecto a las tareas planificadas para ese período que deberían hacerse de acuerdo a la planificación intermedia (Emdanat y Azambuja, 2016), lo que nos indica si el trabajo que se está comprometiendo es realmente el de mayor criticidad en el proyecto.

(AE) PRCO – Percent Required Completed or Ongoing o Porcentaje de Requeridas Completadas o En Proceso

PRCO es una métrica mencionada en el artículo de Hamzeh et al. (2019^a), propuesta por Emdanat y Azambuja en la misma publicación del CL anteriormente mencionado. El PRCO es una medida de las actividades críticas del plan semanal que se terminaron y que están en proceso con previsión de que culminen en tiempo o antes, respecto al total de actividades críticas del plan semanal. Si se implementa en conjunto con el CL permite tener una vista del estatus de las actividades críticas a corto y mediano plazo, y así ajustar la planificación correspondiente (Emdanat y Azambuja, 2016).

(AF) RL – Required Level o Nivel Requerido

RL es una métrica nueva propuesta por Hamzeh et al. (2019^a) que refleja el nivel de criticidad del plan comprometido en la semana, y se calcula como la relación entre las actividades críticas y las actividades incluidas en el plan semanal, que se propone como un complemento del CL y PRCO presentados anteriormente.

(AG) MV – Milestone Variance o Variación de Hitos

Esta medida se encuentra mencionada en el artículo de Hamzeh et al. (2019^a) como una referencia de su revisión bibliográfica, donde indica que fue propuesta por Emdanat y Azambuja en 2016, conjuntamente con el CL y PRCO. MV es la diferencia en días entre la fecha estimada de culminación de la secuencia de tareas estudiada respecto a la fecha fijada como meta en la planificación, que al utilizarse con el CL provee el contexto para analizar si los cambios en la planificación continúan alineados con las metas a largo plazo (Emdanat y Azambuja, 2016).

(AH) CU – Completed Uncommitted o Completadas No Comprometidas

CU es una métrica propuesta por Hamzeh et al. (2019^a) que resulta de la relación entre las tareas que no fueron comprometidas en el plan

semanal y todas las completadas. Es decir, si de todas las tareas culminadas, retiramos aquellas que fueron incluidas en el plan semanal, obtenemos el aquellas que se hicieron por fuera de lo programado. Esta medida complementa el PPC al considerar que existen tareas nuevas que surgen entre el plan intermedio y el plan semanal y deben ser ejecutadas a corto plazo y aquellas que se han retrasado y deben incluirse de alguna manera.

(AI) PCN – Percent Completed New o Porcentaje de Completadas Nuevas

En el mismo orden de ideas de la métrica anterior (CU), Hamzeh et al. (2019^a) proponen calcular el PCN como la relación entre las tareas completadas nuevas y las comprometidas (incluidas en el plan semanal) nuevas, considerándose nuevas aquellas que no fueron previstas durante la elaboración del plan intermedio. Es una métrica de gran importancia ya que permite controlar el cumplimiento de las tareas imprevistas que generalmente son de gran importancia o urgencia en el proyecto, por lo que se deben planificar y ejecutar en un corto período de tiempo.

(AK) CLR – Capacity Load Ratio o Radio de Capacidad de Carga

CLR es una métrica que se menciona en el artículo de Hamzeh et al. (2019^a) donde indica que fue propuesta por Rizk et al. (2017) en la Conferencia Anual para IGLC. Se calcula como la relación entre las tareas completadas durante la semana por un equipo respecto al número de tareas planificadas y comprometidas en la planificación semanal, lo que se relaciona con la gestión de la capacidad del equipo y si el mismo está generando promesas de una cantidad de tareas por encima de lo que le es posible cumplir en la realidad (Rizk et al., 2017).

(AL) RCR – Required Capacity Ratio o Radio de Capacidad Requerida

De igual manera, RCR es una métrica que aparece en la base de datos de esta investigación con el artículo de Hamzeh et al. (2019^a) que refieren como autores a Rizk et al. (2017) en la Conferencia Anual para

IGLC. El RCR representa una relación entre las tareas críticas culminadas y las planificadas, asociadas a la capacidad del equipo para ejecutar estos trabajos que resultan de relevancia para el proyecto en la planificación semanal.

(AM) RPC – Required Percent Complete o Porcentaje Requerido Completado

Al igual que el CLR y RCR, el indicador RPC se menciona en el artículo de Hamzeh et al. (2019^a) que hace referencia a Rizk et al. (2017) en la Conferencia Anual para IGLC. RPC es una métrica que calcula la relación entre las actividades críticas o requeridas que fueron culminadas durante la semana y todas las críticas que fueron incluidas en el plan semanal. Esto permite tener una visión detallada de si el trabajo se está enfocando en aquellas tareas que son de gran importancia o impacto en el proyecto, independientemente de haber sido previstas o programadas como nuevas (Rizk et al., 2017).

(Z) Resultados públicos

Vignesh (2017) indica en su artículo que los resultados de desempeño obtenidos al implementar el SUP y medidos a través de los indicadores como el PPC, no solo deben ser discutidos durante la reunión semanal, sino que adicionalmente serán ubicados en un lugar visible en campo. Al contener información tanto positiva como negativa del desempeño de cada tarea durante la semana, se motiva a los involucrados tanto en cumplir las tareas comprometidas, como prometer metas factibles durante las reuniones semanales (Vignesh, 2017).

Por su parte, Araque et al. (2019) proponen que se tenga adicionalmente una cartelera en obra destinada a la publicación de resultados mensuales ordenados por contratista, lo que beneficia una sana competencia e interés por mejorar el compromiso y la ejecución.

(Q) RAM – Risk Assessment Matrix o Matriz de Evaluación de Riesgos

Al utilizar SUP en un proyecto y una vez avanzados los diferentes pasos desde la planificación inicial hasta la ejecución real de una tarea, se debe realizar un análisis de incumplimiento para aquellas que fueron comprometidas y no logradas en la semana, eso se conoce en inglés como el RCA - *Root Cause Analysis*. Aun cuando el RCA permite identificar los orígenes más frecuentes de incumplimiento, todas las situaciones no pueden atenderse al mismo tiempo, por lo que se requiere de un sistema de priorización. Wambeke et al. (2012) proponen el uso de la Matriz de evaluación de riesgos (RAM por sus siglas en inglés) para determinar este nivel de urgencia en la atención de una causa de no cumplimiento identificada. En líneas generales la RAM contiene una relación entre la probabilidad de ocurrencia de un evento y la severidad del impacto generado, y según esto, logra agrupar las tareas en diferentes niveles de riesgo y por ende de prioridad. Utilizar esta herramienta permite mejorar el análisis de no cumplimiento y la secuencia en la que se deben asignar los recursos para la resolución de las situaciones de origen, optimizando así el proceso de mejora. Al comparar los resultados de la implementación de la RAM con el gráfico de Pareto de las causas de no cumplimiento se puede visualizar que las causas de incumplimiento más frecuentes no son necesariamente las más críticas para un proyecto (Wambeke et al., 2012).

Resumen del flujo de trabajo en la etapa de promesa

El proceso completo propuesto para la etapa de promesa inicia con la preparación para la reunión semanal, donde cada responsable deberá elaborar su listado de actividades que pueden ser ejecutadas de acuerdo con las metas de la planificación intermedia y las restricciones realmente liberadas. Con base en estos documentos, y apoyándose del modelo BIM del proyecto y la información recibida diariamente, se realiza la reunión semanal de seguimiento, donde se presenta la planificación de las actividades a ejecutar en esta semana. Para el control del proyecto se

cuenta con una lista de 15 nuevas métricas propuestas aparte del PPC para cuantificar y hacer seguimiento a diversos aspectos del avance del proyecto en cuanto a fiabilidad de la planificación y desempeño. Los resultados obtenidos se hacen públicos en las carteleras o puntos de información en la obra, a fin de comunicar a todos los participantes y motivar la mejora continua. Si no se han cumplido las metas, se debe realizar el análisis correspondiente, con el apoyo de la matriz de riesgos para priorizar las acciones correctivas necesarias. Finalmente, los resultados deben actualizar el plan maestro, y de acá, todas las siguientes etapas para reiniciar el ciclo de trabajo.

Los aportes generados por estos nuevos elementos incluidos en el flujo de trabajo se pueden observar en el resumen de la Tabla 10. Se enfocan en el control de las restricciones y su apropiada eliminación antes del inicio de las tareas, lo que a su vez se asocia a la fiabilidad de la planificación acordada; el control en las tareas imprevistas y el nivel de compromiso o tareas críticas que se colocan en el plan semanal, ambos, factores de gran influencia e impacto en el proyecto y necesarios para la consecución de los objetivos, y por último, se mejora el proceso de retroalimentación, lo que permite mejorar la información y el sistema continuamente.

Tabla 10. Aportes de nuevas propuestas en nivel de Promesa

ID	NUEVA PROPUESTA	APORTES PRINCIPALES
(AA)	CRI - Constraint Removal Index o Índice de Restricciones Eliminadas	Restricciones
(AB)	ABI - Adherence to Batch Index o Índice de Adherencia al Lote	Productividad
(AD)	CL - Commitment Level o Nivel de Compromiso	Compromiso, Criticidad
(AE)	PRCO - Percent Required Completed or Ongoing o Porcentaje de Requeridas Completadas o En Proceso	Compromiso, Criticidad
(AF)	RL - Required Level o Nivel Requerido	Compromiso, Criticidad
(AG)	MV - Milestone Variance o Variación de Hitos	Tiempo, retroalimentación
(AH)	CU - Completed Uncommitted o Completadas No Comprometidas	Tareas imprevistas
(AI)	PCN - Percent Completed New o Porcentaje de Completadas Nuevas	Tareas imprevistas
(AK)	CLR - Capacity Load Ratio o Radio de Capacidad de Carga	Fiabilidad, capacidad
(AL)	RCR - Required Capacity Ratio o Radio de Capacidad Requerida	Fiabilidad, capacidad, criticidad
(AM)	RPC - Required Percent Complete o Porcentaje Requerido Completado	Tareas imprevistas
(C)	PRI - Process Reliability Index o Índice de Fiabilidad del Proceso	Fiabilidad
(D)	PPI - Project Productivity Index o Índice de Productividad del Proyecto	Productividad
(J)	Preparación de reunión semanal	Fiabilidad
(K)	BIM para plan semanal	Conflictos, recursos, restricciones
(L)	Reunión diaria	Comunicación, retroalimentación
(Q)	RAM - Risk Assessment Matrix o Matriz de Evaluación de Riesgos	Riesgos, retroalimentación
(T)	TA - Tasks Anticipated o Tareas Anticipadas	Restricciones
(U)	TMR - Tasks Made Ready o Tareas Preparadas	Restricciones
(X)	CFI - Construction Flow Index o Índice de Flujo de la Construcción	Flujo continuo
(Z)	Resultados públicos	Comunicación, fiabilidad

4.3.5. Nuevas propuestas de métodos y herramientas generales

En este punto se presenta el resumen de las nuevas propuestas que no se encuentran conectadas dentro del flujo de trabajo debido a que son aplicables para el proceso en general.

(A) Workplan

Workplan es un “software” de base de datos enfocada en la gestión de restricciones. Para su implementación complementaria con el SUP, se propone como paso inicial que los paquetes de trabajo se limiten a conjuntos de tareas similares en ubicación, diseño y recursos, lo que permite mantener un flujo continuo de trabajo, mejorar la curva de aprendizaje e incrementar la productividad (Choo et al., 1999). Se deben identificar las restricciones de cada paquete de trabajo que se encuentren en los 5 tipos más comunes (contrato, diseño, materiales, personal y equipo, prerequisites y condiciones del lugar) (Choo et al, 1999) y trabajar en liberarlas antes de la fecha de inicio planificada. El programa permite a su vez conocer la disponibilidad de recursos para asignar a las tareas y realizar el cálculo del PPC para la evaluación y retroalimentación del proceso. Su principal aportación para el SUP yace en la automatización de procesos como la identificación y gestión de las restricciones, la elaboración de la planificación semanal y cálculo del PPC. Adicionalmente, el enfoque en el flujo de trabajo continuo favorece el desarrollo de las actividades.

(B) DePlan

DePlan es un “software” orientado a la gestión de la fase de diseño del proyecto, que surge de la combinación de dos herramientas: la *Analytical Design Planning Technique* (ADePT), que es una metodología de trabajo enfocada a la planificación adecuada de las tareas de diseño para evitar retrabajos y sus pérdidas asociadas (Baldwin, 1999) y *Workplan*, que fue presentado anteriormente, y al cual se le realizaron algunas modificaciones para adaptar su alcance a la fase de diseño (Choo et al., 2004). El método de trabajo con *DePlan* se basa en dos partes: la inicial, para el desarrollo del plan maestro, implica modelar el proceso de diseño, analizar y optimizar la matriz de estructura de dependencias (DSM, *Dependency Structure Matrix*) y finalmente planificar las tareas. Posteriormente a esto, se aplica el Sistema del Último Planificador para elaborar la planificación intermedia, semanal, gestionar las restricciones y generar los reportes de PPC.

El uso de la DSM permite analizar problemas complejos identificando la dependencia entre tareas para optimizar la secuencia de ejecución de las mismas. Incluir esta herramienta para la elaboración del programa maestro puede permitir la identificación de conflictos con antelación y plantear secuencias lógicas de trabajo que cuenten con un flujo continuo. Por su parte, el uso del WorkPlan extendido evita errores en la elaboración de planes detallados, asignación de recursos y emisión de reportes, ya que la información se encuentra centralizada y automatizada a través de la base de datos.

(E) RCM – Reliable Commitment Model o Modelo del Compromiso Fiable

El RCM es una herramienta de toma de decisiones que permite mejorar la fiabilidad de la planificación y distribución de la carga de trabajo, y por ende su desempeño (González et al., 2010). La metodología de aplicación contiene pasos de trabajo que abarcan los procesos del SUP desde la planificación intermedia hasta la retroalimentación posterior a los análisis de ejecución, por lo que se considera un aporte fuera del flujo de trabajo como tal. En líneas generales, la metodología de implementación consiste en seleccionar las actividades de la planificación intermedia en las que se quiera mejorar la fiabilidad, identificar la información de los indicadores iniciales estimados, generar un modelo de regresión lineal que se adapte a la información estimada, calcular los indicadores reales y finalmente comparar progresivamente estos valores, para mantener el control en el tiempo (González et al., 2010).

(G) KanBIM

KanBIM es un sistema basado en modelos de información BIM (*Building Information Modelling*) para apoyar la planificación y controlar la producción diaria en la construcción (Sacks et al., 2010). Esta propuesta se incluye en la lista de generales ya que implica una metodología de trabajo combinada entre el SUP tradicional y el control a través de herramientas Kanban y BIM. La implementación del KanBIM permite complementar el

SUP con herramientas de gran contenido de información representada de una manera visual muy sencilla de entender para todos los niveles de personal involucrado, lo que a su vez se traduce en mejoras de la comunicación y fácil identificación de conflictos, por lo que pueden mitigarse los errores y retrabajos.

(W) Sistema de sensores

Andújar et al. (2017) proponen en su publicación una mejora para el SUP enfocada en la fase de la planificación semanal: indican que con frecuencia se producen errores y defectos debido a la falta de un apropiado sistema de control y de información en sitio. Para esta situación presentan un sistema de control de obra basado en sensores y un “software” de base de datos en la nube que permita tanto la toma de datos de campo en tiempo real, como la distribución de información inmediata para todos los involucrados en las tareas. La propuesta implica una automatización considerable en los procesos de seguimiento y control del SUP, sin embargo, la versión presentada es solo un prototipo que debe continuar su desarrollo para una amplia implementación.

Resumen de los métodos y herramientas generales

En esta sección se presentaron 5 propuestas de uso general que complementan la implementación del SUP para mejorar en cuanto a la automatización, fiabilidad de la planificación, continuidad del flujo de trabajo y nivelación de recursos y comunicación de la información entre los diferentes involucrados en el proyecto, como se observa en la Tabla 11. Se considera que su uso, al igual que otros recursos similares de “software”, es opcional y se debe adaptar al caso de cada proyecto, seleccionando, si se quiere, el que resulte más conveniente respecto a las metas planteadas.

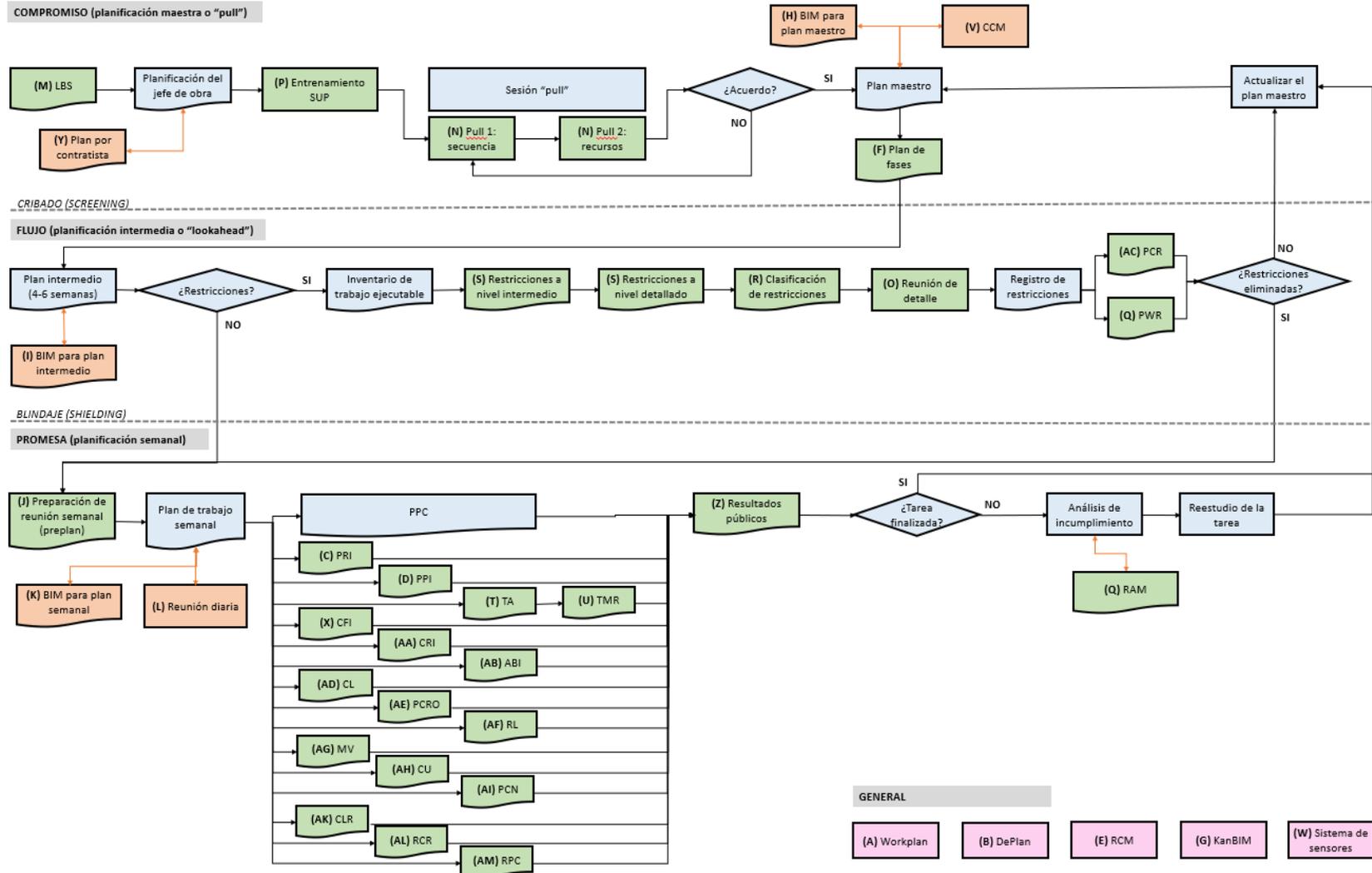
Tabla 11. *Aportes de nuevas propuestas de métodos y herramientas*

ID	NUEVA PROPUESTA	APORTES PRINCIPALES
(A)	Workplan	Automatización, flujo de trabajo
(B)	DePlan	Automatización, flujo de trabajo, conflictos
(E)	RCM - Reliable Commitment Model o Modelo del Compromiso Fiable	Fiabilidad, recursos, productividad
(G)	KanBIM	Comunicación, conflictos
(W)	Sistema de sensores	Automatización

4.3.6. Propuesta de flujo de trabajo general o integrado

En la Figura 21 se observa la propuesta final del flujo de trabajo del SUP donde se incluyen los pasos del flujo base y todas las nuevas métricas, procesos y documentos que se mencionan en los artículos de la base de datos utilizada para esta investigación.

Figura 21. Flujo de trabajo integrado



4.3.7. Análisis de resultados

Una vez elaborado el flujo de trabajo integrado para el SUP, se procedió a analizar la información recopilada de las nuevas propuestas identificadas en los artículos de la base de datos. Las propuestas se clasificaron por año del primer artículo donde se encuentran, la cantidad de artículos que las mencionan, tipo de elemento del diagrama de flujo y la fase de planificación en la que se incorporan al flujo de trabajo.

Datos generales

En la Figura 22 se puede observar que, de los 107 artículos de la base de datos, 36 no comentaron sobre propuestas nuevas (es decir, solo mencionaban los procesos ya existentes en el flujo de trabajo base) y 71 artículos contienen procesos o entregables nuevos (66%). Sin embargo, **las propuestas novedosas son presentadas en solo 16 artículos** (23%, detalle en la Tabla 12); los otros 55 (hasta el total de 71) plantean mejoras puntuales a las ya presentadas por otros autores en esos 16 artículos, o bien hacen referencia a ellas como parte de la revisión bibliográfica de la investigación o su implementación en obra.

Figura 22. Artículos con nuevas propuestas para el flujo de trabajo del SUP

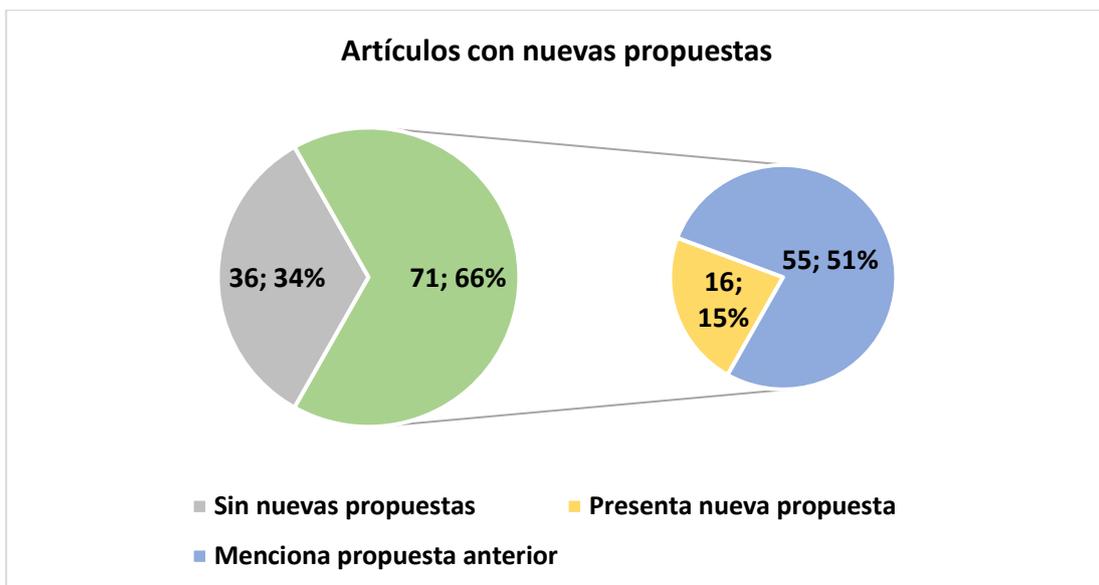


Tabla 12. Artículos con primera mención de nuevas propuestas

ARTÍCULO				NUEVAS PROPUESTAS	
ID	AÑO	AUTORES	TÍTULO	ID	NOMBRE
1	1999	Choo H.J., Tommelein I.D., Ballard G., Zabelle T.R.	WorkPlan: Constraint-based database for work package scheduling	(A)	Workplan
2	2004	Choo H.J., Hammond J., Tommelein I.D., Austin S.A., Ballard G.	DePlan: A tool for integrated design management	(B)	DePlan
5	2008	Gonzalez V., Alarcon L.F., Mundaca F.	Investigating the relationship between planning reliability and project performance	(C)	PRI - Process Reliability Index o Índice de Fiabilidad del Proceso
				(D)	PPI - Project Productivity Index o Índice de Productividad del Proyecto
11	2010	González V., Alarcón L.F., Maturana S., Mundaca F., Bustamante J.	Improving planning reliability and project performance using the reliable commitment model	(E)	RCM - Reliable Commitment Model o Modelo del Compromiso Fiable
				(F)	Plan de fases
12	2010	Sacks R., Radosavljevic M., Barak R.	Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction	(G)	KanBIM
				(H)	BIM para plan master
				(H)	BIM para plan master
				(J)	Preparación de reunión semanal
				(K)	BIM para plan semanal
				(L)	Reunión diaria
14	2010	Seppänen O., Ballard G., Pesonen S.	The combination of last planner system and location-based management system	(M)	LBS - Location Breakdown Structure o Estructura de Desagregación de la
				(N)	Dividir sesión pull
				(O)	Reunión de detalle
17	2011	Andrade M., Arrieta B.	Last planner system results in subcontract construction company [Last planner en subcontrato de empresa constructora]	(P)	Entrenamiento SUP
21	2012	Wambeke B.W., Liu M., Hsiang S.M.	Using last planner and a risk assessment matrix to reduce variation in mechanical	(Q)	RAM - Risk Assessment Matrix o Matriz de Evaluación de Riesgos
22	2012	Nieto-Morote A., Ruz-Vila F.	Last planner control system applied to a chemical plant construction	(R)	Clasificación de restricciones
23	2012	Hamzeh F., Ballard G., Tommelein I.D.	Rethinking lookahead planning to optimize construction workflow	(S)	Restricciones a dos niveles
				(T)	TA - Tasks Anticipated o Tareas Anticipadas
				(U)	TMR - Tasks Made Ready o Tareas
24	2012	Sánchez-Losada J.M.	Project management models: Lean thought Project Management [Modelos de gestión de proyectos: Dirección de Proyectos compatible con el pensamiento lean]	(V)	CCM - Critical Chain Method o Gestión de la Cadena Crítica
51	2017	Andújar-Montoya M.D., Marcos-Jorquera D., García-Botella F.M., Gilart-Iglesias V.	A context-driven model for the flat roofs construction process through sensing systems, internet-of-things and last planner system	(W)	Sistema de sensores
53	2017	Sacks R., Seppänen O., Priven V., Savosnick J.	Construction flow index: a metric of production flow quality in construction	(X)	CFI - Construction Flow Index o Índice de Flujo de la Construcción
60	2017	Vignesh C.	A case study of implementing last planner system in Tiruchirappalli District of Tamil Nadu - India	(Y)	Plan por contratista
				(Z)	Resultados públicos
68	2018	Wesz J.G.B., Formoso C.T., Tzortzopoulos P.	Planning and controlling design in engineered-to-order prefabricated building systems	(AA)	CRI - Constraint Removal Index o Índice de Restricciones Eliminadas
				(AB)	ABI - Adherence to Batch Index o Índice de Adherencia al Lote
70	2019	Hamzeh F.R., El Samad G., Emdanat S.	Advanced Metrics for Construction Planning	(AC)	PCR - Percent of Constraints Removal o Porcentaje de Restricciones Eliminadas
				(AD)	CL - Commitment Level o Nivel de Compromiso
				(AE)	PRCO - Percent Required Completed or Ongoing o Porcentaje de Requeridas Completadas o En Proceso
				(AF)	RL - Required Level o Nivel Requerido
				(AG)	MV - Milestone Variance o Variación de
				(AH)	CU - Completed Uncommitted o Completadas No Comprometidas
				(AI)	PCN - Percent Completed New o Porcentaje de Completadas Nuevas
				(AJ)	PWR - Planned Work Ready o Trabajo
				(AK)	CLR - Capacity Load Ratio o Radio de
				(AL)	RCR - Required Capacity Ratio o Radio de Capacidad Requerida
				(AM)	RPC - Required Percent Complete o Porcentaje Requerido Completado

Nuevas propuestas por año

Para cada propuesta incluida en el flujo de trabajo se identificó el año del artículo en el que se encontró la misma. Cabe destacar que el primer artículo que hace referencia a un proceso o entregable incorporado al diagrama no necesariamente coincide con el año y autor originales del mismo, ya que el alcance de esta investigación se limita a publicaciones de tipo artículo, pero la propuesta pudo haber sido inicialmente presentada en un congreso, libro o tesis doctoral, cuyo contenido no se ve reflejado en la base de datos utilizada. En los casos en los que el artículo hace referencia a una propuesta anterior indicando el autor y publicación, se han incorporado los datos correctos de origen. En la Tabla 13 se tiene la lista de propuestas organizadas temporalmente. En la Figura 23 se observa que los años 2010, 2017 y 2012 fueron los de mayor cantidad de nuevas propuestas generadas para el flujo de trabajo del SUP, con 11, 7 y 6 respectivamente (60% del total).

Figura 23. *Nuevas propuestas por año*



Tabla 13. Lista de nuevas propuestas por año

AÑO	ID	NUEVA PROPUESTA
1999	(A)	Workplan
2004	(B)	DePlan
2005	(AJ)	PWR - Planned Work Ready o Trabajo Planificado Listo
2007	(AC)	PCR - Percent of Constraints Removal o Porcentaje de Restricciones Eliminadas
2008	(C)	PRI - Process Reliability Index o Índice de Fiabilidad del Proceso
	(D)	PPI - Project Productivity Index o Índice de Productividad del Proyecto
2010	(E)	RCM - Reliable Commitment Model o Modelo del Compromiso Fiable
	(F)	Plan de fases
	(G)	KanBIM
	(H)	BIM para plan master
	(I)	BIM para plan intermedio
	(J)	Preparación de reunión semanal
	(K)	BIM para plan semanal
	(L)	Reunión diaria
	(M)	LBS - Location Breakdown Structure o Estructura de Desagregación de la Ubicación
	(N)	Dividir sesión pull
	(O)	Reunión de detalle
2011	(P)	Entrenamiento SUP
2012	(Q)	RAM - Risk Assessment Matrix o Matriz de Evaluación de Riesgos
	(R)	Clasificación de restricciones
	(S)	Restricciones a dos niveles
	(T)	TA - Tasks Anticipated o Tareas Anticipadas
	(U)	TMR - Tasks Made Ready o Tareas Preparadas
	(V)	CCM - Critical Chain Method o Gestión de la Cadena Crítica
2016	(AD)	CL - Commitment Level o Nivel de Compromiso
	(AE)	PRCO - Percent Required Completed or Ongoing o Porcentaje de Requeridas Completadas o En Proceso
	(AG)	MV - Milestone Variance o Variación de Hitos
2017	(AK)	CLR - Capacity Load Ratio o Radio de Capacidad de Carga
	(AL)	RCR - Required Capacity Ratio o Radio de Capacidad Requerida
	(AM)	RPC - Required Percent Complete o Porcentaje Requerido Completado
	(W)	Sistema de sensores
	(X)	CFI - Construction Flow Index o Índice de Flujo de la Construcción
	(Y)	Plan por contratista
	(Z)	Resultados públicos
2018	(AA)	CRI - Constraint Removal Index o Índice de Restricciones Eliminadas
	(AB)	ABI - Adherence to Batch Index o Índice de Adherencia al Lote
2019	(AF)	RL - Required Level o Nivel Requerido
	(AH)	CU - Completed Uncommitted o Completadas No Comprometidas
	(AI)	PCN - Percent Completed New o Porcentaje de Completadas Nuevas

Nuevas propuestas por cantidad de artículos

Por su parte, en la Tabla 14 se tienen las nuevas propuestas ordenada según la cantidad de artículos donde se mencionan. De esta lista resalta que más de la mitad de los artículos indican la planificación de fases como un paso del flujo de trabajo del SUP, esto debido a que es un paso que forma parte del sistema original presentado por Glenn Ballard en el año 2000, pero que solo se utiliza para proyectos complejos y de gran extensión

en el tiempo, donde se requiere dividir el plan maestro en fases para poder desarrollar el siguiente nivel de detalle (Rodríguez, A. et al. (2011)).

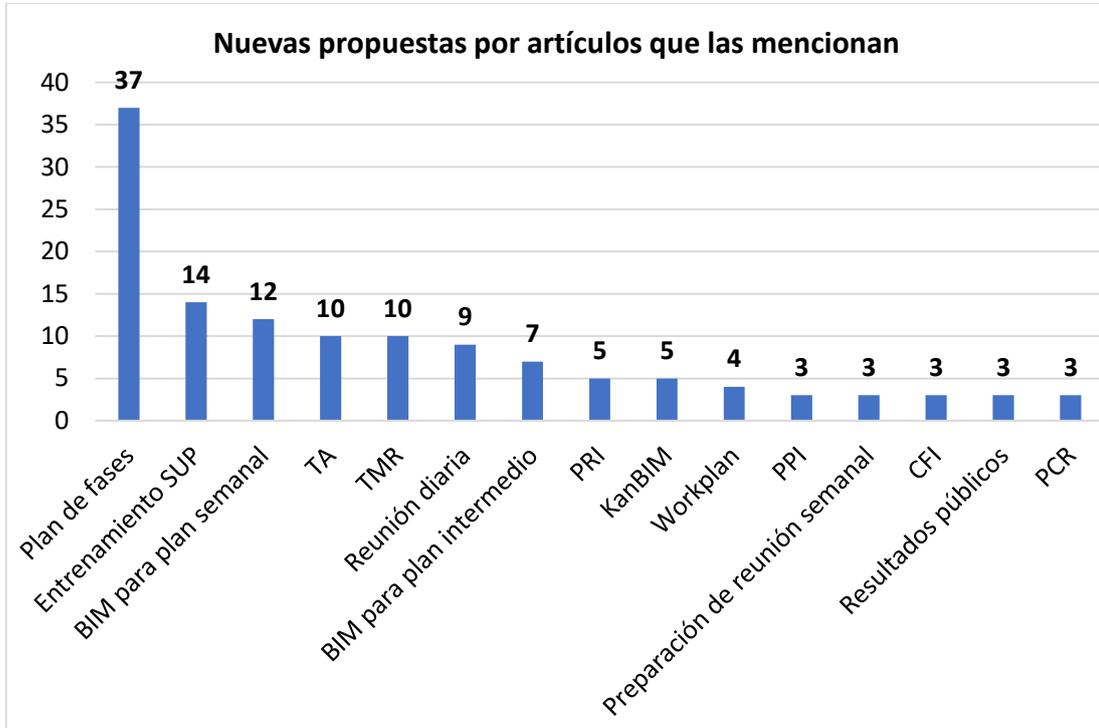
Tabla 14. Lista de nuevas propuestas por cantidad de artículos que la refieren

ID	NUEVA PROPUESTA	ARTÍCULOS RELACIONADOS
(F)	Plan de fases	37
(P)	Entrenamiento SUP	14
(K)	BIM para plan semanal	12
(T)	TA - Tasks Anticipated o Tareas Anticipadas	10
(U)	TMR - Tasks Made Ready o Tareas Preparadas	10
(L)	Reunión diaria	9
(I)	BIM para plan intermedio	7
(C)	PRI - Process Reliability Index o Índice de Fiabilidad del Proceso	5
(G)	KanBIM	5
(A)	Workplan	4
(D)	PPI - Project Productivity Index o Índice de Productividad del Proyecto	3
(J)	Preparación de reunión semanal	3
(X)	CFI - Construction Flow Index o Índice de Flujo de la Construcción	3
(Z)	Resultados públicos	3
(AC)	PCR - Percent of Constraints Removal o Porcentaje de Restricciones Eliminadas	3
(S)	Restricciones a dos niveles	2
(Y)	Plan por contratista	2
(AD)	CL - Commitment Level o Nivel de Compromiso	2
(AE)	PRCO - Percent Required Completed or Ongoing o Porcentaje de Requeridas Completadas o En Proceso	2
(AG)	MV - Milestone Variance o Variación de Hitos	2
(AJ)	PWR - Planned Work Ready o Trabajo Planificado Listo	2
(AK)	CLR - Capacity Load Ratio o Radio de Capacidad de Carga	2
(AL)	RCR - Required Capacity Ratio o Radio de Capacidad Requerida	2
(AM)	RPC - Required Percent Complete o Porcentaje Requerido Completado	2
(B)	DePlan	1
(E)	RCM - Reliable Commitment Model o Modelo del Compromiso Fiable	1
(H)	BIM para plan master	1
(M)	LBS - Location Breakdown Structure o Estructura de Desagregación de la Ubicación	1
(N)	Dividir sesión pull	1
(O)	Reunión de detalle	1
(Q)	RAM - Risk Assessment Matrix o Matriz de Evaluación de Riesgos	1
(R)	Clasificación de restricciones	1
(V)	CCM - Critical Chain Method o Gestión de la Cadena Crítica	1
(W)	Sistema de sensores	1
(AA)	CRI - Constraint Removal Index o Índice de Restricciones Eliminadas	1
(AB)	ABI - Adherence to Batch Index o Índice de Adherencia al Lote	1
(AF)	RL - Required Level o Nivel Requerido	1
(AH)	CU - Completed Uncommitted o Completadas No Comprometidas	1
(AI)	PCN - Percent Completed New o Porcentaje de Completadas Nuevas	1

En la Figura 24 se pueden observar las propuestas que tienen 3 o más artículos que las refieren. Apartando el plan de fases, se observa que los pasos nuevos más mencionados por los autores son el entrenamiento previo a la implementación del SUP, el uso del modelo BIM para apoyar en el desarrollo y revisión de la planificación semanal e intermedia, la implementación de la reunión diaria corta y la medición del TA y TMR como

nuevas métricas que complementan el PPC para el seguimiento y control del proyecto.

Figura 24. Nuevas propuestas por cantidad de artículos que las mencionan

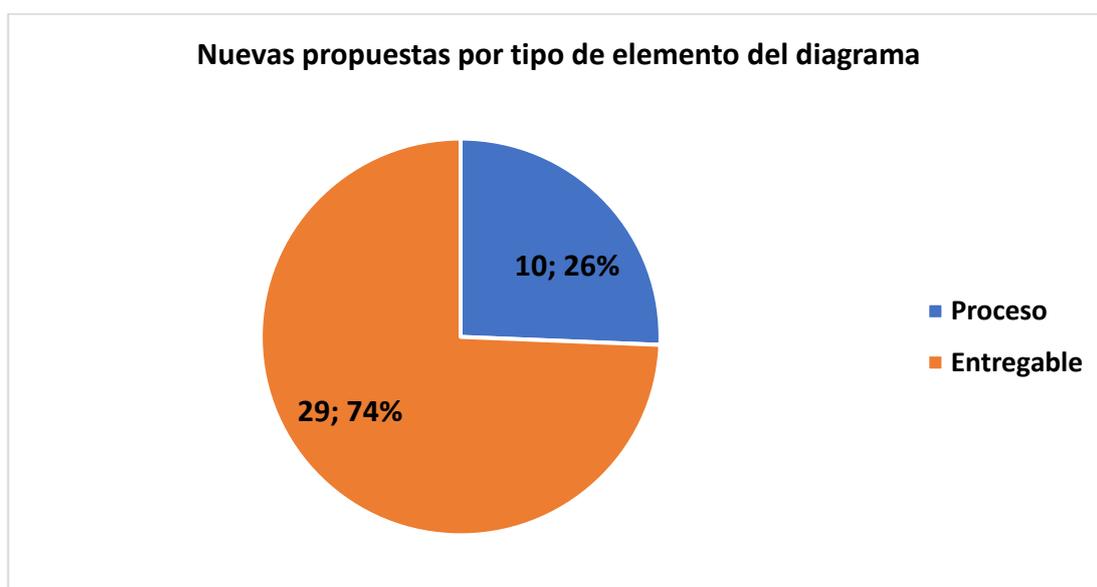


En este sentido se considera que estos pasos son también de fácil implementación en los proyectos ya que, a excepción de los modelos BIM, no requieren de conocimientos técnicos más allá de los requeridos por el propio SUP.

Nuevas propuestas por tipos de elementos del diagrama de flujo

Los elementos incorporados al flujo de trabajo pueden ser procesos o entregables (según se indicó anteriormente en la Figura 15. *Simbología utilizada en el flujo de trabajo*), los resultados se observan en la Figura 25

Figura 25. *Nuevas propuestas por tipo de elemento del diagrama de flujo*



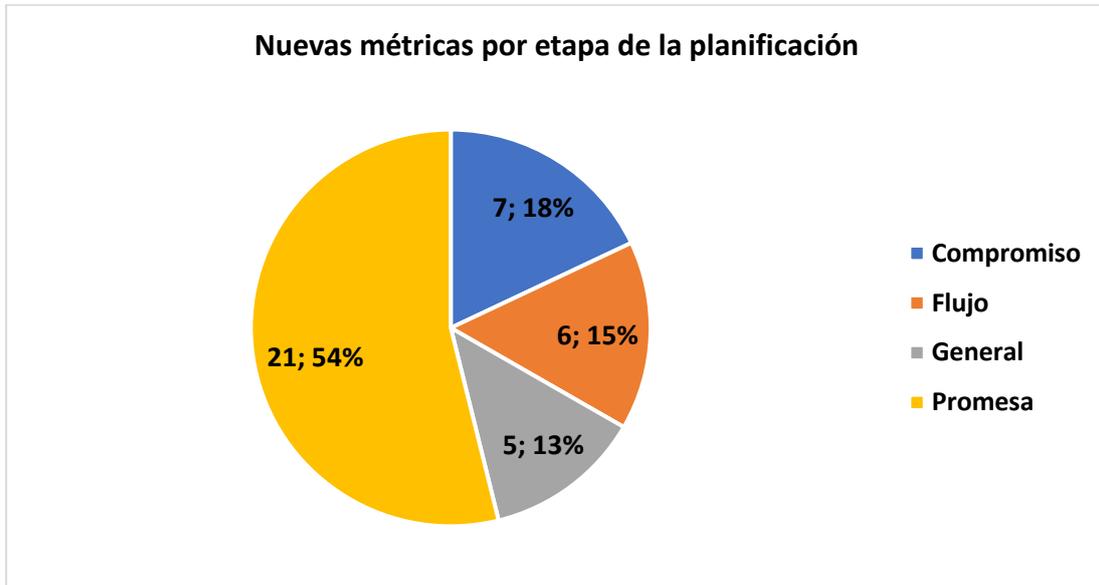
Las nuevas propuestas se clasifican de esta manera, considerando como proceso todos aquellos pasos que implican una acción: entrenamiento SUP, las dos etapas de la sesión pull, la revisión del plan maestro con CCM, la reunión de detalle y reunión diaria y los sistemas o métodos generales que no fueron ubicados dentro del diagrama en un punto específico. En esta clasificación se cuentan 10 propuestas.

Los aportes restantes son considerados entregables, ya que representan un programa de trabajo, modelo BIM, listados de tareas según un criterio específico o reporte de las métricas correspondientes. De las 29 propuestas que se clasifican como entregables destaca que 18 corresponden a nuevas métricas (62% de los entregables, 46% de las nuevas propuestas).

Nuevas propuestas considerando la etapa de la planificación

Finalmente, se clasificaron las propuestas según el nivel o etapa de la planificación en la que se ubican al incorporarse en el flujo de trabajo del SUP, como se observa en la Figura 26.

Figura 26. Nuevas propuestas por etapa de la planificación en la que se incorporan



De esta clasificación destaca que más de la mitad de las nuevas propuestas encontradas en la base de datos son incorporadas en la etapa de la promesa, a nivel de la planificación semanal, lo que coincide con el hecho de que 46% sean métricas que generalmente están aplicadas luego de obtener los resultados de la ejecución de la semana para retroalimentar el proceso.

Análisis general de aportes de las nuevas propuestas

En términos generales se considera que las propuestas presentadas en cada artículo de la base de datos representan individualmente una mejora o complementan de manera positiva el planteamiento original de la forma de trabajo del Sistema del Último Planificador, sin embargo, implementar todas ellas en un proyecto simultáneamente (como correspondería al seguir el flujo de trabajo integrado propuesto en esta investigación) puede conllevar a un reto importante debido a la complejidad del sistema, ya que pasaría de tener 15 pasos (entre procesos, entregables y puntos de revisión), a trabajar en un flujo de 50 pasos diferentes. En este sentido, se considera que lo recomendable sería seleccionar los pasos a implementar de acuerdo al tipo y magnitud del proyecto a ejecutar, el grado de conocimiento previo del SUP de los involucrados y los aspectos específicos que se quieran controlar respecto a los riesgos identificados que deseen mitigarse.

En la Tabla 15 se resumen los principales aportes de las nuevas propuestas presentadas por cada nivel de planificación del SUP en el que se ubican. Se observa que 75% de las propuestas (29 de las 39 totales) están enfocadas en la planificación, fiabilidad, manejo de restricciones, recursos, compromisos y tareas imprevistas o críticas.

Tabla 15. *Aportes por etapa de planificación del SUP y cantidad de propuestas*

ETAPA DEL SUP	APORTE	PROPUESTAS
Compromiso	Planificación	4
	Fiabilidad	3
	Recursos	3
Flujo	Restricciones	4
Promesa	Fiabilidad	5
	Restricciones	4
	Tareas imprevistas	3
	Compromiso	3

En la etapa del compromiso, a nivel de la planificación maestra, destaca principalmente la necesidad de establecer un sistema de entrenamiento sobre el SUP antes de su implementación en obra, este paso se considera de gran importancia ya que ayuda a que el personal involucrado se familiarice de entrada con las herramientas a utilizar, reduciendo así los problemas por falta de entendimiento y comunicación. Por su parte, un posible riesgo que se observa en esta propuesta es que generalmente (y sobre todo en proyectos de gran envergadura), para el momento de iniciar la obra no se han seleccionado todos los subcontratistas, por lo que sería recomendable dividir este entrenamiento en varias fases según se incorporen nuevos bloques de actividades, para asegurar así de que todos los interesados reciban la información de manera oportuna.

En la etapa de flujo o planificación intermedia, se destaca la recomendación de incorporar el modelo BIM para complementar el desarrollo del programa con vista de 4 a 6 semanas. Es claro el beneficio de visualizar las actividades asociadas a los elementos físicos a ejecutar en cuanto a coordinación de espacios entre subcontratistas, identificación de conflictos, preparación de distribución de materiales, entre otros, sin embargo, el uso de un modelo BIM a este nivel de detalle requiere de su

desarrollo desde etapas tempranas de la obra (para poder contar con la información y vinculación correcta al momento de ser utilizado en las reuniones) y de la dedicación total de por lo menos una persona de alta cualificación en el tema (o más, según el tamaño del proyecto) que deberá gestionar el archivo o conjunto de archivos y mantenerlos actualizados prácticamente a la semana, a fin de mantener la información válida y vigente.

En la etapa de promesa o planificación semanal se presenta el mismo caso de la incorporación del modelo BIM como apoyo en el programa de tareas de la semana, con las ventajas y desventajas mencionadas anteriormente. Además, destaca como propuesta de interés la reunión diaria (*daily huddle*) ya que esta permite alinear las tareas a ejecutar durante el día adaptándose a la situación real del momento y generar alertas pertinentes sin necesidad de esperar al final de la semana y cierre del ciclo de seguimiento y control para poder presentarlas; de esta manera se puede lograr mitigar el impacto de retrasos por imprevistos debido, por ejemplo, a condiciones climáticas no consideradas, o situaciones restrictivas nuevas.

En cuanto a la lista de nuevas métricas propuestas para mejorar o complementar el PPC, se considera que se deben seleccionar aquellas que se adapten a las necesidades del proyecto en cada etapa de su ejecución, por ejemplo, se pueden tomar para el control una selección inicial de métricas que cumplan un objetivo, y si se detecta que un aspecto en particular está generando problemas, incorporar entonces otras de las métricas que permitan entender la situación con mayor nivel de detalle.

Finalmente, de los 5 métodos generales propuestos, se considera también que deberán seleccionarse y adaptarse a los requerimientos de cada proyecto y los involucrados. Las herramientas como Workplan y Deplan, al igual que otras existentes en la actualidad, siempre servirán de soporte para la ejecución de los planes y reportes, considerando que cuanto más automatizados estén los procesos, menor es la probabilidad de error debido al agente humano. Por su parte el KanBIM, resulta de interés ya que

la asociación de los procesos a sistemas visuales de gestión siempre favorece la comunicación y entendimiento a todos los niveles profesionales involucrados, disminuyendo confusiones y errores.

5. CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIONES

El Sistema del Último Planificador (SUP) es una herramienta que forma parte de *Lean Construction* y que ha resultado de gran interés para los investigadores en cuanto a su análisis, implementación y mejora. El estudio del estado del conocimiento indica que existen (en la base de datos SCOPUS, hasta el primer semestre de 2021) 495 publicaciones referentes al SUP. De estas, 107 son artículos de investigación que están relacionados al flujo de trabajo del SUP. La tendencia en el tiempo ha sido incremental en cuanto a la cantidad de artículos, a excepción de los últimos dos años, con una notoria baja que puede estar asociada a la pandemia mundial del COVID-19 o a otros factores como la pérdida de interés sobre el tema.

Hay 276 autores involucrados en las investigaciones, de los cuales 82% solo tiene una publicación. Los dos autores con más artículos publicados son Glenn Ballard y Luis Fernando Alarcón, con 11 cada uno. En cuanto a países, Estados Unidos es el de mayor influencia con implicación en 35% de los artículos, el doble que Chile, India y Reino Unido que son los siguientes en la lista. Visto por continentes, se ubican América, Asia y Europa, en este orden de frecuencia de participación. De las revistas destaca que 64% de los artículos se ubica en 10 revistas, 25% de la muestra, siendo las dos principales el "*Journal of Construction Engineering and Management*" y "*Lean Construction Journal*". La técnica de obtención de datos más frecuente en los artículos del SUP estudiados es el caso de estudio, y la técnica de análisis, el cuantitativo no estadístico. En cuanto a las categorías definidas de acuerdo a la intención u objeto principal del estudio, se observó que analizar el SUP e implementarlo en obra es la de mayor interés. Finalmente, el tipo de obra más frecuentemente referido es la edificación y 86% de las veces se trabaja en la fase de construcción del proyecto.

En cuanto al flujo de trabajo base utilizado para el desarrollo de esta investigación, se observó que todos los pasos eran mencionados en los diferentes artículos de la base de datos, validando su relevancia y correlación, a excepción de la planificación previa elaborada por el jefe de obra y el reestudio de la tarea, que solo fueron mencionados específicamente en un artículo cada uno. Los 4 pasos más relevantes resultaron ser (en ese orden) el plan semanal, PPC, plan intermedio y plan maestro, que son justamente las tres etapas básicas de la planificación y la métrica fundamental que conforman el SUP.

Respecto a las nuevas propuestas, existen un total de 39, presentadas en 16 artículos de investigación (con otros 55 artículos que les hacen mención o referencia). El año 2010 fue el de mayor cantidad de nuevos planteamientos para incorporar al flujo de trabajo, con un total de 11, presentados entre 3 diferentes artículos.

El plan de fases destaca como un elemento que no aparece en el flujo de trabajo base, pero fue planteado originalmente en el SUP de Ballard, y es mencionado en 37 de los artículos de la base de datos. Además de este paso, las 5 nuevas propuestas que son más frecuentemente mencionadas son el entrenamiento previo a la implementación del SUP, el uso de BIM para la planificación semanal e intermedia, la reunión diaria de coordinación y las métricas TA (Tareas Anticipadas) y TMR (Tareas Preparadas), que permiten controlar el proceso de eliminación de restricciones previo a la programación de actividades de la semana.

De las nuevas propuestas también destaca que 74% se refieren a entregables, de los cuales más de la mitad son nuevas métricas de control. Esto coincide con el hecho de que más de la mitad de los elementos incorporados al flujo de trabajo se ubican en la etapa de la promesa o planificación semanal, donde justamente se desarrollan los procesos de seguimiento y control del proyecto. Se considera que, de las 5 propuestas más mencionadas en los artículos, el entrenamiento previo, la reunión diaria y la medición del TA y TMR son las que pueden tener mejor relación entre la

facilidad de incorporación e implementación en la obra con respecto al beneficio que generan.

Por su parte, el uso del modelo BIM para apoyar la elaboración y coordinación de la planificación intermedia y semanal es un recurso que puede resultar de gran utilidad como apoyo visual, para la identificación de conflictos, organización del personal, materiales, subcontratistas involucrados, y en general, mejorar la comunicación en todos los niveles de trabajo, sin embargo, requiere de inversión, desarrollo constante y personal cualificado para su uso correcto, lo que implica un coste y tiempo que debería ser evaluado en cada caso particular de la obra en la que se desee implementar.

Los aportes generados por las nuevas propuestas se inclinan hacia un aspecto específico según la etapa de la planificación en la que se encuentran: a nivel del compromiso (plan maestro), se busca reforzar el proceso de planificación en sí y la fiabilidad del documento resultante, que será la base a partir de la cual se genere el resto de la información del SUP; a nivel de flujo (plan intermedio), las propuestas se centran en mejorar el proceso de identificación y eliminación de restricciones, a fin de permitir el paso apropiado de las tareas del plan intermedio al plan semanal; y finalmente en el nivel de la promesa (plan semanal), las nuevas propuestas se enfocan por igual en el proceso de seguimiento y control, buscando mejorar en el manejo de las restricciones y tareas imprevistas, incrementar la fiabilidad, analizar el nivel de compromiso generado por los involucrados y producir una adecuada retroalimentación en el sistema para poder implementar las mejoras necesarias.

Los aportes de los métodos y herramientas clasificados como generales están enfocados principalmente en la automatización de procesos, lo que incrementa la fiabilidad y mejora los procesos de optimización y comunicación. Se consideran opcionales para la implementación del SUP y que deben ser seleccionados de acuerdo a las necesidades del proyecto.

Finalmente, se concluye que el flujo de trabajo propuesto en esta investigación logra integrar y armonizar todas las nuevas propuestas identificadas en los artículos que conforman la base de datos utilizada, presenta una gran cantidad de herramientas que pueden adaptarse a cada caso de estudio para fortalecer el SUP en los aspectos deseados y de esta manera mejorar los resultados del proyecto.

Con la incorporación de los nuevos aportes se refuerza la elaboración de la planificación en sus diferentes niveles de detalle, aumentando la fiabilidad de la información que pasa a la siguiente etapa y mejorando el control del proceso de liberación de restricciones, lo que permite reducir el número de paralizaciones y retrabajos que generan demoras en las obras y aumentar la productividad. También permite llevar un control más específico sobre las tareas imprevistas y las tareas críticas, que son dos factores que deben llevar un seguimiento adecuado para garantizar el cumplimiento de las metas.

Se considera que este flujo de trabajo presentado puede ser revisado más adelante con la información que se encuentra en otro tipo de publicaciones científicas que han quedado fuera del alcance de esta investigación, y que probablemente permitirían ampliar y profundizar aún más en el potencial de la herramienta el SUP para la gestión de obras.

De igual manera, en la medida que se incorporan pasos al flujo de trabajo, el mismo se vuelve más efectivo, pero también complejo para su implementación, por lo que se recomienda que se tome como referencia y se adapte a cada caso, para lo cual también se recomienda tomar en consideración el nivel de madurez y conocimiento que presenten los involucrados en el proyecto a la hora de iniciar con el uso de las herramientas SUP, ya que si existen unas bases precedentes de su uso, puede resultar favorable la incorporación de nuevos elementos, mientras que si es un recurso desconocido, lo recomendable sería iniciar por la adopción de las formas más tradicionales y seleccionar los puntos concretos que se deseen mejorar.

5.2. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

Con el desarrollo de esta investigación se logra cumplir con el objetivo principal y los tres objetivos específicos planteados desde el inicio. La propuesta de flujo de trabajo integrado, compuesta por los pasos encontrados en el flujo de trabajo base y la incorporación de todos los nuevos planteamientos presentados por los diferentes autores que se encuentran en la base de datos estudiada, se puede observar en la Figura 21. *Flujo de trabajo integrado*. Por su parte, el estudio del estado del conocimiento, su clasificación y análisis se presenta en detalle en el Capítulo 3, entre la fase contextual y fase analítica desarrolladas para este aspecto del trabajo.

5.3. CONTRIBUCIONES

Esta investigación presenta tres contribuciones principales al tema objeto de estudio:

- Un estudio actualizado y análisis del estado del conocimiento del SUP.
- El listado y análisis de aportes producidos por cada una de las nuevas propuestas mencionadas por los autores de artículos de investigación publicados desde la creación del SUP hasta el primer semestre del 2021.
- La integración en un solo diagrama de todos los nuevos aportes y los pasos originalmente planteados, para la presentación de un flujo de trabajo generalizado del SUP.

5.4. RECOMENDACIONES

En principio se recomienda que para la implementación del flujo de trabajo integrado propuesto se busque primero adoptar los conceptos básicos del SUP con los pasos originales planteados y luego se seleccionen aquellos pasos nuevos que se adapten al proyecto a desarrollar en cuanto a su magnitud y nivel de control requerido en cada fase de la ejecución. Se considera que el entrenamiento previo a la aplicación del SUP y la reunión

diaria son los dos recursos más prácticos y de fácil incorporación, que pueden reportar beneficios al sistema. El apoyo del modelo BIM es también de los aspectos más comentados y útiles, sin embargo, se considera que este aspecto dependerá de otros factores como el tipo de obra y los recursos disponibles para su desarrollo y actualización adecuados.

5.5. LIMITACIONES

La principal restricción identificada en esta investigación se encuentra en que el alcance de la base de datos fue definido a únicamente analizar artículo de investigación. Se considera una limitación ya que a lo largo del desarrollo del trabajo se encontraron nuevas propuestas de interés que fueron presentadas el otro tipo de publicación científica, por ejemplo, en congresos y que solo se pudieron incorporar en el flujo de trabajo integrado propuesto debido a su mención en un artículo publicado posteriormente por otro autor. A fines de continuar y profundizar esta investigación se recomendaría realizar el estudio incorporando al alcance otros tipos de publicaciones científicas, pudiendo así generarse una versión ampliada del flujo de trabajo integrado aquí propuesto.

6. REFERENCIAS

1. ABDELMEGID, M. A., GONZÁLEZ, V. A., O'SULLIVAN, M., WALKER, C. G., POSHDAR, M., Y ALARCÓN, L. F. (2021). "Exploring the links between simulation modelling and construction production planning and control: A case study on the last planner system" en *Production Planning and Control*. doi:10.1080/09537287.2021.1934588.
2. ABUSALEM, O. (2020). "Towards last planner system implementation in gaza strip, Palestine" en *International Journal of Construction Management*. Vol 20 (5), p. 367-384. doi:10.1080/15623599.2018.1484861.
3. ALARCÓN, L. F., DIETHELM, S., ROJO, O., Y CALDERÓN, R. (2008). "Assessing the impacts of implementing lean construction" en *Revista Ingeniería De Construcción*, Vol 23(1), p. 26-33. doi:10.4067/s0718-50732008000100003.
4. ALARCÓN, L. Y PELLICER, E. (2009). "Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas" en *Revista de Obras Públicas*, No. 3.496, p. 45-52.
5. ALSEHAIMI, A. O., FAZENDA, P. T., Y KOSKELA, L. (2014). "Improving construction management practice with the last planner system: A case study" en *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol 21 (1), p. 51-64. doi:10.1108/ECAM-03-2012-0032.
6. AMANY, A., TAGHIZADE, K., Y NOORZAI, E. (2020). "Investigating conflicts of expert contractors using the last planner system in building information modeling process" en *Journal of Engineering, Design and Technology*, Vol 18 (6), p. 1381-1402. doi:10.1108/JEDT-09-2019-0223.
7. ANAND, T., SACHIN PRABHU, P., Y NISHAANT, H. A. (2019). "Improvement of project performance by constraint analysis and root cause analysis of last planner system" en *International Journal of Recent Technology and Engineering*, Vol 7 (4), p. 228-230.
8. ANDRADE, M., Y ARRIETA, B. (2011). "Last planner system results in subcontract construction company. [Last planner en subcontrato de

- empresa constructora]” en *Revista de la Construcción*, Vol 10 (1), p.36-52.
9. ANDÚJAR-MONTOYA, M. D., MARCOS-JORQUERA, D., GARCÍA-BOTELLA, F. M., Y GILART-IGLESIAS, V. (2017). “A context-driven model for the flat roofs construction process through sensing systems, internet-of-things and last planner system” en *Sensors (Suiza)*, Vol 17 (7). doi:10.3390/s17071691.
 10. ANDÚJAR-MONTOYA, M. D., GALIANO-GARRIGÓS, A., ECHARRI-IRIBARREN, V., Y RIZO-MAESTRE, C. (2020). “BIM-LEAN as a methodology to save execution costs in building construction-an experience under the spanish framework” en *Applied Sciences (Suiza)*, Vol 10 (6). doi:10.3390/app10061913.
 11. ARAQUE GONZÁLEZ, G. A., GARCÍA ARANGO, D. A., AGUIRRE MESA, E. D., HENAO VILLA, C. F., ECHEVERRY GUTIÉRREZ, C. A., Y SIDEK, S. (2019). “The planning in lean construction methodology at colombian civil sector” en *International Journal of Recent Technology and Engineering*, Vol 8(1), p. 173-178.
 12. ASLAM, M., GAO, Z., Y SMITH, G. (2020). “Development of innovative integrated last planner system (ILPS)” en *International Journal of Civil Engineering*, Vol 18 (6), p. 701-715. doi:10.1007/s40999-020-00504-9.
 13. AZIZ, R. F., Y HAFEZ, S. M. (2013). “Applying lean thinking in construction and performance improvement” en *Alexandria Engineering Journal*, Vol 52 (4), p.679-695. doi:10.1016/j.aej.2013.04.008.
 14. BAJJOU, M. S., CHAFI, A., Y EN-NADI, A. (2017). “A comparative study between lean construction and the traditional production system” en *International Journal of Engineering Research in Africa*, Vol 29, p. 118-132. doi:10.4028/www.scientific.net/JERA.29.118
 15. BAJJOU, M. S., CHAFI, A., Y EN-NADI, A. (2017). “The potential effectiveness of lean construction tools in promoting safety on construction sites” en *International Journal of Engineering Research in*

Africa, Vol 33, p. 179-193.
doi:10.4028/www.scientific.net/JERA.33.179.

16. BALDWIN, ANDREW. (1999). Analytical design planning technique: a model of the detailed building design process” en *Design Studies*, Vol 20 (3), p.279-296. doi:10.1016/S0142-694 X (98)00038-6.
17. BALLARD, H. G. Y HOWELL, G. (1998). “Shielding production: an essential step in production control” en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 124. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1998)124:1(11).
18. BALLARD, H. G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. Tesis de Doctorado. Inglaterra: Universidad de Birmingham.
19. BALLARD, H. G. Y TOMMELEIN, I. (2016). “Current process benchmark for the Last Planner System” en UC Berkley Previously Published Works.
20. BALLARD, G., VAAGEN, H., KAY, W., STEVENS, B., Y PEREIRA, M. (2020). “Extending the last planner system® to the entire project” en *Lean Construction Journal*, Vol 2020, p. 42-77.
21. BELAYUTHAM, S., MOHAMAD, R. N. A., ISMAIL, H. B., Y CHE IBRAHIM, C. K. I. (2021). “Production planning, monitoring and review: Comparison between the practices in an urban rail transit megaproject with the last planner system” en *TQM Journal*. doi:10.1108/TQM-11-2020-0282.
22. BORTOLINI, R., FORMOSO, C. T., Y VIANA, D. D. (2019). “Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modeling” en *Automation in Construction*, Vol 98, p. 248-264. doi:10.1016/j.autcon.2018.11.031.
23. CÁRDENAS, L. F. A., Y PELLICER, E. (2009). “A new management focus: Lean construction. [Un nuevo enfoque en la gestión: La construcción sin pérdidas]” en *Revista De Obras Públicas*, Vol 156(3496), p.45-52.
24. CARROLL, M. (2006). “Process Mapping using flowcharting / blueprinting” en *Ministry of Higher Education & Oman Accreditation Council*. Training Module 08 v2.
25. CASTILLO, T., ALARCÓN, L. F., Y SALVATIERRA, J. L. (2018). “Effects of last planner system practices on social networks and the performance

- of construction projects” en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 144 (3). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001443.
26. CHAMBERLIN, K. S., ASADI, S. S., Y CHAITANYA, D. S. (2017). “Evaluation of latest trends and developments in lean construction in India: A model study” en *International Journal of Civil Engineering and Technology*, Vol 8(10), p. 461-471.
 27. CHEN, Q., HALL, D. M., ADEY, B. T., Y HAAS, C. T. (2020). “Identifying enablers for coordination across construction supply chain processes: A systematic literature review” en *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol 28 (4), p. 1083-1113. doi:10.1108/ECAM-05-2020-0299.
 28. CHOO, H. J., HAMMOND, J., TOMMELEIN, I. D., AUSTIN, S. A., Y BALLARD, G. (2004). “DePlan: A tool for integrated design management” en *Automation in Construction*, Vol 13 (3), p. 313-326. doi:10.1016/j.autcon.2003.09.012.
 29. CHO, S., Y BALLARD, G. (2011). “Last planner and integrated project delivery” en *Lean Construction Journal*, Vol 2011, p. 67-73.
 30. CHOO, H. J., TOMMELEIN, I. D., BALLARD, G., Y ZABELLE, T. R. (1999). “WorkPlan: Constraint-based database for work package scheduling” en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 125 (3), p. 151-160. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1999)125:3(151).
 31. COURT, P. F., PASQUIRE, C., Y GIBB, A. (2009). “A lean and agile construction system as a set of countermeasures to improve health, safety and productivity in mechanical and electrical construction” en *Lean Construction Journal*, Vol 2009, p. 61-76.
 32. DANIEL, E. I., PASQUIRE, C., Y DICKENS, G. (2019). “Development of approach to support construction stakeholders in implementation of the last planner system” en *Journal of Management in Engineering*, Vol 35 (5). doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000699.
 33. DANIEL, E. I., PASQUIRE, C., DICKENS, G., Y BALLARD, H. G. (2017). “The relationship between the last planner® system and collaborative

- planning practice in UK construction. Engineering” en *Construction and Architectural Management*, Vol 24 (3), p. 407-425. doi:10.1108/ECAM-07-2015-0109.
34. DAVE, B., KUBLER, S., FRÄMLING, K., Y KOSKELA, L. (2016). “Opportunities for enhanced lean construction management using internet of things standards” en *Automation in Construction*, Vol 61, p. 86-97. doi:10.1016/j.autcon.2015.10.009.
35. DÍAZ, L., DE OLIVEIRA, M., PUCHARELLI, P., Y PINZÓN, J. (2019). “Integration between the last planner system and the quality management system applied in the civil construction sector. [Integración entre el sistema last planner y el sistema de gestión de calidad aplicados en el sector de la construcción civil]” en *Revista Ingeniería De Construcción*, Vol 34 (2), p.146-158. doi:10.4067/S0718-50732019000200146.
36. DIXIT, S., MANDAL, S. N., SAWHNEY, A., Y SINGH, S. (2017). “Area of linkage between lean construction and sustainability in indian construction industry” en *International Journal of Civil Engineering and Technology*, Vol 8 (8), p.623-636.
37. EL-SABEK, L. M., Y MCCABE, B. Y. (2017). “Coordination challenges of production planning & control in international mega-projects: A case study” en *Lean Construction Journal*, Vol 2017, p.25-29.
38. EL-SABEK, L. M., Y MCCABE, B. Y. (2018). “Framework for managing integration challenges of last planner system in IMPs” en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 144 (5). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001468.
39. EMDANAT, S. Y AZAMBUJA, M. (2016). “Aligning Near and Long-Term Planning for LPS Implementations: A Review of Existing and New Metrics” en los *Procedimientos de la Conferencia Anual del International Group for Lean Construction*. Boston, Estados Unidos. p.103–112.
40. ENSHASSI, A., SALEH, N., Y MOHAMED, S. (2019). “Application level of lean construction techniques in reducing accidents in construction

- projects” en *Journal of Financial Management of Property and Construction*, Vol 24 (3), p.274-293. doi:10.1108/JFMPC-08-2018-0047.
41. GADE, R. J. (2016). “A proposed solution to the problem of construction industry overruns: Lean construction techniques and linear programming” en *Indian Journal of Science and Technology*, Vol 9 (25). doi:10.17485/ijst/2016/v9i25/97222.
 42. GAO, S., Y LOW, S. P. (2014a). “The last planner system in China’s construction industry - A SWOT analysis on implementation” en *International Journal of Project Management*, Vol 32 (7), p.1260-1272. doi:10.1016/j.ijproman.2014.01.002.
 43. GAO, S. Y LOW. S. P. (2014b). *Lean Construction Management. The Toyota Way*. Singapur: Springer.
 44. GHOSH, S., DICKERSON, D. E., Y MILLS, T. (2019). “Effect of the last planner system® on social interactions among project participants” en *International Journal of Construction Education and Research*, Vol 15 (2), p.100-117. doi:10.1080/15578771.2017.1407847.
 45. GONZÁLEZ, V., ALARCÓN, L. F., MATURANA, S., MUNDACA, F., Y BUSTAMANTE, J. (2010). “Improving planning reliability and project performance using the reliable commitment model” en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 136 (10), p.1129-1139. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000215.
 46. GONZALEZ, V., ALARCON, L. F., Y MUNDACA, F. (2008). “Investigating the relationship between planning reliability and project performance” en *Production Planning and Control*, Vol 19 (5), p.461-474. doi:10.1080/09537280802059023.
 47. GONZÁLEZ, V. A., OROZCO, F., SENIOR, B., INGLE, J., FORCAEL, E., Y ALARCÓN, L. F. (2015). “LEBSCO: Lean-based simulation game for construction management classrooms” en *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, Vol 141 (4). doi:10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000243.

48. HAMZEH, F., AL HATTAB, M., RIZK, L., EL SAMAD, G., Y EMDANAT, S. (2019b). "Developing new metrics to evaluate the performance of capacity planning towards sustainable construction" en *Journal of Cleaner Production*, Vol 225, p.868-882. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.021.
49. HAMZEH, F., BALLARD, G., Y TOMMELEIN, I. D. (2012). "Rethinking lookahead planning to optimize construction workflow" en *Lean Construction Journal*, Vol 2012, p.15-34.
50. HAMZEH, F. R., EL SAMAD, G., Y EMDANAT, S. (2019a). "Advanced metrics for construction planning" en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 145 (11). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001702.
51. HAMZEH, F. R., SAAB, I., TOMMELEIN, I. D., Y BALLARD, G. (2015). "Understanding the role of "tasks anticipated" in lookahead planning through simulation" en *Automation in Construction*, Vol 49(PA), p.18-26. doi:10.1016/j.autcon.2014.09.005.
52. HAMZEH, F. R., ZANKOUL, E., Y ROUHANA, C. (2015). "How can 'tasks made ready' during lookahead planning impact reliable workflow and project duration?" en *Construction Management and Economics*, Vol 33(4), p.243-258. doi:10.1080/01446193.2015.1047878.
53. HARONIAN, E., Y SACKS, R. (2020). "Roadels: Discrete information objects for production planning and control of road construction" en *Journal of Information Technology in Construction*, Vol 25, p.254-271. doi:10.36680/j.itcon.2020.015.
54. HEIGERMOSER, D., GARCÍA DE SOTO, B., ABBOTT, E. L. S., Y CHUA, D. K. H. (2019). "BIM-based last planner system tool for improving construction project management" en *Automation in Construction*, Vol 104, p.246-254. doi:10.1016/j.autcon.2019.03.019.
55. HOLWEG, M. (2007) "The genealogy of lean production" en *Journal of Operations Management*, Vol 25, p.420–437.
56. HUSSAIN, S. M. A. M., SESHADRI SEKCHAR, T., Y FATIMA, A. (2015). "A systematic approach of implementing the last planner system in a

- building construction project in India” en *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol 10 (16), p.37242-37249.
57. INDIRA, M., Y VENKATA JYOTHSNA, M. (2017). “An approach to effective construction management based on lean construction techniques” en *International Journal of Civil Engineering and Technology*, Vol 8 (4), p.1954-1959.
58. ISSA, U. H. (2013). “Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time” en *Alexandria Engineering Journal*, Vol 52(4), p. 697-704. doi:10.1016/j.aej.2013.07.003.
59. JANG, J. Y KIM, Y. (2007). “Use of percent of constraint removal to measure the make-ready process” en los *Procedimientos de la 15^o Conferencia Internacional del Gropu de Lean Construction*. Gløshaugen, Noruega.
60. KHANH, H. D., Y KIM, S. Y. (2016). “A survey on production planning system in construction projects based on last planner system” en *KSCE Journal of Civil Engineering*, Vol 20 (1), p.1-11. doi:10.1007/s12205-015-1412-y.
61. KHANZADI, M., SHAHBAZI, M. M., ARASHPOUR, M., Y GHOSH, S. (2019). “Lean design management using a gamified system” en *Scientia Iranica*, Vol 26 (1), p.15-25. doi:10.24200/sci.2018.20325.
62. KIM, S., KIM, Y., PARK, K. S., Y YOO, C. (2015). “Impact of measuring operational-level planning reliability on management-level project performance” en *Journal of Management in Engineering*, Vol 31 (5). doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000326.
63. KIM, Y., Y BALLARD, G. (2010). “Management thinking in the earned value method system and the last planner system” en *Journal of Management in Engineering*, Vol 26 (4), p. 223-228. doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000026.
64. KOSKELA, L. (1992). “Application of the new production philosophy to construction” en *CIFE Technical Report #72*. Standford University. Estados Unidos.

65. KOVVURI, P. R. R., SAWHNEY, A., AHUJA, R., Y SREEKUMAR, A. (2016). "Efficient project delivery using lean principles - an indian case study" en *Journal of the Institution of Engineers (India): Series A*, Vol 97 (1), p.19-26. doi:10.1007/s40030-016-0142-6.
66. KUMAR, C. S., KAPUGANTI, C. B., ESWARA RAO, S., SANTHOSH KUMAR, T., Y RAMESH, B. (2020). "Application of last planner system as lean construction technique" en *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, Vol 8 (9), p.6035-6041. doi:10.30534/ijeter/2020/184892020.
67. LAGOS, C. I., HERRERA, R. F., Y ALARCÓN, L. F. (2019). "Assessing the impacts of an IT LPS support system on schedule accomplishment in construction projects" en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 145 (10). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001691.
68. LAGOS, C. I., Y ALARCÓN, L. F. (2021). "Assessing the relationship between constraint management and schedule performance in chilean and colombian construction projects" en *Journal of Management in Engineering*, Vol 37 (5). doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000942.
69. LE, P. L., Y NGUYEN, N. T. D. (2021). "Prospect of lean practices towards construction supply chain management trends" en *International Journal of Lean Six Sigma*. doi:10.1108/IJLSS-06-2020-0071.
70. LEE, J., Y CHO, J. (2020). "Schedule monitoring method using LPS and lob-based daily work report model in construction project" en *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*, Vol 11 (4), p.183-193. doi:10.34218/IJARET.11.4.2020.019.
71. LERCHE, J., NEVE, H. H., BALLARD, G., TEIZER, J., WANDAHL, S., Y GROSS, A. (2020). "Application of last planner system to modular offshore wind construction" en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 146 (11). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001922.

72. LIKER, J. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. Nueva York: McGraw-Hill.
73. LINDHARD, S., Y WANDAHL, S. (2015). "Exploration of correct LPS practices in scheduling of large, complex, and constrained construction projects" en *International Journal of Project Organisation and Management*, Vol 7 (1), p.56-71. doi:10.1504/IJPOM.2015.068005.
74. LINDHARD, S., Y WANDAHL, S. (2014). "Exploration of the reasons for delays in construction" en *International Journal of Construction Management*, Vol 14 (1), p.36-44. doi:10.1080/15623599.2013.875267.
75. LINDHARD, S., Y WANDAHL, S. (2015). "Scheduling of large, complex, and constrained construction projects - an exploration of LPS application" en *International Journal of Project Organisation and Management*, Vol 6 (3), p.237-253. doi:10.1504/IJPOM.2014.065258.
76. LIU, M., BALLARD, G., Y IBBS, W. (2011). "Work flow variation and labor productivity: Case study" en *Journal of Management in Engineering*, Vol 27 (4), p.236-242. doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000056.
77. MAHALINGAM, A., YADAV, A. K., Y VARAPRASAD, J. (2015). "Investigating the role of lean practices in enabling BIM adoption: Evidence from two indian cases" en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 141 (7). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000982.
78. MÄKI, T., Y KEROSUO, H. (2020). "Design-related questions in the construction phase: The effect of using the last planner system in design management" en *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol 47 (2), p.132-139. doi:10.1139/cjce-2018-0382.
79. MÄKI, T., KEROSUO, H., Y KOSKENVESÄ, A. (2020). "This has been a real uphill battle — three organisations for the adoption of last planner system" en *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol 47 (2), p.109-117. doi:10.1139/cjce-2018-0405.

80. MARAQA, M. J., SACKS, R., Y SPATARI, S. (2021). "Quantitative assessment of the impacts of BIM and lean on process and operations flow in construction projects" en *Engineering, Construction and Architectural Management*. doi:10.1108/ECAM-12-2020-1068.
81. MITROPOULOS, P. (2005). "'Planned Work Ready': a proactive metric for project control" en los *Procedimientos de la Conferencia Annual del International Group for Lean Construction*. Sydney, Australia. p.235-242.
82. MOSSMAN, A. (2009). "Creating value: A sufficient way to eliminate waste in lean design and lean production" en *Lean Construction Journal*, Vol 2009, p.13-23.
83. NATICCHIA, B., CARBONARI, A., VACCARINI, M., Y GIORGI, R. (2019). "Holonc execution system for real-time construction management" en *Automation in Construction*, Vol 104, p.179-196. doi:10.1016/j.autcon.2019.04.018.
84. NIETO-MOROTE, A., Y RUZ-VILA, F. (2012). "Last planner control system applied to a chemical plant construction" en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 138 (2), p.287-293. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000415.
85. OCHOA, J. J. (2014). "Reducing plan variations in delivering sustainable building projects" en *Journal of Cleaner Production*, Vol 85, p.276-288. doi:10.1016/j.jclepro.2014.01.024.
86. OHNO, T. (1988). *Toyota Production System. Beyond Large-Scale Production*. Japón: Diamond.
87. OLIVIERI, H., SEPPÄNEN, O., ALVES, T. D. C. L., SCALA, N. M., SCHIAVONE, V., LIU, M., Y GRANJA, A. D. (2019). "Survey comparing critical path method, last planner system, and location-based techniques" en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 145 (12). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001644.
88. PASCAL, O., PELAYO, M. SERRA, D. Y CASALINS, M. (2010). "Introducción a la ingeniería de calidad". Universidad Nacional de Lomas de Zamora. Argentina.

89. PAVEZ, I., GONZÁLEZ, V., Y ALARCÓN, L. F. (2010). "Improving the effectiveness of new construction management philosophies using the integral theory. [Mejoramiento de la efectividad de nuevas filosofías de administración de construcción usando la teoría integral]" en *Revista de la Construcción*, Vol 9 (1), p.26-38. doi:10.4067/s0718-915x2010000100004.
90. PELLICER, E. (2017). "Lean Construction" en *Structuralia*, Madrid.
91. PEREZ, A. M., Y GHOSH, S. (2018). "Barriers faced by new-adopter of last planner system®: A case study" en *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol 25 (9), p.1110-1126. doi:10.1108/ECAM-08-2017-0162.
92. PONS, J. Y RUBIO, I. (2019). "Lean Construction y la planificación colaborativa. Metodología del Last Planner ® System" en Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.
93. PORRAS, H., SÁNCHEZ, O. Y GALVIS, J. (2014). "Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual" en *AVANCES – Investigación en Ingeniería*. Vol 11, Nº 1. 32-53.
94. POWER, W., Y TAYLOR, D. (2019). "Last planner® system and percent plan complete: An examination of trade contractor performance" en *Lean Construction Journal*, Vol 2019, p.131-146.
95. PRIVEN, V., Y SACKS, R. (2015). "Effects of the last planner system on social networks among construction trade crews" en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 141 (6). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000975.
96. PRIVEN, V., Y SACKS, R. (2016). "Impacts of the social subcontract and last planner system interventions on the trade-crew workflows of multistory residential construction projects" en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 142 (7). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001102.
97. RINCÓN, J. L., FERNÁNDEZ-SOLÍS, J. L., LAVY, S., Y DU, J. (2019). "Effect of autonomous agents on last planner system performance in Texas"

- en *Journal of Management in Engineering*, Vol 35 (1).
doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000657
98. RIZK, L., HAMZEH, F. Y EMDANAT, S. (2017). "Introducing New Capacity Planning Metrics in Production Planning" en los *Procedimientos de la Conferencia Anual del International Group for Lean Construction*. Heraklion, Grecia. 679-686. doi: <https://doi.org/10.24928/2017/0203>.
99. RODRÍGUEZ, A., ALARCÓN, L. Y PELLICER, E. (2011). "La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador" en *Revista de Obras Públicas*, Vol 3518, p.35-44.
100. ROUHANA, C., Y HAMZEH, F. (2016). "An ABC approach to modeling the emergence of 'new tasks' in weekly construction planning" en *Lean Construction Journal*, Vol 2016, p.35-56.
101. RUSSELL, M. M., HOWELL, G., HSIANG, S. M., Y LIU, M. (2013). "Application of time buffers to construction project task durations" en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 139 (10). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000735.
102. RUSSELL, M. M., LIU, M., HOWELL, G., Y HSIANG, S. M. (2015). "Case studies of the allocation and reduction of time buffer through use of the last planner system" en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 141 (2). doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000900.
103. SACKS, R., RADOSAVLJEVIC, M., Y BARAK, R. (2010). "Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction" en *Automation in Construction*, Vol 19 (5), p.641-655. doi:10.1016/j.autcon.2010.02.010.
104. SACKS, R., SEPPÄNEN, O., PRIVEN, V., Y SAVOSNICK, J. (2017). "Construction flow index: A metric of production flow quality in construction" en *Construction Management and Economics*, Vol 35 (1-2), p.45-63. doi:10.1080/01446193.2016.1274417.
105. SALAMA, T., SALAH, A., Y MOSELHI, O. (2021). "Integrating critical chain project management with last planner system for linear scheduling of

- modular construction” en *Construction Innovation*. doi:10.1108/CI-05-2018-0046.
106. SALEM, O., SOLOMON, J., GENAIDY, A., Y LUEGRING, M. (2005). “Site implementation and assessment of lean construction techniques” en *Lean Construction Journal*, Vol 2 (2), p.1-21.
107. SALEM, O., SOLOMON, J., GENAIDY, A., Y MINKARAH, I. (2006). “Lean construction: From theory to implementation” en *Journal of Management in Engineering*, Vol 22 (4), p. 168-175. doi:10.1061/(ASCE)0742-597X(2006)22:4(168).
108. SAMUDIO, M., ALVES, T. C. L., Y CHAMBERS, D. (2011). “Employing the principle of “going and seeing” to construction” en *Lean Construction Journal*, Vol 2011(Special Issue), p.41-53.
109. SÁNCHEZ-LOSADA, J. M. (2012). “Project management models: Lean thought project management. [Modelos de gestión de proyectos: Dirección de Proyectos compatible con el pensamiento lean]” en *Dyna* (España), Vol 87 (2), p.214-221. doi:10.6036/4367.
110. SCHIMANSKI, C. P., MARCHER, C., MONIZZA, G. P., Y MATT, D. T. (2020). “The last planner® system and building information modeling in construction execution: From an integrative review to a conceptual model for integration” en *Applied Sciences* (Suiza), Vol 10 (3). doi:10.3390/app10030821.
111. SEJZER, R. (2015). “Las 7 enfermedades mortales de la gerencia, por Deming” en Blog Calidad Total. Disponible en: <http://ctcalidad.blogspot.com/2015/08/las-7-enfermedades-mortales-de-la.html>. Fecha de consulta: 27/08/2021.
112. SEPPÄNEN, O., BALLARD, G., Y PESONEN, S. (2010). “The combination of last planner system and location-based management system” en *Lean Construction Journal*, Vol 2010, p.43-54.
113. SHEHAB, L. G., EZZEDDINE, A. M., HAMZEH, F. R., Y LUCKO, G. (2019). “Singularity functions for early warning guidance in the last planner system®” en *Lean Construction Journal*, Vol 2019, p.76-90.

114. SHETTY, P., Y PRAKASH RAO, B. (2019). "Importance of lean concepts and its need in construction projects" en *International Journal of Recent Technology and Engineering*, Vol 8 (2), p.2534-2541. doi:10.3940/ijrte.B1575.078219.
115. SLIVON, C. A., HOWELL, G. A., KOSKELA, L., Y ROOKE, J. (2010). "Social construction: Understanding construction in a human context" en *Lean Construction Journal*, Vol. 2010, p.66-75.
116. STRUCTURALIA. (2020). "Lean Management. El qué y el por qué de Lean Management". Curso online de Lean Management de Structuralia.
117. TAYEH, B. A., AL HALLAQ, K., AL FAQAWI, A. H., ALALOUL, W. S., Y KIM, S. Y. (2018). "Success factors and barriers of last planner system implementation in the gaza strip construction industry" en *Open Construction and Building Technology Journal*, Vol 12 (1), p.389-403. doi:10.2174/1874836801812010389.
118. TAYEH, B. A., HALLAQ, K. A., ZAHOOR, H., Y AL FAQAWI, A. H. (2019). "Techniques and benefits of implementing the last planner system in the gaza strip construction industry" en *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol 26 (7), p.1424-1436. doi:10.1108/ECAM-01-2018-0039.
119. TILLMANN, P. A. (2020). "Using the last planner system to tackle the social aspects of BIM-enabled MEP coordination" en *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol 47 (2), p.140-152. doi:10.1139/cjce-2018-0424.
120. UUSITALO, P., SEPPÄNEN, O., LAPPALAINEN, E., PELTOKORPI, A., Y OLIVIERI, H. (2019). "Applying level of detail in a BIM-based project: An overall process for lean design management" en *Buildings*, Vol 9 (5). doi:10.3390/buildings9050109.
121. VENKATESH, P. K., Y VENKATESAN, V. (2021). "Experiences from the implementation of last planner system® in construction project. Indian" en *Journal of Engineering and Materials Sciences*, Vol 28 (2), p.125-141.

122. VIANA, D. D., FORMOSO, C. T., Y ISATTO, E. L. (2011). "Modelling the network of commitments in the last planner system" en *Lean Construction Journal*, Vol 2011(Special Issue), p.55-67.
123. VIANA, D. D., FORMOSO, C. T., Y ISATTO, E. L. (2017). "Understanding the theory behind the last planner system using the language-action perspective: Two case studies" en *Production Planning and Control*, Vol 28 (3), p.177-189. doi:10.1080/09537287.2016.1233360.
124. VIGNESH, C. (2017). "A case study of implementing last planner system in tiruchirappalli district of tamil nadu – India" en *International Journal of Civil Engineering and Technology*, Vol 8 (4), p.1918-1927.
125. VILA, M. Y HOY, E. (1991). *Los catorce puntos de Deming aplicados a los servicios*. Ediciones Diaz de Santos. S. A: España.
126. VIMAL KUMAR, U., Y RAMASAMY, G. (2016). "A critical study of various lean techniques in practice and developing a framework for different construction building projects" en *International Journal of Chemical Sciences*, Vol 14, p.175-187.
127. WAMBEKE, B. W., LIU, M., Y HSIANG, S. M. (2012). "Using last planner and a risk assessment matrix to reduce variation in mechanical related construction tasks" en *Journal of Construction Engineering and Management*, Vol 138 (4), p.491-498. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000444.
128. WARCUP, R., Y REEVE, E. (2014). "Using the villego® simulation to teach the last planner® system" en *Lean Construction Journal*, Vol 2014, p.1-15.
129. WESZ, J. G. B., FORMOSO, C. T., Y TZORTZOPOULOS, P. (2018). "Planning and controlling design in engineered-to-order prefabricated building systems" en *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol 25 (2), p.134-152. doi:10.1108/ECAM-02-2016-0045.
130. WONG, L. S., Y AHMED, M. E. A. M. (2018). "A critical review of lean construction for cost reduction in complex projects" en *Jordan Journal of Civil Engineering*, Vol 12 (4), p.707-720.

131. XING, W., HAO, J. L., QIAN, L., TAM, V. W. Y., Y SIKORA, K. S. (2021). "Implementing lean construction techniques and management methods in chinese projects: A case study in suzhou, china" en *Journal of Cleaner Production*, Vol 286. doi:10.1016/j.jclepro.2020.124944.
132. ZAERI, F., ROTIMI, J. O. B., HOSSEINI, M. R., Y COX, J. (2017). "Implementation of the LPS using an excel spreadsheet: A case study from the new zealand construction industry" en *Construction Innovation*, Vol 17 (3), p.324-339. doi:10.1108/CI-01-2016-0002.
133. ZEGARRA, O., Y ALARCÓN, L. F. (2019). "Coordination of teams, meetings, and managerial processes in construction projects: Using a lean and complex adaptive mechanism" en *Production Planning and Control*, Vol 30 (9), p.736-763. doi:10.1080/09537287.2019.1578905.
134. ZEGARRA, O., Y ALARCÓN, L. F. (2017). "Variability propagation in the production planning and control mechanism of construction projects" en *Production Planning and Control*, Vol 28 (9), p.707-726. doi:10.1080/09537287.2017.1304588.

7. ANEXOS

7.1. BASE DE DATOS

Tabla 16. Base de datos. Art. 1-5

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
1	Choo H.J., Tommelein I.D., Ballard G., Zabelle T.R.	WorkPlan: Constraint-based database for work package scheduling	1999	Journal of Construction Engineering and Management	Modelo / Simulación	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Nuevo sistema o herramienta de gestión	NA	Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(A) Workplan	Construcción	A
2	Choo H.J., Hammond J., Tommelein I.D., Austin S.A., Ballard G.	DePlan: A tool for integrated design management	2004	Automation in Construction	Modelo / Simulación	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Nuevo sistema o herramienta de gestión	Edificación	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	(B) DePlan, (A) Workplan	Diseño	A
3	Salem O., Solomon J., Genaidy A., Luegring M.	Site implementation and assessment of lean construction techniques	2005	Lean Construction Journal	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Revisión literaria / Análisis de contenidos, Observación	Análisis de técnicas de Lean Construction	Edificación	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	NA	Construcción	B
4	Salem O., Solomon J., Genaidy A., Minkarah I.	Lean construction: From theory to implementation	2006	Journal of Management in Engineering	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Observación	Análisis de técnicas de Lean Construction	Edificación	Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	NA	Construcción	B
5	Gonzalez V., Alarcon L.F., Mundaca F.	Investigating the relationship between planning reliability and project performance	2008	Production Planning and Control	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Nuevas métricas	Edificación	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Análisis de incumplimiento	(C) PRI, (D) PPI	Construcción	A

Tabla 17. Base de datos. Art. 6-11

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
6	Alarcón L.F., Diethelm S., Rojo O., Calderón R.	Assessing the impacts of implementing lean construction	2008	Revista Ingeniería de Construcción	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Análisis / implementación del SUP	Edificación, Industrial	Plan intermedio, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Análisis de incumplimiento	NA	Construcción	B
7	Cárdenas L.F.A., Arminana E.P.	A new management focus: Lean construction [Un nuevo enfoque en la gestión: La construcción sin pérdidas]	2009	Revista de Obras Públicas	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Análisis de técnicas de Lean Construction	NA	Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Actualizar el plan maestro	NA	Diseño y Construcción	B
8	Mossman A.	Creating value: A sufficient way to eliminate waste in lean design and lean production	2009	Lean Construction Journal	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Análisis de técnicas de Lean Construction	NA	Sesión pull	NA	Diseño y Construcción	B
9	Court P.F., Pasquire C., Gibb A.	A lean and agile construction system as a set of countermeasures to improve health, safety and productivity in mechanical and electrical construction	2009	Lean Construction Journal	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Observación, Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	Instalaciones MEP	Master, Plan intermedio, Plan semanal	NA	Construcción	B
10	Kim Y.-W., Ballard G.	Management thinking in the earned value method system and the last planner system	2010	Journal of Management in Engineering	Cuantitativo no estadístico	Entrevista, Revisión literaria / Análisis de contenidos	Combinación del SUP con otras herramientas	NA	Plan intermedio, PPC, Registro de restricciones	NA	Diseño y Construcción	B
11	González V., Alarcón L.F., Maturana S., Mundaca F., Bustamante J.	Improving planning reliability and project performance using the reliable commitment model	2010	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	Edificación	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(C) PRI, (E) RCM, (F) Plan de fases	Construcción	A

Tabla 18. Base de datos. Art. 12-16

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
12	Sacks R., Radosavljevic M., Barak R.	Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction	2010	Automation in Construction	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Nuevo sistema o herramienta de gestión	Edificación	Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(A) Workplan, (G) KanBIM, (H) BIM para plan master, (I) BIM para plan intermedio, (J) Preparación de reunión semanal, (K) BIM para plan semanal, (L) Reunión diaria	Construcción	A
13	Slivon C.A., Howell G.A., Koskela L., Rooke J.	Social construction: Understanding construction in a human context	2010	Lean Construction Journal	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	NA	Plan semanal	NA	Construcción	B
14	Seppänen O., Ballard G., Pesonen S.	The combination of last planner system and location-based management system	2010	Lean Construction Journal	Cuantitativo no estadístico	Entrevista, Caso de estudio	Combinación del SUP con otras herramientas	Edificación	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal	(M) LBS, (N) Dividir sesión pull, (O) Reunión de detalle, (F) Plan de fases	Construcción	A
15	Pavez I., González V., Alarcón L.F.	Improving the effectiveness of new construction management philosophies using the integral theory [Mejoramiento de la efectividad de nuevas filosofías de administración de construcción usando la teoría integral]	2010	Revista de la Construcción	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	NA	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Análisis de incumplimiento	NA	Construcción	B
16	Liu M., Ballard G.	Work flow variation and labor productivity: Case study	2011	Journal of Management in Engineering	Cuantitativo estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista	Análisis / implementación del SUP	Servicios	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	NA	Construcción	B

Tabla 19. Base de datos. Art. 17-23

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
17	Andrade M., Arrieta B.	Last planner system results in subcontract construction company [Last planner en subcontrato de empresa constructora]	2011	Revista de la Construccion	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	Edificación	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(P) Entrenamiento SUP, (F) Plan de fases	Construcción	A
18	Viana D.D., Formoso C.T., Isatto E.L.	Modelling the network of commitments in the last planner system	2011	Lean Construction Journal	Cuantitativo no estadístico	Entrevista, Observación	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	NA	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	NA	Construcción	B
19	Cho S., Ballard G.	Last planner and integrated project delivery	2011	Lean Construction Journal	Cuantitativo estadístico	Cuestionario / Encuesta	Combinación del SUP con otras herramientas	NA	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	NA	Construcción	B
20	Samudio M., Alves T.C.L., Chambers D.	Employing the principle of “going and seeing” to construction	2011	Lean Construction Journal	Cuantitativo no estadístico	Observación, Caso de estudio	Combinación del SUP con otras	Edificación	Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	(J) Preparación de reunión semanal	Construcción	A
21	Wambeke B.W., Liu M., Hsiang S.M.	Using last planner and a risk assessment matrix to reduce variation in mechanical related construction tasks	2012	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Combinación del SUP con otras herramientas	Instalaciones MEP	Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	(Q) RAM	Construcción	A
22	Nieto-Morote A., Ruz-Vila F.	Last planner control system applied to a chemical plant construction	2012	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Industrial	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(R) Clasificación de restricciones	Construcción	A
23	Hamzeh F., Ballard G., Tommelein I.D.	Rethinking lookahead planning to optimize construction workflow	2012	Lean Construction Journal	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	(S) Restricciones a dos niveles, (T) TA, (U) TMR, (F) Plan de fases	Construcción	A

Tabla 20. Base de datos. Art. 24-29

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
24	Sánchez-Losada J.M.	Project management models: Lean thought Project Management [Modelos de gestión de proyectos: Dirección de Proyectos compatible con el pensamiento lean]	2012	Dyna (Spain)	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Nuevo sistema o herramienta de gestión	NA	Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	(V) CCM	Diseño y Construcción	A
25	Russell M.M., Howell G., Hsiang S.M., Liu M.	Application of time buffers to construction project task durations	2013	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo estadístico	Cuestionario / Encuesta, Revisión literaria / Análisis de contenidos	Análisis / implementación del SUP	NA	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable	(F) Plan de fases	Construcción	A
26	Issa U.H.	Implementation of lean construction techniques for minimizing the risks effect on project construction time	2013	Alexandria Engineering Journal	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis de técnicas de Lean Construction	Industrial	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable	NA	Construcción	B
27	Aziz R.F., Hafez S.M.	Applying lean thinking in construction and performance improvement	2013	Alexandria Engineering Journal	Modelo / Simulación	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Combinación del SUP con otras herramientas	NA	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	NA	Construcción	B
28	Alsehami A.O., Fazenda P.T., Koskela L.	Improving construction management practice with the Last Planner System: A case study	2014	Engineering, Construction and Architectural Management	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Observación, Caso de estudio	Combinación del SUP con otras herramientas	Edificación	Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	NA	Construcción	B
29	Warcup R., Reeve E.	Using the villego® simulation to teach the last planner® system	2014	Lean Construction Journal	Cualitativo	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Observación	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	NA	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	(P) Entrenamiento SUP	Diseño y Construcción	A

Tabla 21. Base de datos. Art. 30-35

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
30	Lindhard S., Wandahl S.	Exploration of the reasons for delays in construction	2014	International Journal of Construction Management	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	NA	Construcción	B
31	Ochoa J.J.	Reducing plan variations in delivering sustainable building projects	2014	Journal of Cleaner Production	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	NA	Construcción	B
32	Gao S., Low S.P.	The Last Planner System in China's construction industry - A SWOT analysis on implementation	2014	International Journal of Project Management	Cualitativo	Entrevista, Revisión literaria / Análisis de contenidos, Observación	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	NA	Construcción	B
33	Hussain S.M.A.M., Seshadri Sekhar T., Fatima A.	A systematic approach of implementing the last planner system in a building construction	2015	International Journal of Applied Engineering Research	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	NA	Construcción	B
34	González V.A., Orozco F., Senior B., Ingle J., Forcael E., Alarcón L.F.	LEBSCO: Lean-Based Simulation Game for Construction Management Classrooms	2015	Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Caso de estudio	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	NA	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	(P) Entrenamiento SUP	Construcción	A
35	Kim S.-C., Kim Y.-W., Park K.S., Yoo C.-Y.	Impact of measuring operational-level planning reliability on management-level project performance	2015	Journal of Management in Engineering	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Combinación del SUP con otras herramientas	Edificación	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	NA	Construcción	B

Tabla 22. Base de datos. Art. 36-42

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
36	Hamzeh F.R., Zankoul E., Rouhana C.	How can 'tasks made ready' during lookahead planning impact reliable workflow and project duration?	2015	Construction Management and Economics	Modelo / Simulación	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	NA	Plan intermedio, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones	NA	Diseño y Construcción	B
37	Mahalingam A., Yadav A.K., Varaprasad J.	Investigating the role of lean practices in enabling BIM adoption: Evidence from two Indian cases	2015	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo no estadístico	Observación, Caso de estudio	Combinación del SUP con otras herramientas	Edificación	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	(K) BIM para plan semanal	Construcción	A
38	Priven V., Sacks R.	Effects of the last planner system on social networks among construction trade crews	2015	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Caso de estudio	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	Edificación	Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	NA	Construcción	B
39	Lindhard S., Wandahl S.	Exploration of correct LPS practices in scheduling of large, complex, and constrained construction projects	2015	International Journal of Project Organisation and Management	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Megaproyecto	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(F) Plan de fases	Construcción	A
40	Lindhard S., Wandahl S.	Scheduling of large, complex, and constrained construction projects - An exploration of LPS application	2015	International Journal of Project Organisation and Management	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta	Análisis / implementación del SUP	Megaproyecto	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(F) Plan de fases	Construcción	A
41	Hamzeh F.R., Saab I., Tommelein I.D., Ballard G.	Understanding the role of "tasks anticipated" in lookahead planning through simulation	2015	Automation in Construction	Modelo / Simulación	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	NA	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable	(T) TA, (U) TMR, (F) Plan de fases	Construcción	A
42	Russell M.M., Liu M., Howell G., Hsiang S.M.	Case studies of the allocation and reduction of time buffer through use of the last planner system	2015	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Observación, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación, Instalaciones MEP	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	(F) Plan de fases	Construcción	A

Tabla 23. Base de datos. Art. 43-48

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
43	Priven V., Sacks R.	Impacts of the Social Subcontract and Last Planner System Interventions on the Trade-Crew Workflows of Multistory Residential	2016	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	Edificación	Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable	NA	Construcción	B
44	Kovvuri P.R.R., Sawhney A., Ahuja R., Sreekumar A.	Efficient Project Delivery Using Lean Principles - An Indian Case Study	2016	Journal of The Institution of Engineers (India): Series A	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Industrial	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Actualizar el plan maestro	(P) Entrenamiento SUP, (S) Restricciones a dos niveles, (F) Plan de fases	Construcción	A
45	Vimal Kumar U., Ramasamy G.	A critical study of various lean techniques in practice and developing a framework for different construction building projects	2016	International Journal of Chemical Sciences	Cuantitativo estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Revisión literaria / Análisis de contenidos, Observación	Combinación del SUP con otras herramientas	Edificación	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Actualizar el plan maestro	NA	Construcción	B
46	Rouhana C., Hamzeh F.	An ABC approach to modeling the emergence of 'new tasks' in weekly construction planning	2016	Lean Construction Journal	Cuantitativo no estadístico	Entrevista, Observación, Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	NA	Plan intermedio, Plan semanal, PPC	(T) TA, (U) TMR	Construcción	A
47	Gade R.J.	A proposed solution to the problem of construction industry overruns: Lean Construction techniques and Linear Programming	2016	Indian Journal of Science and Technology	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Análisis de técnicas de Lean Construction	NA	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	(F) Plan de fases	Construcción	A
48	Dave B., Kubler S., Främling K., Koskela L.	Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards	2016	Automation in Construction	Modelo / Simulación	Caso de estudio	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	NA	Plan intermedio, Plan semanal, PPC	(G) KanBIM	Construcción	A

Tabla 24. Base de datos. Art. 49-54

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
49	Khanh H.D., Kim S.Y.	A survey on production planning system in construction projects based on Last Planner System	2016	KSCE Journal of Civil Engineering	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación, Industrial	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones	(P) Entrenamiento SUP, (F) Plan de fases	Construcción	A
50	Chamberlin K.S., Asadi S.S., Chaitanya D.S.	Evaluation of latest trends and developments in lean construction in India: A model study	2017	International Journal of Civil Engineering and Technology	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento, Actualizar el plan maestro, Reestudio de la tarea	(P) Entrenamiento SUP, (F) Plan de fases	Construcción	A
51	Andújar-Montoya M.D., Marcos-Jorquera D., García-Botella F.M., Gilart-Iglesias V.	A context-driven model for the flat roofs construction process through sensing systems, internet-of-things and last planner system	2017	Sensors (Switzerland)	Modelo / Simulación	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	Edificación	Master, Plan intermedio, Plan semanal	(W) Sistema de sensores	Construcción	A
52	Viana D.D., Formoso C.T., Isatto E.L.	Understanding the theory behind the Last Planner System using the Language-Action Perspective: two case studies	2017	Production Planning and Control	Cuantitativo no estadístico	Observación	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	Edificación	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	NA	Construcción	B
53	Sacks R., Seppänen O., Priven V., Savosnick J.	Construction flow index: a metric of production flow quality in construction	2017	Construction Management and Economics	Modelo / Simulación	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Caso de estudio	Nuevas métricas	NA	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones	(T) TA, (U) TMR, (X) CFI	Construcción	A
54	Bajjou M.S., Chafi A., En-Nadi A.	The potential effectiveness of lean construction tools in promoting safety on construction sites	2017	International Journal of Engineering Research in Africa	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Análisis de técnicas de Lean Construction	NA	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	NA	Construcción	B

Tabla 25. Base de datos. Art. 55-59

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
55	Dixit S., Mandal S.N., Sawhney A., Singh S.	Area of linkage between lean construction and sustainability in indian construction industry	2017	International Journal of Civil Engineering and Technology	Cualitativo	Cuestionario / Encuesta, Revisión literaria / Análisis de contenidos	Análisis de técnicas de Lean Construction	NA	Plan semanal	NA	Construcción	B
56	Zaeri F., Rotimi J.O.B., Hosseini M.R., Cox J.	Implementation of the LPS using an excel spreadsheet: A case study from the New Zealand construction industry	2017	Construction Innovation	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Infraestructura	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(F) Plan de fases	Construcción	A
57	El-Sabek L.M., McCabe B.Y.	Coordination challenges of production planning & control in international mega-projects: A case study	2017	Lean Construction Journal	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Megaproyecto, Infraestructura, Servicios	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Análisis de incumplimiento	(T) TA, (U) TMR, (F) Plan de fases	Construcción	A
58	Daniel E.I., Pasquire C., Dickens G., Ballard H.G.	The relationship between the last planner® System and collaborative planning practice in UK construction	2017	Engineering, Construction and Architectural Management	Cualitativo	Entrevista, Revisión literaria / Análisis de contenidos, Observación	Combinación del SUP con otras herramientas	Edificación, Infraestructura, Ferroviario	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(T) TA, (U) TMR, (L) Reunión diaria, (F) Plan de fases	Construcción	A
59	Indira M., Venkata Jyothsna M.	An approach to effective construction management based on lean construction techniques	2017	International Journal of Civil Engineering and Technology	Cuantitativo estadístico	Cuestionario / Encuesta, Revisión literaria / Análisis de contenidos	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	NA	Plan intermedio, Plan semanal	NA	Construcción	B

Tabla 26. Base de datos. Art. 60-63

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
60	Vignesh C.	A case study of implementing last planner system in Tiruchirappalli District of Tamil Nadu - India	2017	International Journal of Civil Engineering and Technology	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Observación, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Actualizar el plan maestro, ¿Acuerdo?, Análisis de incumplimiento	(P) Entrenamiento SUP, (Y) Plan por contratista, (Z) Resultados públicos	Construcción	A
61	Zegarra O., Alarcón L.F.	Variability propagation in the production planning and control mechanism of construction projects	2017	Production Planning and Control	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Análisis / implementación del SUP	Infraestructura	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Actualizar el plan maestro	(F) Plan de fases	Construcción	A
62	Bajjou M.S., Chafi A., En-Nadi A.	A comparative study between lean construction and the traditional production system	2017	International Journal of Engineering Research in Africa	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Combinación del SUP con otras herramientas	NA	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(F) Plan de fases	Construcción	A
63	Perez A.M., Ghosh S.	Barriers faced by new-adopter of Last Planner System®: a case study	2018	Engineering, Construction and Architectural Management	Cuantitativo no estadístico	Entrevista, Revisión literaria / Análisis de contenidos, Observación, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento, Actualizar el plan maestro	(P) Entrenamiento SUP, (Y) Plan por contratista, (F) Plan de fases	Construcción	A

Tabla 27. Base de datos. Art. 64-69

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
64	El-Sabek L.M., McCabe B.Y.	Framework for Managing Integration Challenges of Last Planner System in IMPs	2018	Journal of Construction Engineering and Management	Modelo / Simulación	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Panel de expertos	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	Megaproyecto	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Actualizar el plan maestro	(P) Entrenamiento SUP, (K) BIM para plan semanal, (F) Plan de fases	Construcción	A
65	Castillo T., Alarcón L.F., Salvatierra J.L.	Effects of Last Planner System Practices on Social Networks and the Performance of Construction Projects	2018	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	Edificación	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	NA	Construcción	B
66	Tayeh B.A., Al Hallaq K., Al Faqawi A.H., Alaloul W.S., Kim S.Y.	Success factors and barriers of last planner system implementation in the gaza strip construction industry	2018	Open Construction and Building Technology Journal	Cualitativo	Cuestionario / Encuesta, Revisión literaria / Análisis de contenidos	Análisis / implementación del SUP	NA	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Análisis de incumplimiento	(F) Plan de fases	Construcción	A
67	Wong L.S., Ahmed M.E.A.M.	A critical review of lean construction for cost reduction in complex projects	2018	Jordan Journal of Civil Engineering	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Análisis de técnicas de Lean Construction	NA	Master, PPC	NA	Construcción	B
68	Wesz J.G.B., Formoso C.T., Tzortzopoulos P.	Planning and controlling design in engineered-to-order prefabricated building systems	2018	Engineering, Construction and Architectural Management	Modelo / Simulación	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	Prefabricados	Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(AA) CRI, (AB) ABI	Diseño	A
69	Olivieri H., Seppänen O., Alves T.D.C.L., Scala N.M., Schiavone V., Liu M., Granja A.D.	Survey Comparing Critical Path Method, Last Planner System, and Location-Based Techniques	2019	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Revisión literaria / Análisis de contenidos	Combinación del SUP con otras herramientas	NA	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(F) Plan de fases	Construcción	A

Tabla 28. Base de datos. Art. 70-74

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TÉCNICA DE ANÁLISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
70	Hamzeh F.R., El Samad G., Emdanat S.	Advanced Metrics for Construction Planning	2019	Journal of Construction Engineering and Management	Modelo / Simulación	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Nuevas métricas	NA	Plan intermedio, Plan semanal, PPC	(T) TA, (U) TMR, (C) PRI, (X) CFI, (AC) PCR, (AD) CL, (AE) PRCO, (AF) RL, (AG) MV, (AH) CU, (AI) PCN, (D) PPI, (AJ) PWR, (AK) CLR, (AL) RCR, (AM) RPC	Construcción	A
71	Enshassi A., Saleh N., Mohamed S.	Application level of lean construction techniques in reducing accidents in construction projects	2019	Journal of Financial Management of Property and Construction	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta	Análisis de técnicas de Lean Construction	NA	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	(L) Reunión diaria	Construcción	A
72	Lagos C.I., Herrera R.F., Alarcón L.F.	Assessing the Impacts of an IT LPS Support System on Schedule Accomplishment in Construction Projects	2019	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Revisión literaria / Análisis de contenidos, Panel de expertos, Caso de estudio	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	Edificación	PPC	(AC) PCR	Construcción	A
73	Daniel E.I., Pasquire C., Dickens G.	Development of Approach to Support Construction Stakeholders in Implementation of the Last Planner System	2019	Journal of Management in Engineering	Cualitativo	Entrevista, Revisión literaria / Análisis de contenidos, Observación, Caso de estudio	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	Edificación, Infraestructura, Ferroviario	Master, Fases, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Actualizar el plan maestro	(P) Entrenamiento SUP, (J) Preparación de reunión semanal, (F) Plan de fases	Construcción	A
74	Tayeh B.A., Hallaq K.A., Zahoor H., Al Faqawi A.H.	Techniques and benefits of implementing the last planner system in the Gaza Strip construction industry	2019	Engineering, Construction and Architectural Management	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	NA	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Análisis de incumplimiento, Actualizar el plan maestro	(L) Reunión diaria, (Z) Resultados públicos, (F) Plan de fases	Construcción	A

Tabla 29. Base de datos. Art. 75-79

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
75	Heigermoser D., García de Soto B., Abbott E.L.S., Chua D.K.H.	BIM-based Last Planner System tool for improving construction project management	2019	Automation in Construction	Modelo / Simulación	Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	Edificación	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(G) KanBIM, (T) TA, (U) TMR, (K) BIM para plan semanal, (I) BIM para plan intermedio, (F) Plan de fases	Construcción	A
76	Naticchia B., Carbonari A., Vaccarini M., Giorgi R.	Holonic execution system for real-time construction management	2019	Automation in Construction	Modelo / Simulación	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	NA	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Análisis de incumplimiento, Actualizar el plan maestro	(F) Plan de fases	Construcción	A
77	Hamzeh F., Al Hattab M., Rizk L., El Samad G., Emdanat S.	Developing new metrics to evaluate the performance of capacity planning towards sustainable construction	2019	Journal of Cleaner Production	Modelo / Simulación	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Nuevas métricas	Edificación	Plan semanal, PPC	(T) TA, (U) TMR, (C) PRI, (AD) CL, (AE) PRCO, (AG) MV, (D) PPI, (AJ) PWR, (AK) CLR, (AL) RCR, (AM) RPC	Construcción	A
78	Zegarra O., Alarcón L.F.	Coordination of teams, meetings, and managerial processes in construction projects: using a lean and complex adaptive mechanism	2019	Production Planning and Control	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Observación	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	Edificación	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(F) Plan de fases	Construcción	A
79	Shetty P., Prakash Rao B.	Importance of lean concepts and its need in construction projects	2019	International Journal of Recent Technology and Engineering	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Combinación del SUP con otras herramientas	Edificación	Plan semanal, PPC	NA	Construcción	B

Tabla 30. Base de datos. Art. 80-84

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
80	Araque González G.A., García Arango D.A., Aguirre Mesa E.D., Henao Villa C.F., Echeverry Gutiérrez C.A., Sidek S.	The planning in lean construction methodology at colombian civil sector	2019	International Journal of Recent Technology and Engineering	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Plan semanal, PPC	(Z) Resultados públicos	Construcción	A
81	Ghosh S., Dickerson D.E., Mills T.	Effect of the Last Planner System® on Social Interactions among Project Participants	2019	International Journal of Construction Education and Research	Cuantitativo no estadístico	Observación	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	Edificación	Plan intermedio, Plan semanal, PPC	NA	Construcción	B
82	Bortolini R., Formoso C.T., Viana D.D.	Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modeling	2019	Automation in Construction	Modelo / Simulación	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	Prefabricados	Master, Plan intermedio, Plan semanal	(I) BIM para plan intermedio	Diseño y Construcción	A
83	Power W., Taylor D.	Last planner® system and percent plan complete: An examination of trade contractor performance	2019	Lean Construction Journal	Mixto (cuantitativo y cualitativo)	Entrevista, Revisión literaria / Análisis de contenidos	Análisis / implementación del SUP	Infraestructura	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Análisis de incumplimiento	(P) Entrenamiento SUP, (K) BIM para plan semanal	Construcción	A
84	Díaz L., De Oliveira M., Pucharelli P., Pinzón J.	Integration between the last planner system and the quality management system applied in the civil construction sector [Integración entre el sistema last planner y el sistema de gestión de calidad aplicados en el sector de la construcción civil]	2019	Revista Ingenieria de Construccion	Cuantitativo no estadístico	Entrevista, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	(K) BIM para plan semanal	Construcción	A

Tabla 31. Base de datos. Art. 85-89

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
85	Shehab L.G., Ezzeddine A.M., Hamzeh F.R., Lucko G.	Singularity functions for early warning guidance in the last planner system®	2019	Lean Construction Journal	Modelo / Simulación	Caso de estudio	Nuevas métricas	NA	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento, Actualizar el plan maestro	(C) PRI, (F) Plan de fases	Construcción	A
86	Uusitalo P., Seppänen O., Lappalainen E., Peltokorpi A., Olivieri H.	Applying level of detail in a BIM-based project: An overall process for lean design management	2019	Buildings	Modelo / Simulación	Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	Edificación	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	(K) BIM para plan semanal, (F) Plan de fases	Diseño	A
87	Khanzadi M., Shahbazi M.M., Arashpour M., Ghosh S.	Lean design management using a gamified system	2019	Scientia Iranica	Modelo / Simulación	Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	NA	Plan semanal	(P) Entrenamiento SUP	Diseño	A
88	Anand T., Sachin Prabhu P., Nishaant H.A.	Improvement of project performance by constraint analysis and root cause analysis of last planner system	2019	International Journal of Recent Technology and Engineering	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Reforma	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Registro de restricciones, Actualizar el plan maestro	(F) Plan de fases	Construcción	A
89	Rincón J.L., Fernández-Solís J.L., Lavy S., Du J.	Effect of Autonomous Agents on Last Planner System Performance in Texas	2019	Journal of Management in Engineering	Mixto (cuantitativo y cualitativo)	Entrevista	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	Edificación	Plan semanal, PPC	(P) Entrenamiento SUP	Construcción	A

Tabla 32. Base de datos. Art. 90-94

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
90	Lerche J., Neve H.H., Ballard G., Teizer J., Wandahl S., Gross A.	Application of Last Planner System to Modular Offshore Wind Construction	2020	Journal of Construction Engineering and Management	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Revisión literaria / Análisis de contenidos, Observación, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Turbinas eólicas	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Actualizar el plan maestro	(L) Reunión diaria, (F) Plan de fases	Construcción	A
91	Amany A., Taghizade K., Noorzai E.	Investigating conflicts of expert contractors using the last planner system in building information modeling process	2020	Journal of Engineering, Design and Technology	Modelo / Simulación	Caso de estudio	Combinación del SUP con otras herramientas	Instalaciones MEP	Master, Sesión pull, PPC, Registro de restricciones	(K) BIM para plan semanal, (I) BIM para plan intermedio	Construcción	A
92	Abusalem O.	Towards last planner system implementation in Gaza Strip, Palestine	2020	International Journal of Construction Management	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista	Análisis / implementación del SUP	NA	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	NA	Construcción	B
93	Kumar C.S., Kapuganti C.B., Eswara Rao S., Santhosh Kumar T., Ramesh B.	Application of last planner system as lean construction technique	2020	International Journal of Emerging Trends in Engineering Research	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Planificación del jefe de obra, Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento, Actualizar el plan	(L) Reunión diaria, (F) Plan de fases	Construcción	A
94	Aslam M., Gao Z., Smith G.	Development of Innovative Integrated Last Planner System (ILPS)	2020	International Journal of Civil Engineering	Modelo / Simulación	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	NA	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Análisis de incumplimiento	(L) Reunión diaria, (K) BIM para plan semanal	Construcción	A

Tabla 33. Base de datos. Art. 95-100

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
95	Haronian E., Sacks R.	Roadels: Discrete information objects for production planning and control of road construction	2020	Journal of Information Technology in Construction	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Nuevas métricas	Infraestructura	Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(K) BIM para plan semanal	Construcción	A
96	Lee J., Cho J.	Schedule monitoring method using LPS and lobb-based daily work report model in construction project	2020	International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology	Modelo / Simulación	Cuestionario / Encuesta, Revisión literaria / Análisis de contenidos	Nuevo sistema o herramienta de gestión	NA	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	(L) Reunión diaria, (F) Plan de fases	Construcción	A
97	Andújar-Montoya M.D., Galiano-Garrigós A., Echarri-Iribarren V., Rizo-Maestre C.	BIM-LEAN as a methodology to save execution costs in building construction-An experience under the spanish framework	2020	Applied Sciences (Switzerland)	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Combinación del SUP con otras herramientas	Edificación	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable	(K) BIM para plan semanal, (I) BIM para plan intermedio, (F) Plan de fases	Diseño y Construcción	A
98	Schimanski C.P., Marcher C., Monizza G.P., Matt D.T.	The last planner® system and building information modeling in construction execution: From an integrative review to a conceptual model for integration	2020	Applied Sciences (Switzerland)	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Combinación del SUP con otras herramientas	NA	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Actualizar el plan maestro, Análisis de incumplimiento	(K) BIM para plan semanal, (I) BIM para plan intermedio, (F) Plan de fases	Construcción	A
99	Ballard G., Vaagen H., Kay W., Stevens B., Pereira M.	Extending the last planner system® to the entire project	2020	Lean Construction Journal	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	NA	Diseño y Construcción	B
100	Chen Q., Hall D.M., Adey B.T., Haas C.T.	Identifying enablers for coordination across construction supply chain processes: a systematic literature review	2020	Engineering, Construction and Architectural Management	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Aspectos sociales, aprendizaje y comunicación en el SUP	NA	Sesión pull, Inventario de trabajo ejecutable	NA	Construcción	B

Tabla 34. Base de datos. Art. 101-105

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
101	Mäki T., Kerosuo H.	Design-related questions in the construction phase: The effect of using the last planner system in design management	2020	Canadian Journal of Civil Engineering	Cuantitativo no estadístico	Entrevista, Observación	Combinación del SUP con otras herramientas	Reforma	Master, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	NA	Diseño y Construcción	B
102	Tillmann P.A.	Using the last planner system to tackle the social aspects of BIM-enabled MEP coordination	2020	Canadian Journal of Civil Engineering	Cuantitativo no estadístico	Entrevista, Observación, Caso de estudio	Combinación del SUP con otras herramientas	Instalaciones MEP	Plan intermedio, Plan semanal, PPC	(I) BIM para plan intermedio	Construcción	A
103	Mäki T., Kerosuo H., Koskenvesa A.	This has been a real uphill battle — Three organisations for the adoption of last planner system	2020	Canadian Journal of Civil Engineering	Cuantitativo no estadístico	Entrevista, Observación	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable	(P) Entrenamiento SUP	Diseño y Construcción	A
104	Lagos C.I., Alarcón L.F.,	Assessing the Relationship between Constraint Management and Schedule Performance in Chilean and Colombian Construction Projects	2021	Journal of Management in Engineering	Cuantitativo no estadístico	Revisión literaria / Análisis de contenidos	Análisis / implementación del SUP	Edificación, Industrial	Master, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Registro de restricciones, Análisis de incumplimiento	(T) TA, (U) TMR, (AC) PCR	Construcción	A
105	Xing W., Hao J.L., Qian L., Tam V.W.Y., Sikora K.S.	Implementing lean construction techniques and management methods in Chinese projects: A case study in Suzhou, China	2021	Journal of Cleaner Production	Cuantitativo no estadístico	Cuestionario / Encuesta, Entrevista, Revisión literaria / Análisis de contenidos, Caso de estudio	Análisis / implementación del SUP	Edificación	Master, Fases, Sesión pull, Plan intermedio, Plan semanal, PPC	(L) Reunión diaria, (F) Plan de fases	Construcción	A

Tabla 35. Base de datos. Art. 106-107

ID	AUTORES	TÍTULO	AÑO	FUENTE	TECNICA DE ANALISIS DE DATOS	TÉCNICA DE OBTENCIÓN DE DATOS	CATEGORÍA	TIPO DE OBRA	ELEMENTO DEL FLUJO BASE	NUEVA PROPUESTA	FASE	FACTOR PROX.
106	Abdelmegid M.A., González V.A., O'Sullivan M., Walker C.G., Poshdar M., Alarcón L.F.	Exploring the links between simulation modelling and construction production planning and control: a case study on the last planner system	2021	Production Planning and Control	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Nuevo sistema o herramienta de gestión	Edificación	Master, Fases, Plan intermedio, Plan semanal, PPC, Inventario de trabajo ejecutable, Análisis de incumplimiento, Actualizar el plan maestro	(A) Workplan, (G) KanBIM, (F) Plan de fases	Construcción	A
107	Maraqa M.J., Sacks R., Spatari S.	Quantitative assessment of the impacts of BIM and lean on process and operations flow in construction projects	2021	Engineering, Construction and Architectural Management	Cuantitativo no estadístico	Caso de estudio	Combinación del SUP con otras herramientas	Edificación	PPC	(G) KanBIM, (X) CFI	Construcción	A

7.2. ANEXO DE OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS) AL TRABAJO DE FIN DE MASTER (TFM)



Anexo al Trabajo Fin de Máster

Relación del TFM “Sistema del Último Planificador: estado del conocimiento y propuesta de flujo de trabajo” con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030.

Tabla 36. Grado de relación del TFM con los ODS

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza				X
ODS 2. Hambre cero				X
ODS 3. Salud y bienestar				X
ODS 4. Educación de calidad			X	
ODS 5. Igualdad de género				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico			X	
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles			X	
ODS 12. Producción y consumo responsables				X
ODS 13. Acción por el clima				X
ODS 14. Vida submarina				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos				X

Descripción de la alineación del TFM con los ODS con un grado de relación más alto.

El presente trabajo de fin de master se encuentra altamente relacionado con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 9: industria, innovación e infraestructura, por estar orientado al estudio, análisis y mejora del Sistema del Último Planificador, una herramienta de gestión de proyectos utilizada en el sector de la construcción por años, que permite crear una forma de trabajo enfocada en los principios *Lean* de potenciar el valor y reducir los desperdicios.

Al integrar el estado del conocimiento del SUP en un único diagrama que contiene todos los nuevos pasos y propuestas actualizadas sobre del flujo de trabajo de la herramienta, obtenemos una versión ampliada y mejorada que puede ser implementada en diversos tipos de proyectos para incrementar la productividad. Se generan aportes al proceso de planificación de actividades, optimización de recursos y espacios, coordinación, incremento del compromiso y fiabilidad, control de trabajos imprevistos y críticos y mejora de la comunicación en los proyectos.

Por su parte, se considera que los ODS 4: educación de calidad, ODS 8: trabajo decente y crecimiento económico y ODS 11: ciudades y comunidades sostenibles, cuentan también con cierto grado de relación con la investigación en lo que refiere al impacto general que la implementación del SUP aporta en estos sectores, las técnicas mencionadas para la formación, inclusión de los supervisores de primera línea en los procesos de planificación, mejora de la coordinación, reducción de retrabajos y paralizaciones y optimización de recursos.